Solarni punjač akumulatora

Klasić, Ana-Marija

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:776337

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

Sveučilište
Sjever

Završni rad br. 383/EL/2016

Solarni punjač za akumulator

Ana-Marija Klasić, 5021/601

Varaždin, rujan 2016. godine

Sveučilište
Sjever

Stručni studij elektrotehnika

Završni rad br. 383/EL/2016

Solarni punjač za akumulator

Student

Ana-Marija Klasić, 5021/601

Mentor

mr. sc. Ivan Šumiga

Varaždin, rujan 2016. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL: Odjel za elektrotehniku

PRISTUPNIK: Ana-Marija Klasić | MATIČNI BROJ: 5021/601

DATUM: 09.09.2016. | KOLEGIJ: ELEKTRONIČKI SKLOPOVI

NASLOV RADA: SOLARNI PUNJAČ AKUMULATORA

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU: SOLAR BATTERY CHARGER

MENTOR: Ivan Šumiga | ZVANJE: viši predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA:

1. Dunja Srpak, dipl.ing., predavač
2. Miroslav Horvatić, dipl.ing., predavač
3. mr.sc.Ivan Šumiga, viši predavač
4. mr.sc.Matija Mikac, viši predavač, zamjenski član
5.

Zadatak završnog rada

BROJ: 383/EL/2016

OPIS:

U završnom radu potrebno je opisati vrste akumulatora i punjača za njih. Realizirati punjač pogonjen solarnim panelima.

U radu je potrebno:
- opisati različite vrste akumulatora
- opisati postupke punjenja akumulatora
- opisati izmjenjivače i istosmjerne pretvarače
- razraditi postupak izrade tiskane pločice
- opisati način izrade i princip rada solarnog punjača
- testirati gotov uređaj
- obraditi i komentirati dobivene rezultate.

ZADATAK URUČEN: 16. 09. 2016.

POTPIS MENTORA

REPUBLIKA HRVATSKA KOPRIVNICA SVEUČILIŠTE SJEVER

Predgovor

Zahvaljujem se mentoru na pomoći i suradnji prilikom izrade završnog rada. Također se zahvaljujem svima ostalima koji su pomogli pri nabavljanju komponenta i izradi završnog rada.

Sažetak

U ovom završnom radu opisana je izrada solarnog punjača za akumulator pomoću arduina. U uvodnom dijelu su opisani solarni paneli, njihov razvoj te njihova primjena. Također su opisani akumulatori, punjači za akumulatore, izmjenjivači i istosmjerni pretvarači. Razrađen je i postupak izrade tiskane pločice. Na kraju je opisan sam način izrade i princip rada solarnog punjača te su obavljena testiranja uređaja. Dobiveni rezultati su na kraju obrađeni i opisani.

KLJUČNE RIJEČI: izmjenjivač, mikrokontroler, olovni akumulator, punjač za akumulator, solarna energija

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Solarni paneli 2
   2.1. Razvoj i primjena solarnih ćelija 2
   2.2. Vrste solarnih panela 4
3. Akumulatori (baterije) 7
   3.1. Razvoj akumulatora 7
   3.2. Građa akumulatora 8
      3.2.1. Punjenje i pražnjenje akumulatora 9
   3.3. Parametri akumulatora 10
   3.4. Vrste akumulatora (baterija) 12
      3.4.1. Olovno kiselinski akumulator 14
4. Punjenje akumulatora 18
   4.1. Vrste punjača 19
5. Pretvarači 22
   5.1. Izmjenjivači 23
      5.1.1. Nemotorna trošila 24
      5.1.2. Motorna trošila 24
   5.2. Istosmjerni pretvarači 25
      5.2.1. Silazni istosmjerni pretvarač 26
      5.2.2. Uzlazni istosmjerni pretvarač 27
      5.2.3. Silazno-uzlazni istosmjerni pretvarač 27
   5.3. Vrste modulacija napona 28
      5.3.1. Modulacija amplitude impulsa (PAM) 28
      5.3.2. Pulsno širinska modulacija (PWM) 29
      5.3.3. Sinusna modulacija širine impulsa (sinusni PWM) 29
      5.3.4. Sinkrona i asinkrona modulacija širine impulsa 30
6. Izrada solarnog punjača za akumulator 31
   6.1. Solarni panel 31
   6.2. Akumulator 31
   6.3. Izmjenjivač 31
   6.4. Upravljanje solarnim punjačem 32
   6.5. Mjerenja napona na akumulatoru i solarnom panelu 32
   6.6. Programiranje mikrokontrolera 34
   6.7. Izrada tiskane pločice 37
7. Testiranje uređaja 41
8. Zaključak 45
9. Literatura 46

1. Uvod

Rad solarnih ćelija se bazira na primjeni poluvodičkih materijala. Zato se i njihov razvoj može pratiti kroz napredak poluvodičke tehnologije. Za početak se može uzeti proučavanje vodljivosti selena 1839.g. Godine 1870. se javljaju prva zapažanja ispravljačkog djelovanja spoja metal-poluvodič. Tek je 1904. godine napravljena prva dioda, 1906. godine trioda te 1947. godine tranzistor.

Sami počeci razvoja solarnih ćelija su također bazirani i na otkriću koje se javilo 1839. godine, a to je fotoelektrični učinak.

Prva solarna ćelija zabilježena je 1883. godine na način da se poluvodič selen prekrio tankim slojem zlata. Pet godina kasnije javlja se prva solarna ćelija temeljena na fotoelektričnom učinku. A prva moderna silicijska solarna ćelija se javlja 1946. godine.

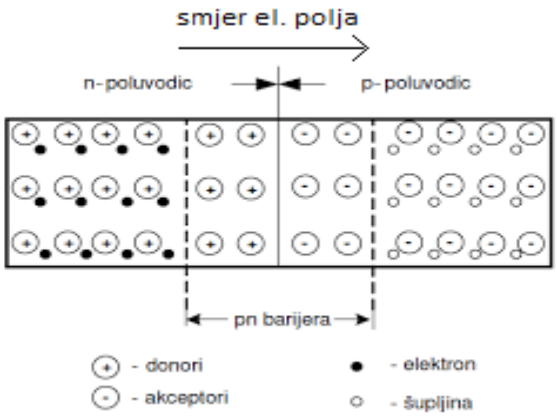
Ono što je kod razvoja solarnih ćelija bio fotoelektrični učinak, u razvoju akumulatora je to Voltin članak. Voltin članak sastoji se od dviju elektroda načinjenih od različitih metala (prvotno srebro i cink, poslije bakar i cink) uronjenih u razrijeđenu sumpornu kiselinu. Njegov je napon oko 1,1 V. Nedostatak mu je razmjerno brza oksidacija elektroda, a time i smanjenje napona i jakosti struje. Upravo s Voltinim člankom počinje povijest akumulatora 1800. godine. Električni akumulator je nastao 1803. godine. Francuski fizičar Gaston Planté je 1859. godine izumio prvi olovni akumulator. Godine 1866. već se govori o prvoj ekološki prihvatljivoj bateriji, a 1940. godine i o prvoj „alkalnoj“ bateriji. Najnoviji tip baterije je litij-polimerska baterija koja se do sad pokazala kao najstabilnija i najbolja.

U samim početcima, primjena solarnih panela bazirala se na male igračke i naprave koje nisu zahtijevale veliku količinu struje. Zbog visoke cijene prvih solarnih panela najznačajnija primjena im je bila u svemirskim istraživanjima. U tom području je njihova cijena bila prihvatljiva za generiranu električnu energiju. Kasnije se njihova primjena raširila na više grana pa ih se tako danas može sresti na raznim mjestima. Neke od tih primjena su u građevinarstvu, kao izvor napajanja za npr. kalkulatore, parkirališne aparate, u dekorativne svrhe, kao solarne elektrane, a jedna od najnovijih primjena kod nas su solarne klupe. Očito je da se njihova primjena širi u sve više područja, kao što se prognoziralo, pa se zapravo vrhunac njihove primjene tek očekuje u godinama pred nama.

Kao što i samo ime govori, akumulator služi za akumuliranje električne energije. Područje njegove primjene je iznimno široko te ih srećemo na svakom koraku. Njihova primjena se najviše našla u motornim vozilima, kod prijenosnih uređaja kao što su mobilni uređaj, prijenosno računalo, fotoaparati, kamere, itd.

2. Solarni paneli

Solarna ćelija je u biti PN-spoj (poluvodička dioda). Do PN-spoja dolazi se tako da se jednom dijelu kristala čistog poluvodiča dodaju trovalentne ili akceptorske primjese da bi nastao P-tip poluvodiča, a drugom dijelu dodaju peterovalentne ili donorske primjese da bi dobili N-tip. Na granici između ta dva područja nastaje difuzija elektrona iz N-područja prema P-području i šupljina iz P-područja prema N-području. Uzrok tome je gradijent koncentracije. Nakon prelaska elektrona i šupljina iz jednog područja u drugo slijedi rekombinacija. U uskom sloju na granici PN-spoja ostaju samo negativni i pozitivni (donorski i akceptorski) ioni te se formira električno polje koje nakon nekog vremena, kad se postigne ravnoteža, zaustavi difuziju, a time i rekombinaciju. U tom prijelaznom području (osiromašenom) gustoća slobodnih (vodljivih) nosioca naboja vrlo je mala i prostorni naboj čine većinom ioni primjesa. Ovo područje potencijalne barijere bitno je za rad PN-spoja [1].



Slika 2.1. PN spoj

2.1. Razvoj i primjena solarnih ćelija

Godina 1839. bila je ključna za današnje fotonaponske sustave, te je godine francuski fizičar A.E. Becquerel otkrio fotoelektrični učinak. Unatoč tome, prva solarna ćelija je napravljena tek 1883. godine, a napravio ju je Charles Fritts i to tako što je prekrio poluvodič selen tankim slojem zlata kako bi dobio spojnice. Prva solarna ćelija temeljena na vanjskom fotoelektričnom učinku se javlja 1888. godine, a za nju je zaslužan ruski fizičar Aleksandr Stoletov. Početci modernih solarnih ćelija se javljaju 1946. godine kada je Russell Ohl napravio svoju prvu solarnu ćeliju. Bila je to prva moderna silicijeva solarna ćelija i imala je djelotvornost pretvorbe tek 1%. Nakon toga tek se 1954. godine pojavljuje skupina istraživača

s novom idejom koja je malo poboljšala djelotvornost. Silicijevu solarnu ćeliju s djelotvornošću od 6% su proizveli D. Chapin, C.S. Fuller i G. Pearson u New Yorku u Bell Laboratories. Njihova ideja je i prvi solarni modul koji nosi ime Bellova solarna baterija. Kasnije su se razvijale i usavršavale silicijske ćelije, ali su se također pojavile i jeftinije opcije te neke druge mješavine metala i polumetala.

Kada se govori o primjeni solarnih ćelija, važno je istaknuti značajan napredak od njihovog samog početka, ali isto tako i razliku u cijeni u samom početku i danas.

S obzirom na napredak i cijenu, također je i njihova primjena različita danas i u samom početku. U samim početcima korištenja solarnih ćelija, one su bile jako skupe pa njihova primjena i nije bila baš široka. Koristile su se ili kod uređaja kojima nije bila potrebna velika struja ili kod onih gdje njihova visoka cijena nije bila toliko bitna. Neke male igračke su bile te kojima nije bila potrebna velika struja pa su tu našle svoju primjenu. A sateliti u svemirskim istraživanjima su bili ti kod kojih se njihova cijena uklopila u sve ostale visoke troškove. Kod satelita bilo koji drugi izvor napajanja ne bi bio toliko iskoristiv kao solarne ćelije jer bi svaki od njih imao kratki vijek trajanja u usporedbi sa solarnim ćelijama.

Tek nakon naftne krize 70-tih godina prošlog stoljeća se o solarnoj energiji počelo razmišljati kao o zamjeni za fosilna goriva čije su količine na neki način ograničene. Upravo zbog predviđanja pada raspoloživih zaliha konvencionalnih goriva, vodeći svjetski energetičari, ali i naftne kompanije fotonaponsku tehnologiju smatraju tom koja će prevladati u opskrbljivanju električnom energijom. Upravo tome i svjedočimo zadnjih desetak godina, njihova primjena je još šira. Kod nas se koriste kao izvori napajanja parkirališnih automata, pomoćni izvor napajanja na kalkulatorima i dr. Solarne ćelije su se počele koristiti u građevinarstvu kao zamjena za klasične krovove, kao fasade u novim zgradama ili za poboljšanje toplinske izolacije na postojećim objektima. Kod novijih primjena generira se električna energija koja se može koristiti za vlastite potrebe ili se može isporučiti električnoj mreži što naravno nosi sa sobom neku naknadu. Upravo ta financijska naknada je također veliki poticaj za korištenje solarnih ćelija. Njihova primjena je još uvijek isplativija na mjestima koja su udaljena od električne mreže, tj. gdje nema opskrbe električnom energijom iz električne mreže. Također se izrađuju i solarne elektrane. Iako Hrvatska ima veliki potencijal kad je u pitanju solarna energija, on nažalost još uvijek nije iskorišten onoliko koliko bi se moglo ili koliko je predviđeno planom i programom Europske Unije. S obzirom da je Hrvatska zemlja s bogatom i velikom obalom i mnogobrojnim otocima, upravo su oni ti koji bi mogli najviše energije crpiti od sunca i sami se opskrbljivati električnom energijom. Tu bi bile vidljive znatne uštede kad se govori o financijama, ali osim što bi bile korisne,

mogle bi i lijepo izgledati. Pravi primjer korištenja solarnih panela u dekorativne svrhe također ima obala, a to je Pozdrav Suncu u Zadru. Najnovija primjena solarnih panela kod nas su solarne klupe koje su postavljene u raznim gradovima Hrvatske. Osim što su korisne i omogućuju bežično punjenje mobilnih uređaja i izgledom su moderne i atraktivne. S obzirom da se zadnjih godina javlja sve više novih ideja koje sadrže solarne ćelije, u idućim godinama se može očekivati samo jače širenje njihove primjene.

Slika 2.2. Pozdrav Suncu u Zadru

2.2. Vrste solarnih panela

Solarne ćelije mogu biti napravljeni od različite kombinacije poluvodičkih materijala, ali su silicijske za sada jedine koje se mogu komercijalno nabaviti. Silicijske ćelije se izrađuju od monokristala silicija, polikristaličnog i amfornog silicija. Osim njih, treba spomenuti još dvije vrste, a to su galij arsenidne i kadmij telurijeve ploče.

Monikristalne silicijske ploče

Svaka ćelija je napravljena od jednog komada kristala silicija. Izrada ovih ploča se odvija tako da se monokristalni štapići izvade iz rastaljenog silicija te se režu kriške u obliku kvadrata ili kruga, a izrađuju se od čistog poluvodičkog materijala. Prednja površina sunčane ćelije prekrivena je metalnom rešetkom radi električnog kontakta, a kao drugi kontakt služi donja metalna zaštitna podloga. Električni kontakt se uspostavlja preko tri odvojena sloja metala. Donji sloj je od tankog sloja titana, gornji sloj je srebro zbog niskog otpora i pogodnog lemljenja, a u sredini se nalazi paladij da bi se izbjegla neželjena reakcija između

titana i srebra zbog vlage. Sam način izrade omogućuje relativno visoku iskoristivost. Ovaj tip ploče može pretvoriti 1000 W/m^{2}sunčevog zračenja u 140 W električne energije s površinom ploče 1m^2. Postotak efikasnosti ovih ćelija je 18%.

Polikristalne silicijske ploče

Iako je proizvodnja ovih ploča ekonomski efikasnija u odnosu na monokristalne, upravo zbog načina proizvodnje ovaj tip ima manji stupanj iskoristivosti. Izrađuju se tako što se tekući silicij ulijeva u blokove koji se režu u ploče. Za vrijeme skrućivanja kristala se stvaraju kristalne strukture koje se razlikuju po veličini, a na njihovim granicama se pojavljuju greške i upravo su one razlog manje iskoristivosti polikristalnih silicijskih ploča u odnosu na monokristale. Postotak efikasnosti im je 15%. Mogu pretvoriti 1000 W/m^2 sunčevog zračenja u 130W električne energije s površinom ploče od 1m^2.

Amforne silicijske ploče

Proizvodnja amfornih ćelija relativno je jednostavan i jeftin postupak u kome se na podlogu nanosi tanki film (debljine nekoliko mikrometara) silicija u amfornom stanju. Samim time je utrošak materijala daleko manji nego kod recimo proizvodnje ćelija iz kristalnog silicija. Amforni silicij može se nanositi kao tanki film na bilo koji podlogu, staklo, metal, plastiku, foliju itd. Sve to čini proizvodnju modula jeftiniju i omogućava ekonomski opravdanu primjenu ćelija s manjom djelotvornošću. Prednost mu je još da se lako nanosi na tanke, savitljive podloge tako da se može savijati kao folija, lako prenositi i instalirati na zakrivljenim podlogama. Unatoč svim prednostima, ove vrste ploča imaju i mane, a neke od njih su mala djelotvornost (7%) i mala pouzdanost. Njihova primjena je u opremi kojoj je potrebna mala snaga, npr. satovi i džepna računala. Također se koriste i kao element fasade na zgradama. Ovakva ploča može pretvoriti 1000 W/m^2 sunčevog zračenja u 50W električne energije s površinom ćelije od 1m^2.

Galij arsenidne ploče (GaAs)

Ćelije od galij-arsenida izrađuju se u obliku tankog filma od jedne (GaAs) ili dvije komponente (GaAs+Cu_2S) na nekoj podlozi. Koristi se u višeslojnim i visokoučinkovitim pločama. U usporedbi sa silicijskim pločama relativno je neosjetljiv na toplinu i zračenje. Takva bi ćelija trebala, barem prema teorijskim predviđanjima, imati veliku djelotvornost, budući da se spoj galija i arsenida koristi za izradu elektroničkih komponenti. Proizvedene su

ćelije sa djelotvornošću 25% , ali s obzirom da je to rijedak, skupi i otrovni materijal, njegova primjena je ograničena. Njihova primjena je zastupljena samo u svemirskim programima i u sustavima s koncentriranim zračenjem. Ove ploče mogu pretvoriti 1000W /m^2sunčevog zračenja u 300W električne energije sa površinom ćelija od 1m^2.

Kadmij telurijeve ploče (CdTe)

Ova vrste ploča je najviše tražena uz silicijevske. CdTe je pogodan za upotrebu u tankim fotonaponskim modulima zbog fizikalnih svojstava i jeftine tehnologije izrade. Unatoč navedenim prednostima, zbog kadmijeve otrovnosti i sumnje na kancerogenost nije u širokoj primjeni. Može pretvoriti 1000W /m^2sunčevog zračenja u 160W električne energije sa površinom ćelija od 1m^2 u laboratorijskim uvjetima [3].

3. Akumulatori (baterije)

Akumulatori su galvanski članci u kojima su procesi pri punjenju i pražnjenju povratni (reverzibilni). Kada se akumulator isprazni (izbije), može se ponovo napuniti (nabiti) primjenom vanjskog izvora istosmjerne struje čiji je napon veći od elektromotorne sile akumulatora. Jasno da akumulatori nisu jedini način uskladištavanja električne energije, ali se oni najviše koriste pri primjeni sunčanih ćelija. Najčešće upotrebljava vrsta akumulatora je olovni akumulator iako kao i svaka druga vrsta ima svoje prednosti i nedostatke. U budućnosti se očekuje usavršavanje i ostalih tipova akumulatora, posebno nikal-kadmijskog akumulatora.

Slika 3.1. Automobilski olovno-kiselinski akumulator [6]

3.1. Razvoj akumulatora

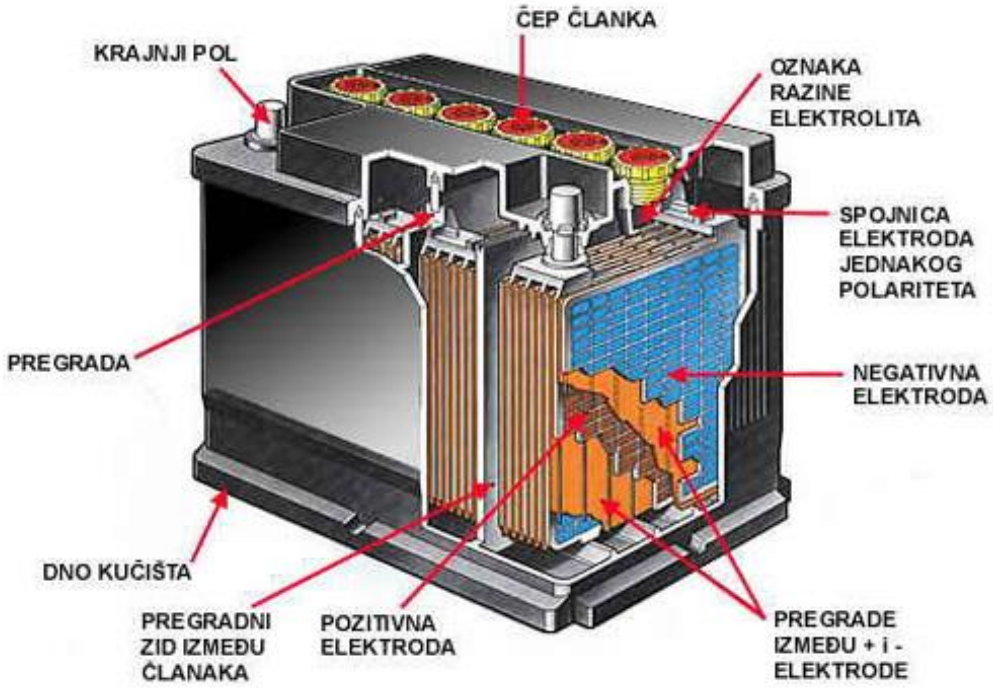
Alessandro Volta je 1800. godine otkrio da ako se cinkova i bakrova elektrodu urone u razrijeđenu sumpornu kiselinu, javlja se neki napon, a to je napon polarizacije. Razlika napona između elektroda iznosi 1.1 V i to je maksimalni napon koji daje Voltin članak. I tu zapravo počinje povijest akumulatora. Ideja o električnom akumulatoru se javila 1803. godine, a vlasnik te ideje je Nijemac J.W. Ritter. Zatim je 1859. godine francuski fizičar Gaston Planté došao na ideju olovnog akumulatora i realizirao tu ideju. Takav akumulator, samo malo dorađen i usavršen je u upotrebi i danas i upravo je on jedan od najzastupljenijih.

Godine 1866. Leclanche je doradio ideju o bateriji na način da je ona ekološki prihvatljiva tako što je koristio ekološki prihvatljiv mangan i cink. Imala je napon od 1.5 V i koristila je vrlo složene kemijske procese te je često znala „curiti“ zbog unutrašnje korozije materijala.

Zatim je 1940. godine nastala prva „alkalna“ baterija koja je kao elektrolit sadržala kalijev hidroksid. Iako nije bila ekološki prihvatljiva zbog velikog udjela kadmija i žive, često je bila u upotrebi jer je imala čak pet do osam puta dulji životni vijek u usporedbi s baterijama s cinkom i bakrom. Najnoviji tip baterije je litij-polimerska baterija, za sad najstabilnija i najbolja.

3.2. Građa akumulatora

Akumulator ima dvije vrste različitih metalnih elektroda i one moraju biti uronjene u otopinu kiseline i vode. Opisana struktura se zove ćelija akumulatora.



Slika 3.2. Građa akumulatora [5]

Akumulator se sastoji od:

Elektrode (olovna rešetkasta ploča na koju se nanosi aktivni sloj)

Anoda (+) od olova (Pb)

Katoda (-) od olovnog oksida (PbO_2)

Kućište s pregradama (ćelijama) i čepovima

Elektrolit (razrijeđena sumporna kiselina- H_2SO_4)

Priključci za napajanje

Separator koji razdvaja ploče elektroda

3.2.1. Punjenje i pražnjenje akumulatora

Jedna od velikih prednosti akumulatora je ta da se može ponovno napuniti kada se isprazni. Pa tako kod akumulatora razlikujemo proces punjenja i proces pražnjenja. Napon baterije određuje se prema elektrokemijskom nizu (Voltin niz - slika), potencijal pojedinog metala prema standardnoj vodikovoj elektrodi.

Au	Ag	Cu	**H**	Pb	Sn	Ni	Cd	Fe	Cr	Zn	Al	Na	Li
+1.36	+0.80	+0.34	**0**	−0.13	−0.14	−0.23	−0.40	−0.44	−0.56	−0.76	−1.28	−2.71	−3.05

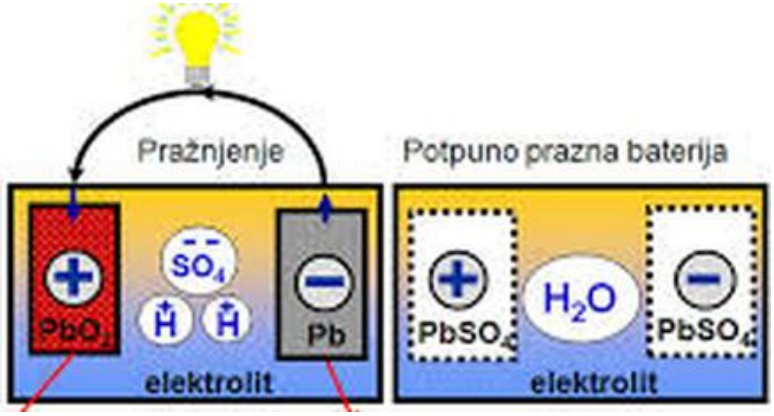
3.3. Voltin niz

Pražnjenje akumulatora

Ovaj proces se javlja kada na akumulator priključimo električna trošila, time se količina akumulirane energije u akumulatoru smanjuje.

Kemijski sastav elektroda se mijenja tijekom punjenja i pražnjenja akumulatora, ali se na kraju dobije ista struktura čime prestaje stvaranje el. napona. Kod pražnjenja, proces je idući:

$$PbO + H_2SO_4 + Pb \rightarrow PbSO_4 + H_2O + PbSO_4$$



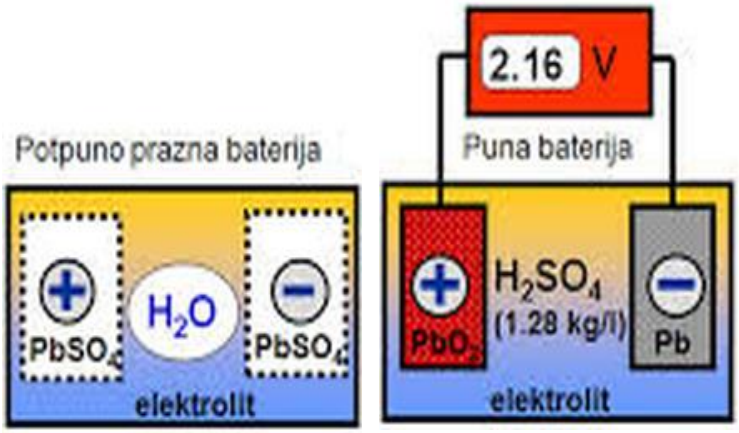
Slika 3.4. Proces pražnjenja akumulatora [4]

Potpuno prazan akumulator ima istu strukturu, a elektrolit je prorijeđen tj. ima veću koncentraciju vode.

Punjenje akumulatora

Ovaj proces se odvija kada je akumulator priključen na uređaj za punjenje koji ima veći napon. Na taj način se smjer struje kroz akumulator promijeni pa u ovom slučaju kemijski proces ima obrnuti smjer nego kod pražnjenja. Da bi se povećala količina akumulirane energije troši se energija punjača. Elektrode i ovdje mijenjaju svoju kemijski sastav i na kraju dobivaju početnu strukturu, jednaku onoj početnoj. Proces punjenja je sljedeći:

$PbSO_4+H_2O+PbSO_4 \rightarrow PbO+ H_2SO_4+Pb$



Slika 3.5. Proces punjenja akumulatora [4]

Punjenjem se povećava gustoća elektrolita, što znači da se količina vode smanjuje. Napon potpuno napunjene ćelije akumulatora iznosi 2.16V.

3.3. Parametri akumulatora

Za usporedbu akumulatora mogu pomoći njihovi osnovni parametri na temelju kojih se može zaključiti kakve je kvalitete akumulator. Oni su ključni i pri kupovini i odabiru akumulatora. Osnovni parametri akumulatora jesu:

Kapacitet (Ah) – mjera za količinu električne energije koju baterija može pohraniti tijekom punjenja te koju može dati tijekom pražnjenja. Izražava se u Ah zbog pretpostavke da je napon na izvoru konstantan. Kapacitet se mora izraziti zajedno sa strujom pražnjenja uz koju je izmjeren i uz temperaturu.

Gustoća snage (W/kg, W/l) – izražava se kao gustoća snage prema jediničnoj masi (W/kg) ili kao gustoća snage prema jediničnom volumenu (W/l)

Energetska gustoća (Wh/kg, Wh/l) - omjer energije i mase baterije. Veća gustoća energije predstavlja lakšu bateriju uz isti kapacitet i nazivni napon. Izražava se kao energetska gustoća prema jediničnoj masi (Wh/kg) ili kao energetska gustoća prema jediničnom volumenu (Wh/l).

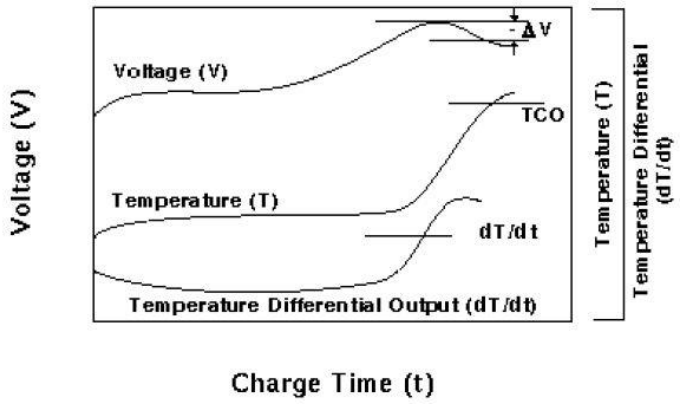
Minimalni i maksimalni napon koji je dozvoljen na izvoru – maksimalni napon se javlja kad je akumulator potpuno napunjen, a minimalni kada je izvor ispražnjen.

Maksimalna struja pražnjenja – maksimalni iznos struje kojom možemo prazniti akumulator.

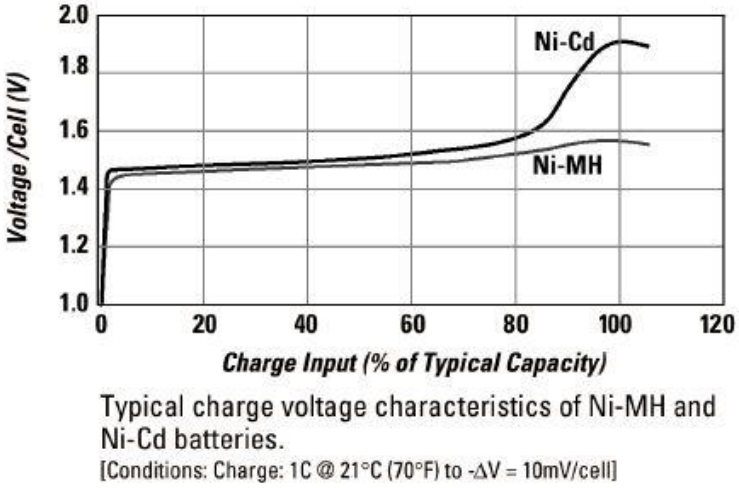
Ciklus – tu se obično podrazumijeva jedno punjenje i jedno pražnjenje. Kod punjenja se podrazumijeva da je akumulator napunjen do kraja. Izražava se zajedno sa strujom pražnjenja i temperaturom uz koju je napravljeno mjerenje.

Životni vijek – broj ciklusa nakon kojeg kapacitet baterije nepovratno padne ispod 80%.

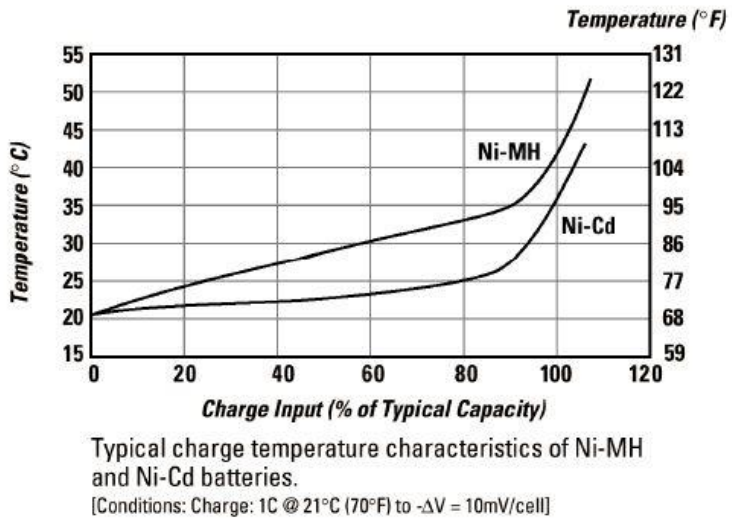
Ovisnosti nekih od karakteristika akumulatora biti će prikazane grafovima.



Slika 3.6. Različiti načini detekcije punjenje [9]



Slika 3.7. Usporedba ovisnosti napona o kapacitetu pri temperaturi 21°C kod Ni-Cd i Ni-MH baterija [9]



Slika 3.8. Ovisnost temperature o kapacitetu kod Ni-Cd i Ni-MH baterija [9]

3.4. Vrste akumulatora (baterija)

Kombinacija materijala anode i katode je ta koja određuje performanse, napon i kapacitet, samim time i vrstu akumulatora. Akumulatori se dijeli prema kemijskom sastavu, također se dijele i na primarne i sekundarne. Primarne vrste baterija se mogu isprazniti samo jednom, kad se isprazne, njihovo punjenje nije moguće jer njihova kemijska jednadžba nije reverzibilna. Kod sekundarnih baterija ponovno punjenje je moguće jer je njihov kemijski proces reverzibilan.

Najpoznatija vrsta primarnih baterija su cink-ugljik te cink-klorid, alkalne i srebro-klorid baterije. Cink-ugljik baterija se sastoji od ugljenog štapića (smjesa ugljika i mangan dioksida) koji je ujedno i pozitivna elektroda, a negativnu elektrodu čini posuda od cinka. Elektrolit je kod ove vrste smjesa cink-klorida i amonij-klorida natopljenog u vodi. Napon članka ove vrste baterija je 1,5V. Napon članka alkalnih baterija je također 1,5V. Kod njih je anoda napravljena od cinka u prahu, a katoda od mangan-dioksida. Elektrolit je lužina, kalij-hidroksid. Prednosti alkalnih baterija su veći kapacitet, mogu se prazniti većim strujama, imaju veći temperaturni koeficijent i dobru otpornost. Srebro-oksid baterije isto imaju napon po članku 1,5 V te ih ističe velika trajnost i visoka učinkovitost po jedinici mase. Dok ih u široj primjeni ograničava cijena srebra, zbog toga se one koriste kao male dugmaste baterije za neke elektroničke uređaje kao npr. kalkulatori ili ručni satovi dok se profesionalna primjena tih baterija odnosi isključivo na vojnu industriju i mornaricu (npr. napajanje torpeda). Kod ove baterije anoda je cink, a katoda srebrni oksid, dok je elektrolit najčešće natrij-hidroksid ili kalij-hidroksid.

Jedna od najpoznatijih vrsta akumulatora je olovno-kiselinski akumulator, koji će biti detaljnije obrađen u nastavku. Kemijski i fizički konkurentan olovno-kiselinskom akumulatoru, još jedan od poznatijih i najstarijih je nikal-kadmij (alkalijski) akumulator. Njegova prva primjena je zabilježena 1946. godine, a poznat je 1900. godine. Godinama je smatran najboljim izborom za uređaje široke potrošnje, prvenstveno su ga izdvajali veliki kapacitet, niski troškovi proizvodnje, ali i opcija pražnjenja velikim jakostima struja te mogućnost izravne primjene umjesto standardnih cink-ugljik baterija. Kod ove vrste razlikuju se još dvije osnovne podvrste, a to su hermetički zatvorene i ventilirajuće baterije. Hermetički zatvorene su razvile široku primjenu (igračke, električni alat, bežični telefon itd.), a velika prednost im je da je njihova primjena moguća pojedinačno ili grupno, u serijskom ili paralelnom spoju. Još jedna od prednosti je da se mogu nekoliko godine uskladištiti bez posljedica na njihov rad kasnije te nisu toliko osjetljivi pri prenošenju i mehaničkim vibracijama. Mane su im da su skuplji od olovnih akumulatora, a djelotvornost uskladištenja naboja im je manja. Napon im je 1,2V, niži od uobičajnih 1,5V kod primarnih baterija, efikasnost im je 70-90%. Ukupna jednadžba reakcije za NiCd akumulator je:

$$2NiOOH + 2\,H_2O + Cd \underset{\text{Punjenje (nabijanje)}}{\overset{\text{Pražnjenje (izbijanje)}}{\rightleftharpoons}} 2\,Ni(OH)_2 + Cd\,(OH)_2$$

Nikal- metal hibrid i litij-ion su jedne od novijih vrsta sekundarnih baterija. Nikal-metal hibrid (NiMH) baterije su po sastavu poprilično slične već opisanim nikal-kadmij baterijama, a osim što je kod NiMH baterija toksičan kadmij iz NiCd baterija zamijenjen ekološki prihvatljivijim hibrid metalom (spojem vodika i metala, tj. vodikom), one imaju i veći kapacitet do 40%. Također imaju i veću gustoću energije i veću otpornost na kristalizaciju. Pojavile su se 1980-tih godina, a svoju primjenu razvile 20-tak godina kasnije. NiMH akumulatori pozitivnu elektrodu imaju napravljenu od nikal oksid hidroksida (NiOOH) i hidrida metala (metala i vodika), kao i NiCd akumulatori, ali kao negativna elektroda kod njih se koriste metalni hidridi.

$$MH + NiOOH(s) \underset{\text{Punjenje (nabijanje)}}{\overset{\text{Pražnjenje (izbijanje)}}{\rightleftharpoons}} M + Ni(OH)_2(s)$$

Još neke od karakteristika NiMH baterija jesu da podnose velike struje pražnjenja, mogu se puniti jakim strujama (petina kapaciteta) i ne pate od memorijskog efekta, ali loše podnose punjenje koje traje vremenski duže no što je potrebno. Zbog toga za punjenje ove vrste baterija uglavnom nisu pogodni punjači za NiCd baterije, već punjači sa ΔV kontrolom, timerom i sl. U zadnje vrijeme na tržištu su se pojavile nove vrste NiMH baterija kod kojih je samopražnjenje svedeno na minimum. Zbog uporabe novih separatora kapacitet se zadržava na razini od 85 do 90 % tijekom jedne godine. Također se još i radi na smanjenju pojave samopražnjenja pa se tako pojavila još jedna vrsta NiMH baterija kojima je upravo to glavna karakteristika. One kad se jednom napune, zadrže napon članka tokom cijele godine. Poboljšanje je postignuto novim, tanjim separatorima između elektroda NiMH baterije koji su zasićeni demineraliziranom vodom, rešetkasta katoda izrađena je od novih vrsta legura, a elektrolit unaprijeđen. Iako za sad nije za očekivati postizanje većih kapaciteta od 2600mAh, za očekivati je kako će se kapaciteti u budućnosti povećati.

Mogu se spomenuti još i litij-ion baterije. One imaju veliki kapacitet po jedinici mase (160 Wh/kg), a napon im može iznositi od 1,5 V do 4,2 V po članku što im je velika prednost u usporedbi s ostalim baterijama. Također ne pate od memorijskog efekta i samim time im je primjena sve raširenija (mobilni telefoni, prijenosna računala itd.) pa sve više potiskuju primjenu NiMH baterija. Mogu se i oblikovati prema potrebi s obzirom na uređaj za koji su namijenjene. Još jedna od prednosti im je malo, gotovo neznatno samopražnjenje koje iznosi oko 5% mjesečno. Karakterizira ih i jako mala masa, ali odličan omjer kapaciteta po jedinici mase. Mogu sadržavati i elektronski sklop koji prati stanje baterije i napon. Uz sve navedene prednosti, imaju i one neke nedostatke. Gube kapacitet kod uvjeta povišene temperature, a starenjem članaka povećava se unutarnji otpor što uzrokuje smanjenje jakosti struje koju baterija može dati. Uz sve to im je i životni vijek kraći.

3.4.1. Olovno kiselinski akumulator

Olovno kiselinski akumulator je prvi u praksi upotrebljiv akumulator, konstruiran od strane Gastona Plante-a 1859. godine. Do danas se je njegov prvobitan izgled i konstrukcija promijenila, ali je temelj ideje o tom akumulatoru ostao isti. On spada u sekundarnu vrstu

baterija, što znači da se može ponovo napuniti nakon što je jednom ispražnjen, dok se primarna vrsta baterija ne može puniti pa se mogu iskoristiti samo jednom.

Olovno kiselinski akumulator se sastoji od jednog ili više članaka koji sadrže dvije olovne ploče uronjene u vodom razrijeđenu sumpornu kiselinu (elektrolit) prilagođene koncentracije. Nabijeni olovni akumulator sadrži anodu (- pol) koja je izrađena od spužvastog olova (Pb) i katodu (+ pol) izrađenu od olovo (IV)- oksida (PbO_2). Elektrolit je kod ove vrste sulfatna (sumporna) kiselina. Najčešće se upotrebljavaju olovni akumulatori koji daju 2V po ćeliji, a najčešću primjenu su razvili kod vozila. S obzirom da vozila imaju instalaciju od 12 V, kod njih se koristi akumulator sa 6 ugrađenih i serijski povezanih ćelija pa se njihovi naponi zbrajaju i dobiva se željeni napon. Da bi dobili veći kapacitet, često se umjesto dviju ploča upotrebljavaju dva sloga ploča. Dnevno samo pražnjenje punog akumulatora je ~1% , specifična energija je 20-35 Wh/kg, dok je djelotvornost 0,75-0,85, a životni vijek olovnog akumulatora je 2 do 10 i više godina.

Olovno kiselinski akumulator radi tako što se olovne ploče uslijed stajanja u sumpornoj kiselini presvlače na površini slojem olovnog sulfata ($PbSO_4$).

Procesi do kojih dolazi uslijed punjenja akumulatora:

Anoda (-) : $Pb^{2+} - 2\,e^- \rightarrow Pb\,(s)$

Katoda (+) : $Pb^{2+} + 2\,H_2O \rightarrow PbO_2\,(s) + 4\,H^+\,(aq) + 2\,e^-$

Ukupna jednadžba : $2\,Pb^{2+} + 2\,H_2O \rightarrow Pb\,(s) + PbO_2\,(s) + 4\,H^+\,(aq)$

Ili $2PbSO_4\,(s) + 2H_2O\,(l) \rightarrow Pb\,(s) + PbO_2\,(s) + 2H_2SO_4\,(aq)$

Gdje je: s – oznaka za čvrsto stanje

l – oznaka za tekuće stanje

aq – oznaka za razrijeđenu vodenu otopinu

U nabijenom akumulatoru gustoća sulfatne kiseline je $p(H_2SO_4)$= 1,25 do 1,30 g cm^{-3} pri 20°C.

Tijekom kemijskim jednadžbi za vrijeme punjenja akumulatora koncentracija kiseline raste. U procesu punjenja Pb^{2+} - ion na anodi prima dva elektrona iz izvora punjenja i prelazi u atomski oblik Pb, a Pb^{2+} - ion na katodi otpušta dva elektrona i prelazi u molekulski oblik oksida PbO_2. Prema tome, da bi se na elektrodama izlučio jedan mol tvari potreban je naboj (množina kapaciteta) 2 faradeja (2F) ili 2*26,8 Ah= 53,6 Ah (1F= 26,8 Ah= 95480 C).

Punjenje traje sve dok na elektrodama ima olovnog sulfata, a nakon punjenja su elektrode postale različite te su zajedno sa elektrolitom galvanski članak s nazivnim naponom U_n=2V.

Da bi akumulator ispraznili, na njega trebamo priključiti neko trošilo. Tada se elektroni oslobađaju na negativnoj elektrodi i žicom se prenose na pozitivnu elektrodu. Pri tome se odvijaju suprotne kemijske reakcije u odnosu na one pri punjenju akumulatora:

anoda (-) : $Pb\ (s) + SO_4^{2-}\ (aq) \rightarrow PbSO_4\ (s) + 2\ e^-$

katoda (+) : $PbO_2\ (s) + 4\ H^+\ (aq) + SO_4^{2-}\ (aq) + 2\ e^- \rightarrow 2PbSO_4\ (s) + 2H_2O\ (l)$

Ukupna jednadžba: $Pb\ (s) + PbO_2\ (s) + 2H_2SO_4\ (aq) \rightarrow 2PbSO_4\ (s) + 2H_2O\ (l)$

Iz kemijskih jednadžbi pri pražnjenju akumulatora vidi se da nastaje voda što znači da se smanjuje koncentracija kiseline. Gustoća kiseline u ispražnjenom akumulatoru iznosi

$p(H_2SO_4) = 1{,}15\ g\ cm^{-3}$ pri 20°C.

Ispitivanje napunjenosti akumulatora mjerenjem napona provodi se pri opterećenom akumulatoru tzv. ispitivalom za akumulatore koje se sastoji od voltmetra s paralelno priključenim otpornikom . Stanje napunjenosti akumulatora moguće je ispitati i mjerenjem gustoće kiseline pomoću specijalnog areometra (naprava za određivanje gustoće). Kada ispitujemo stanje akumulatora na taj način potrebno je poznavati i neke parametre akumulatora kao što su tip akumulatora i temperatura jer i o njima ovisi gustoća.

Prethodno spomenute jednadžbe punjenja i pražnjenja akumulatora vode do zaključka da su reakcije reverzibilne, što se može zapisati:

$$Pb(s) + PbO_2(s) + 2\ H_2SO_4(aq) \underset{\text{Punjenje (nabijanje)}}{\overset{\text{Pražnjenje (izbijanje)}}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_4(s) + 2\ H_2O(l)$$

Da bi životni vijek akumulatora bio što duži treba se držati nekih smjernica. Jedna od njih je paziti na napon akumulatora pri punjenju, on ne smije biti veći od 2,4 V jer onda dolazi do elektrolize voda. Prilikom elektrolize vode se razvijaju plinovi (vodik i kisik) pa se čini kao da elektrolit „kipi“. Inače se to smatra znakom napunjenosti akumulatora. Kada je riječ o izbijanju akumulatora, on se koristi samo do napona 1,8 V i pri tome ga ne treba prazniti jer se akumulator više ne može koristiti ako mu se elektrode jače prekriju olovo (II).sulfatom. Također tijekom pražnjenja akumulatora raste unutarnji otpor, jer je $PbSO_4$ loš vodič elektriciteta. Za akumulator nije ni dobro da stoji duže vrijeme poluprazan zbog povećavanja kristala olovo (II)- sulfata koji se kasnije nabijanjem akumulatora ne mogu ponovo otopiti. Time se skraćuje životni vijek akumulatora te se smanjuje njegov kapacitet. Najčešći napon na kojem se puni olovni akumulator iznosi 2,25 V po ćeliji, a u slučaju da je potrebno ubrzano punjenje on iznosi 2,4 V po ćeliji. Na početku punjenja napon naglo raste pa je neko vrijeme stalan zatim opet raste do 2,4 V pa čak i više do 2,7 V. Akumulator je potpuno napunjen kada

se gustoća elektrolita više ne mijenja. Nedostaci olovnog akumulatora su dubinsko pražnjenje ispod 1,8V po članku, pri čemu se elektrode nepovratno sulfatiziraju, relativno velika masa po jedinici kapaciteta i nužno održavanje zbog izraženog samopražnjenja te mogućnost stvaranja eksplozivne smjese vodika i kisika uslijed elektrolize elektrolita. Novija izvedba olovnog akumulatora nalazi primjenu u elektroničkim sklopovima, telefonskim centralama i medicinskoj opremi, ali tada redovito dolazi u hermetički zatvorenoj izvedbi.

Tipični podaci za olovno-kiselinske akumulatore jesu:

Napon 12V, kapacitet 100Ah/100 H (1200 Wh) na 25℃

Volumen oko 12 L (0,01 L/Wh)

Masa oko 25 kg (0,022 kg/ Wh)

Obujam elektrolita oko 6 L

Dopušteno pražnjenje oko 80% od nazivnog kapaciteta

Minimalni napon ispražnjenog akumulatora 10,8 V

Samopražnjenje 0,3% dnevno

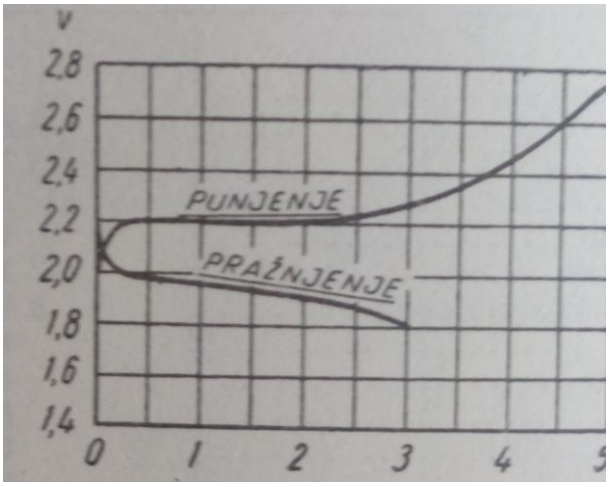
Maksimalni napon punjenja 14V na 25℃

Servisni pregled svake godine

Specifična energija (tj. energija po jedinici mase) je oko 50 Wh/ kg, dok je energija iskazana po jedinici obujma oko 100 Wh/ L.

4. Punjenje akumulatora

Akumulatori se pune samo istosmjernom strujom, a nju daje mreža istosmjerne struje ili ispravljač u slučaju kada postoji samo mreža izmjenične ili trofazne struje. Pune se na način da se na pozitivnu stezaljku izvora struje spoji pozitivnu stezaljku akumulatora, a na negativnu stezaljku izvora struje se spoji negativnu stezaljku akumulatora. Na kraju pražnjenja akumulatora, njegov napon ne smije iznositi manje od 1,7-1,8 V, a elektromotorna sila napunjenog akumulatora je 2,1 V.



Slika 4.1. Krivulja punjenja i pražnjenja olovnih akumulatora [8]

Postoji više načina punjenja akumulatora. Neki od njih će se samo spomenuti, a neki će biti malo detaljnije opisani. Akumulator se može puniti: s konstantnom jakosti struje, s konstantnom jakosti struje do trena kada se počne razvijati plin, a zatim konstantnim naponom, automatskim punjenjem uz kontinuirano smanjivanje jakosti struje punjenja i automatskim isključivanjem na kraju punjenja, punjenjem i pražnjenjem odbojne (Puffer) baterije sa konstantnim brojem članaka gdje su izvor struje i akumulatorska baterija spojene paralelno sa potrošačem, trajnim punjenjem konstantnim naponom te punjenjem za održavanje.

Punjenje pri konstantnoj veličini struje- kod ove vrste punjenja maksimalna struje ne smije prijeći 2,5 – 4 satne struje pražnjenja. Neophodno je u toku procesa punjenja postepeno povećavati napon izvora. Pred sam kraj punjenja dolazi do obilnog razvijanja plinova, poslije čega se jakost struje punjenja smanjuje do 40% početne jakosti struje. Punjenje se prekida kada ponovno dođe do razvijanja plinova.

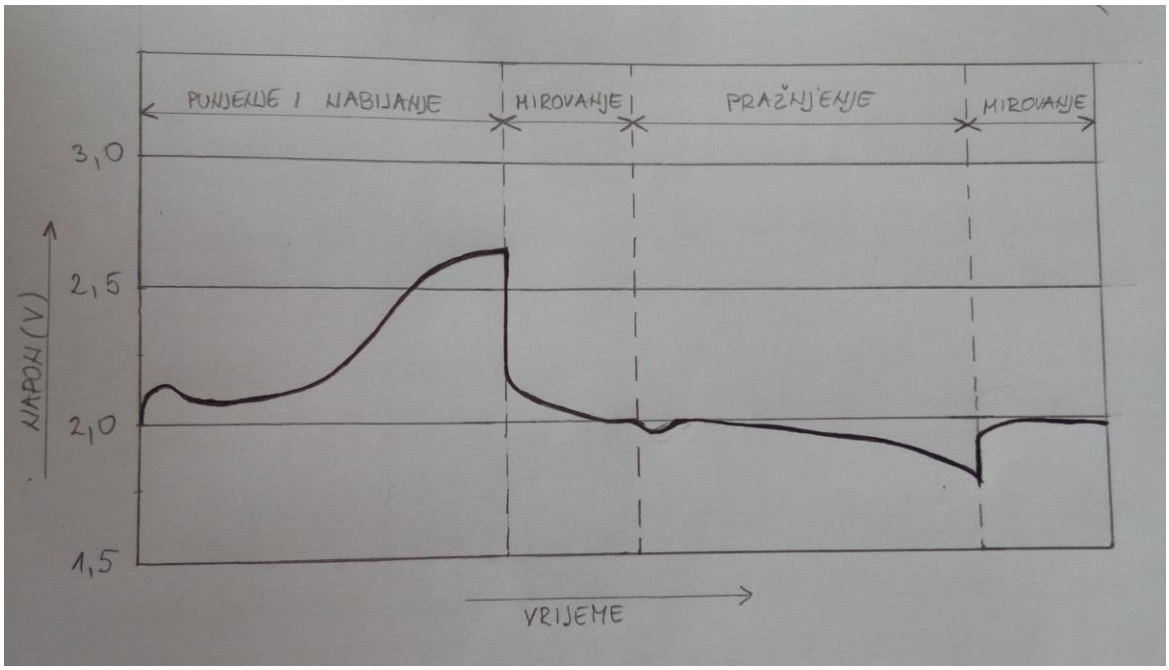
Punjenje pri konstantnom naponu- ovdje se napon na krajevima akumulatora održava stalnim i jednakim 2,3 V po elementu. Struja se za vrijeme punjenja smanjuje i kod potpuno napunjenog akumulatora dostiže vrijednost nula.

Punjenje za održavanje- akumulator je priključen na određeni napon i pune se samo tolikom jakosti struje da se kompenzira samopražnjenje.

Punjenje za izjednačenje- ova vrsta punjenja se provodi povremeno nakon normalnog punjenja, a svrha ovog punjenja je da se povremeno napune i oni članci akumulatorske baterije koji su za vrijeme prethodnih normalnih punjenja iz bilo kojeg razloga zaostali, a time se osigurava da takvi članci ne bi pretrpjeli trajan kvar.

4.1. Vrste punjača

Proces punjenja ovisi i veličini i vrsti akumulatora (baterije) koji se puni. Neki od njih su veoma tolerantni kad je riječ o prekomjernom punjenju, a kod nekih je potrebno posvetiti posebnu pažnju upravo tome. Neki punjači zahtijevaju ručno isključenje na kraju procesa punjenja, a neki mogu imati zadano vrijeme nakon kojeg se punjač sam isključi. Neki punjači mogu imati podešenu temperaturu ili napon pomoću senzora i regulatora te se nakon određene temperature ili napona sam isključi na kraju punjenja.



Slika 4.2. Proces punjenja i pražnjenja olovnog akumulatora

Razlikuju se: jednostavni punjači, brzi punjači, induktivni punjači, inteligentni punjači, motion-power punjači, pulse punjači, solarni punjači, univerzalni punjači, USB punjači. Neke od njih će se malo detaljnije opisati.

Jednostavni punjači – oni su napajani konstantnim izvorom napajanja. On ne mijenja svoj izlaz na temelju vremena ili vrijednosti napona na bateriji. Prednost mu je da je jeftin, ali naravno to utječe na njegovu kvalitetu. Punjenje pomoću njega traje duže, ali treba paziti na vrijeme jer ako se puni prekomjerno, baterija će biti oslabljena ili uništena. Ovaj punjač može biti napajan konstantnim naponom ili konstantnom strujom.

Brzi punjači- koriste se za brzo punjenje uz kontroliranje procesa punjenja da ne bi došlo do oštećenja u ćelijama akumulatora. Većina takvih punjača ima ventilator za hlađenje kako bi se temperatura održavala na nekoj određenoj dozvoljenoj vrijednosti.

Induktivni punjači- ova vrsta koristi elektromagnetsku indukciju za punjenje akumulatora, a spojen je na električni uređaj preko induktiviteta. Najčešće se primjenjuju u električnim četkicama za zube i sličnim uređajima koji se koriste u kupaonici jer nema otvoreni električni kontakt i ne postoji opasnost od strujnog udara.

Inteligentni punjači- tipični primjer ovog punjača je onaj za AA i AAA baterije. Inteligentnim punjačem naziva se onaj koji može prikazati stanje napunjenosti baterije. On može pratiti napon, temperaturu ili trajanje baterije te na temelju toga odrediti optimalnu struju punjenja ili prekinuti punjenje.

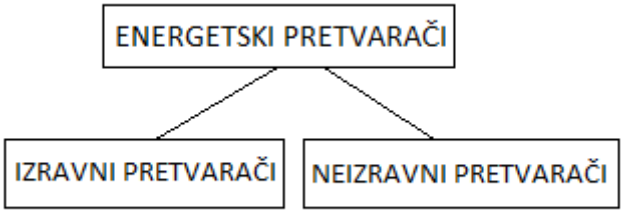
Solarni punjači- pretvaraju energiju Sunca u istosmjernu struju. Koriste solarne panele kako bi se ta energija prikupila te se preko izmjenjivača i ispravljača ona dalje prilagođava za korištenje u svrhu punjenja. Iako prijenosni solarni punjač dobi energiju samo iz sunca, oni se mogu koristiti i u uvjetima kada sunčeve svijetlosti i nema toliko, tj. kod oblačnog vremena.

USB punjači- koriste se za spajanje uređaja na izvor napajanja. Koriste ih punjači mobilnih uređaja, tableti itd.

Slika 4.3. USB punjač

5. Pretvarači

Pretvarači su uređaji koji se ugrađuju između mreže i trošila da bi omogućili povezivanje tih dvaju različitih sustava. Ulazni priključci energetskog pretvarača su spojeni na mrežu, a izlaz pretvarača je spojen na trošilo. Osnovna podjela pretvarača je ona s obzirom na vrste procesa pretvorbe, a dijele se na izravne i neizravne pretvarače.

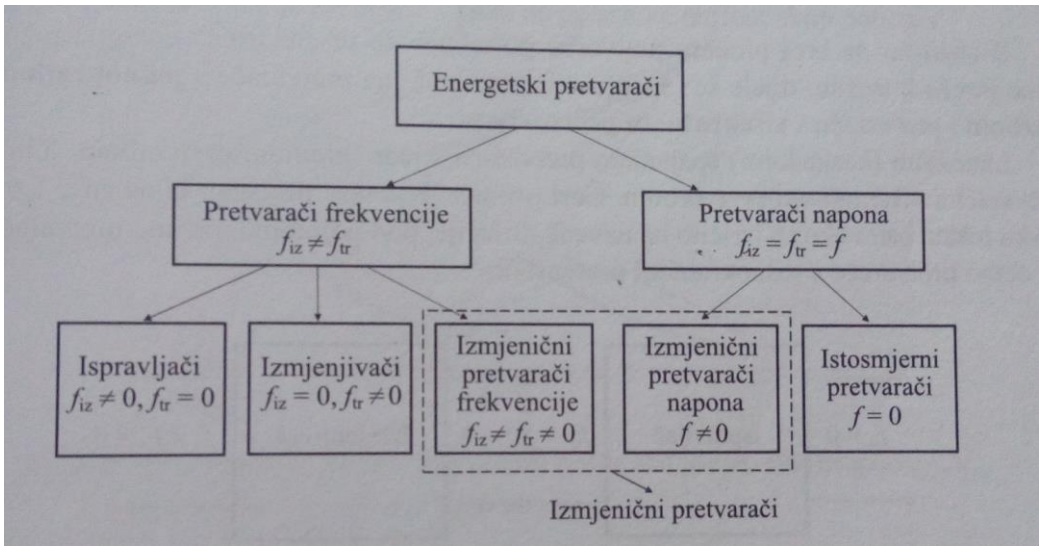


Slika 5.1. Osnovna podjela energetskih pretvarača

U neizravnim pretvaračima su aktivne električne mreže mjesto procesa pretvorbe. To bi značilo da se u pretvaraču pretvara električna energija dobivena iz mreže u neki drugi oblik energije, a zatim se ponovno pretvara u električnu energiju koja se predaje trošilu. Kao primjer može se navesti motor-generatorske grupe gdje je energija u koju se električna pretvara, mehanička. Tu energiju zovemo neelektrični energetski posrednik.

Kod izravnih pretvarača nema neelektričnog energetskog posrednika, kod njih se pretvorba vrši u pasivnim električnim mrežama. Ovdje postoji samo jedan dio električne energije koji se neželjeno pretvara u toplinu u pretvaraču. Za realizaciju izravnih pretvarača su dozvoljene sve komponente osim aktivnih (generator, akumulator, fotonaponski članci te vremenski promjenjive reaktivne komponente). Izravne pretvarače dijelimo na transformatore i sklopne pretvarače (elektronički energetski, kontaktni, vakuumski).

S obzirom na sustave koje pretvarači povezuju, mogu se podijeliti na pretvarače frekvencije i pretvarače napona. Pretvarače napona dijele se na izmjenični pretvarač napona i istosmjerni pretvarač napona, dok se pretvarači frekvencije dijele na ispravljače, izmjenjivače i izmjenične pretvarače frekvencije. Pretvarači frekvencija povezuju mrežu i trošila različitih frekvencija, a pretvarači napona povezuju mrežu i trošila istih frekvencija. Još jedna podgrupa pretvarača su izmjenjivači. Nju čine izmjenični pretvarači napona i izmjenični pretvarači frekvencije [12].



Slika 5.2. Podjela s obzirom na sustave koje pretvarači povezuju [12]

5.1. Izmjenjivači

Izmjenjivači su pretvarači istosmjernog sustava izvora u izmjenični sustav trošila. On pretvara istosmjernu struju modula u izmjeničnu, sinkroniziranu s naponom i frekvencijom mreže. Solarni paneli su preko izmjenjivača spojeni na mrežu. Izmjenjivač određuje samo frekvenciju izlaznog napona u slučaju kada su struja i/ili napon istosmjernog međukruga promjenjivi. A ako je napon istosmjernog međukruga konstantan, tada izmjenjivač određuje amplitudu i frekvenciju izlaznog napona. Primjenjuju se kod reguliranih izmjeničnih elektromotronih pogona koji su napajani iz istosmjerne mreže te napajanje osjetljivih izmjeničnih trošila u sustavima neprekidnog napajanja. Također se koriste i kada je potrebno upravljanje efektivnom vrijednošću struje.

Glavni dio izmjenjivača su poluvodički upravljivi ventili koji preklapaju istosmjerni napon iz istosmjernog međukruga u izmjenični napon. Kod trofaznih pretvarača izmjenjivač čine tri para poluvodičkog ventila spojenih u mosnom spoju. Poluvodičke sklopke za izmjenjivač koji se napaja s istosmjernom strujom promjenjive amplitude koriste se tiristori čija je sklopna frekvencija do 2kHz, a za izmjenjivač koji se napaja istosmjernim naponom koriste se IGBT tranzistori čija se sklopna frekvencija kreće od 0.3 do 20 kHz [11].

S obzirom na vrstu trošila, izmjenjivače dijelimo na nemotorna i motorna trošila.

5.1.1. Nemotorna trošila

Svjetiljke sa žarnom niti (žarulje)

One su u ustaljenom stanju rada linearna vremenski nepromjenjiva trošila. U prijelaznom stanju se njihova otpornost poveća od hladnog stanja do toplog stanja i za deset puta. S obzirom da su prosječne toplinske vremenske konstante svjetiljke sa žarnom niti istog reda veličine kao i najkraće toplinske vremenske konstante poluvodičkih ventila autonomnih izmjenjivača, pri projektiranju izmjenjivača koji napajaju svjetiljke sa žarnom niti, vrlo je važno poznavati njihove toplinske vremenske konstante i promjene otpora tijekom uklapanja.

Fluorescentne svjetiljke

Može ih se opisati kao nelinearne vremenski nepromjenjiva radna trošila. Na izmjeničnu mrežu mogu se spojiti na dva načina. Jedan od njih je da se fluorescentna svjetiljka spoji izravno na autonomni izmjenjivač koji zbog većeg svjetlosnog iskorištenja radi na povišenoj frekvenciji. Drugi način je da se u seriju sa fluorescentnom svjetiljkom spoji prigušnica, tzv. induktivna predspojna naprava. Tada se fluorescentna svjetiljka ponaša gotovo kao linearno vremenski nepromjenjivo radno-induktivno opterećenje.

Kapacitivno opterećeni jednofazni ispravljači

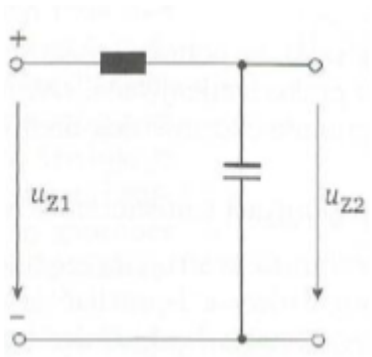
Kapacitivno opterećeni jednofazni ispravljač je nelinearno i vremenski nepromjenjivo radno trošilo. Iz ove vrste se napajaju računala, ali i ostatak informatičke opreme. Zbog toga oni obično čine najveći dio snage trošila autonomnih izmjenjivača u sustavima neprekidnog napajanja izmjeničnim naponom.

Transformatori

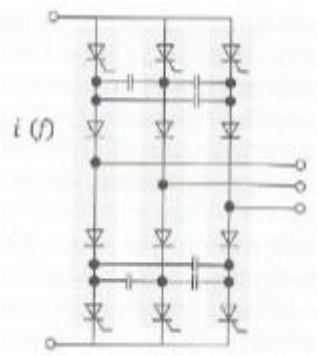
Transformatori su vremenski nepromjenjiva jednofazna tj. trofazna trošila. Koriste se za galvansko odvajanje i/ili prilagodbu napona trošila izlaznim naponima autonomnih izmjenjivača koji ih napajaju.

5.1.2. Motorna trošila

Koriste se izmjenjivači sa induktivitetom istosmjernog međukruga u kombinaciji s tiristorskim izmjenjivačem.



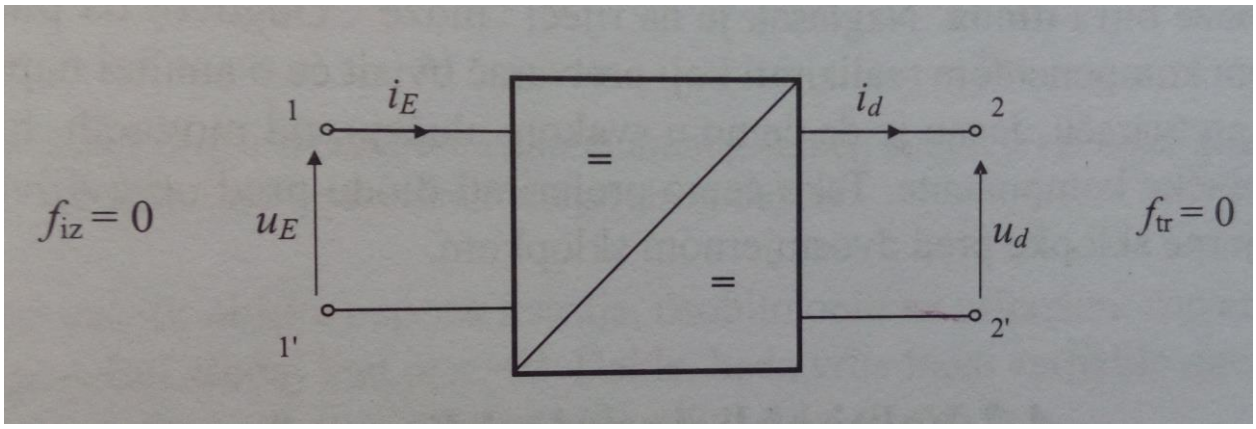
Slika 5.3. Naponski istosmjerni međukrug [11]



Slika 5.4. Tiristorski izmjenjivač sa promjenjivim naponom za strujni istosmjerni međukrug [11]

5.2. Istosmjerni pretvarači

Istosmjerni pretvarači su pretvarači koji povezuju dvije istosmjerne mreže. Oni se koriste kada se istosmjerna trošila ne smiju izravno spojiti na raspoložive istosmjerne izvore. Najčešći su razlozi tome različiti nazivni naponi istosmjernih mreža i trošila kao i zahtjev da trošila budu galvanski odvojena. Također se koriste kada je jedini energetski izvor akumulatorska baterija, a važno je da se srednja vrijednost napona na trošilu može kontinuirano mijenjati ili se da se mreža na priključcima ponaša kao strujni izvor, što je često. U tim se slučajevima pomoću istosmjernih pretvarača izravno skaliraju integralne veličine napona odnosno struja istosmjernih pojnih mreža na razine koje zahtijevaju istosmjerna trošila.

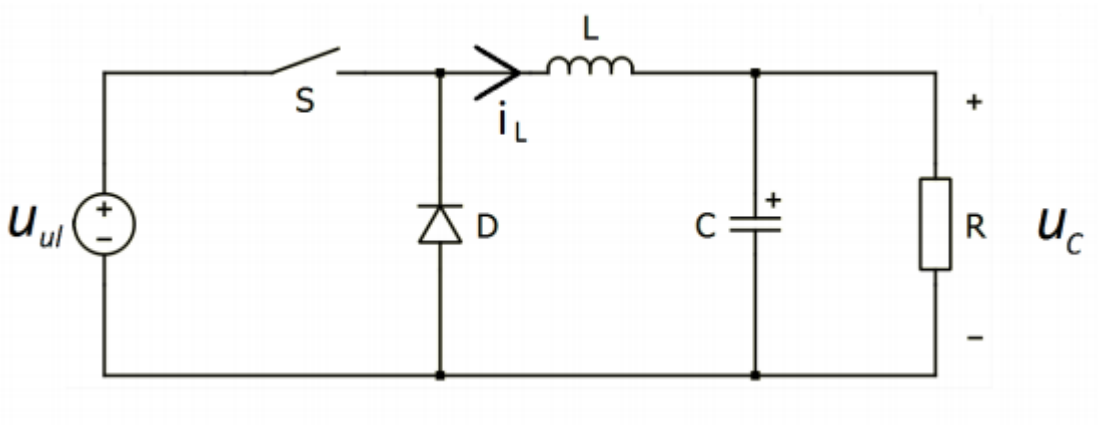


Slika 5.5. Simbol istosmjernog pretvarača i referentni smjerovi napona i struje na prilazima [12]

Kod pretvarača se razlikuju dva načina rada: kontinuirani i diskontinuirani. Pretvarač je u kontinuiranom načinu rada kada struja koja prolazi kroz zavojnicu nema nikakvih prekida, tj. kontinuirana je. U diskontinuiranom načinu rada struja zavojnice padne na nula prije završetka perioda odnosno dolazi do prekida struje zavojnice. Upravljati pretvaračima se može pomoću struje ili napona. U naponskom načinu rada izlazni napon se postiže zadavanjem vremena vođenja idealne sklopke gdje vrijeme vođenja generira impulsno-širinski modulator koji uspoređuje pilasti signal sa referencom. U strujnom načinu rada se umjesto napona kontrolira struja zavojnice. Općenito su strujni signali stabilniji i otporniji na smetnje te stoga i poželjniji način upravljanja. Uspoređuje se referenca struje sa pilastim signalom, međutim za razliku od strujnog upravljanja ne čeka se dok pilasti signal postigne željenu vrijednost i time definira vrijeme vođenja već na početku perioda kada pilasti napon počinje rasti istodobno referenca počinje linearno padati po pravcu nagiba. Kada se ta dva pravca presjeku tada se i definira vrijeme vođenja.

5.2.1. Silazni istosmjerni pretvarač

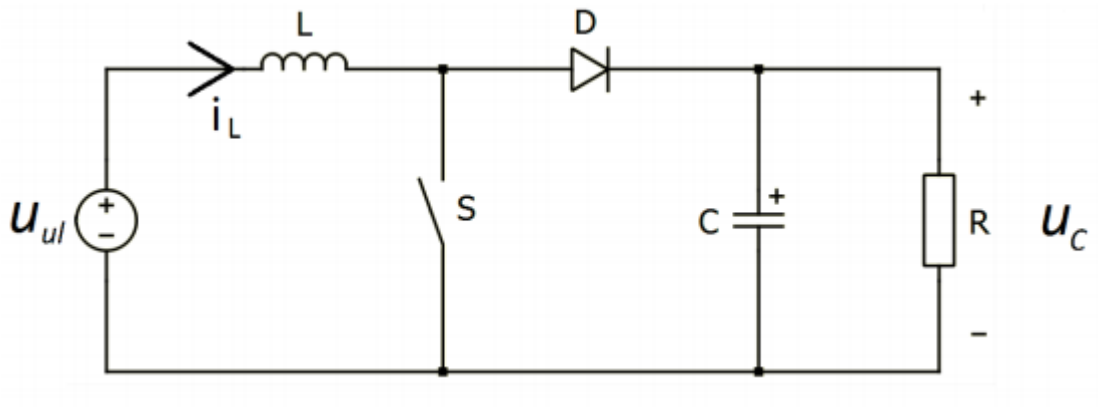
Silazni istosmjerni pretvarač pretvara ulazni napon u_{ul} u napon istog predznaka, ali suprotnog iznosa manjeg od ulaznog.



Slika 5.6. Električna shema silaznog DC pretvarača

5.2.2. Uzlazni istosmjerni pretvarač

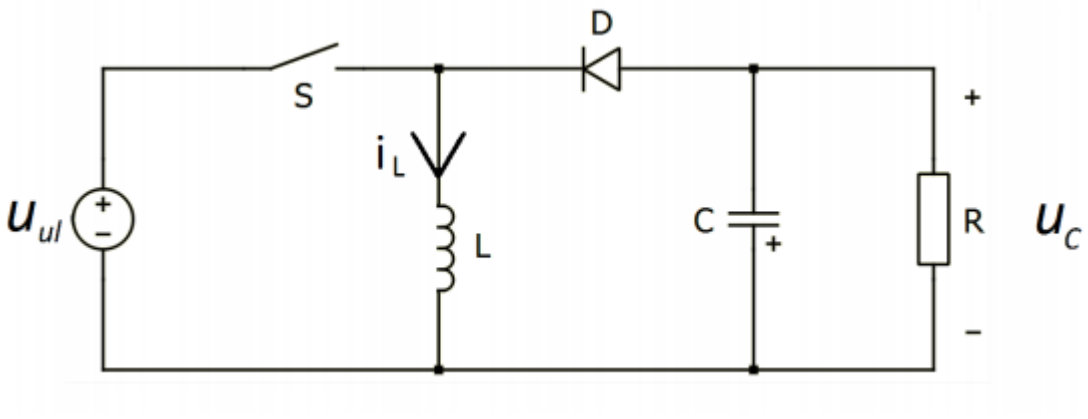
Uzlazni istosmjerni pretvarač pretvara ulazni napon u_{ul} u napon istog predznaka, ali suprotnog iznosa većeg od ulaznog.



Slika 5.7. Električna shema uzlaznog DC pretvarača

5.2.3. Silazno-uzlazni istosmjerni pretvarač

Silazno-uzlazni DC/DC pretvarač pretvara ulazni napon u_{ul} u napon suprotnog predznaka i apsolutnog iznosa manjeg ili većeg od ulaznog ovisno o odabranom faktoru vođenja. To je u stvari kombinacija silaznog i uzlaznog pretvarača koja omogućuje dvosmjeran rad pretvarača.

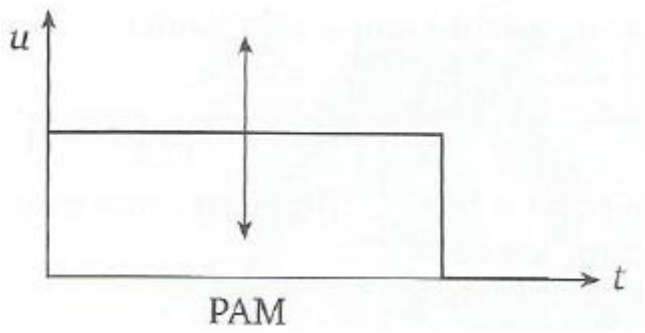


Slika 5.8. Električna shema silazno-uzlaznog DC pretvarača

5.3. Vrste modulacija napona

5.3.1. Modulacija amplitude impulsa (PAM)

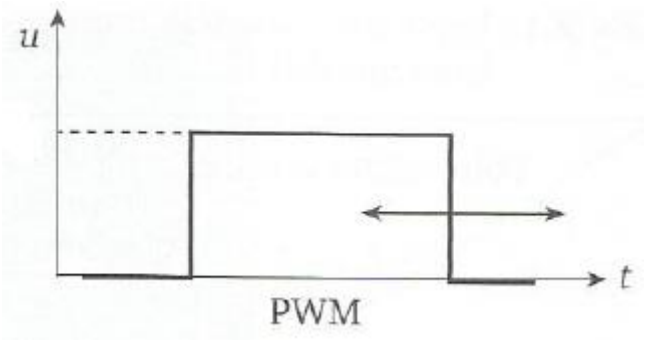
Modulacija amplitude primjenjuje se u istosmjernom međukrugu s promjenjivim naponom u spoju s čoperskim tranzistorom. Izlazni napon ovisi o faktoru vođenja čoperskog tranzistora. Princip rada jednak je uzlazno silaznom pretvaraču.



Slika 5.9. Princip PAM modulacije[11]

5.3.2. Pulsno širinska modulacija (PWM)

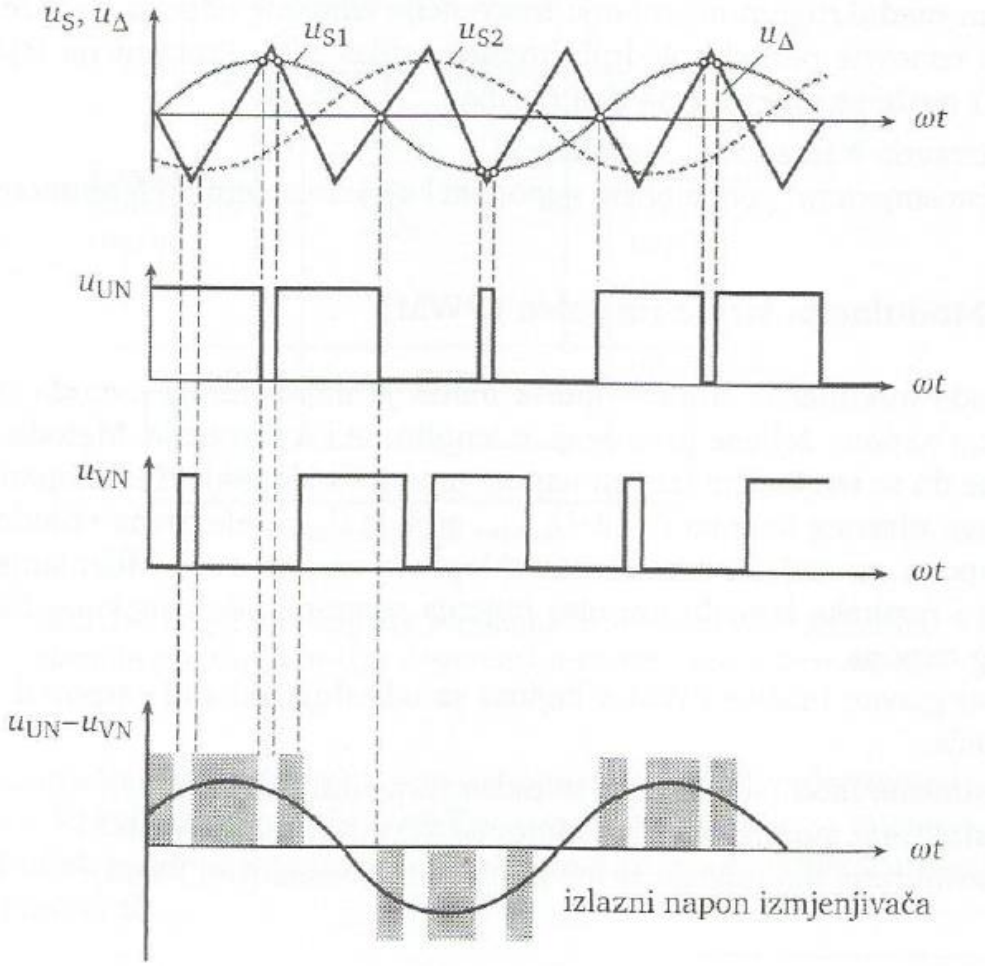
PWM je najraširenija metoda za dobivanje sinusnih valnih oblika napona. Srednja vrijednost signala mijenja se tako da se mijenja širina impulsa. Na slici 7.2 prikazan je princip PWM modulacije.



Slika 5.10. Princip PWM modulacije [11]

5.3.3. Sinusna modulacija širine impulsa (sinusni PWM)

Sinusna modulacija zasniva se na sinusnom i trokutastom naponu. Na sjecištima sinusnog i trokutastog signala sklopke izmjenjivača uklapaju ili isklapaju. Sjecišta sinusnog i trokutastog signala detektiraju se tako da se ti signali dovode na ulaz komparatora koji uspoređuje signale. Kada je amplituda sinusnog signala viša od amplitude trokutastog signala tada poluvodička sklopka vodi, a kada je niža tada ne vodi. Na slici 7.3 prikazan je način stvaranja dva PWM fazna napona i linijskog napona između ta dva fazna napona.



Slika 5.11. Sinusna modulacija na temelju dva sinusna signala, dobivanje linijskog napona [11]

5.3.4. Sinkrona i asinkrona modulacija širine impulsa

Dva napona smiju biti asinkrona ako je frekvencija trokutastog napona vrlo visoka prema modulacijskom naponu. Ako je frekvencija napona manje od deset puta veća od sinusnog napona onda je potrebno sinkronizirati trokutasti i sinusni napon tako da je omjer frekvencija trokutastog i sinusnog napona cijeli broj. A ako signali nisu sinkronizirani, javljaju se viši harmonici u mreži.

U današnje vrijeme sve se više koriste digitalna mikroračunala za generiranje sinusnog PWM signala. Digitalno generiran PWM signal gotovo da nema smetnji ni viših harmonika, a zauzima manje mjesta u kućištu pretvarača [11].

6. Izrada solarnog punjača za akumulator

Shema solarnog punjača akumulatora zajedno sa izmjenjivačem koji je izrađen u praktičnom dijelu ovog završnog rada nalazi se na slici 6.1 i 6.2 u prilogu.

6.1. Solarni panel

Solarni panel služi kao izvor za punjenje akumulatora. Tip solarnog panela korištenog u praktičnom dijelu završnog rada je monokristal s nazivnim naponom 12V, snage 10W. Solarni panel spaja se na shemu tako da se pozitivna stezaljka spoji na priključnicu PAD1, a negativna na PAD2.

6.2. Akumulator

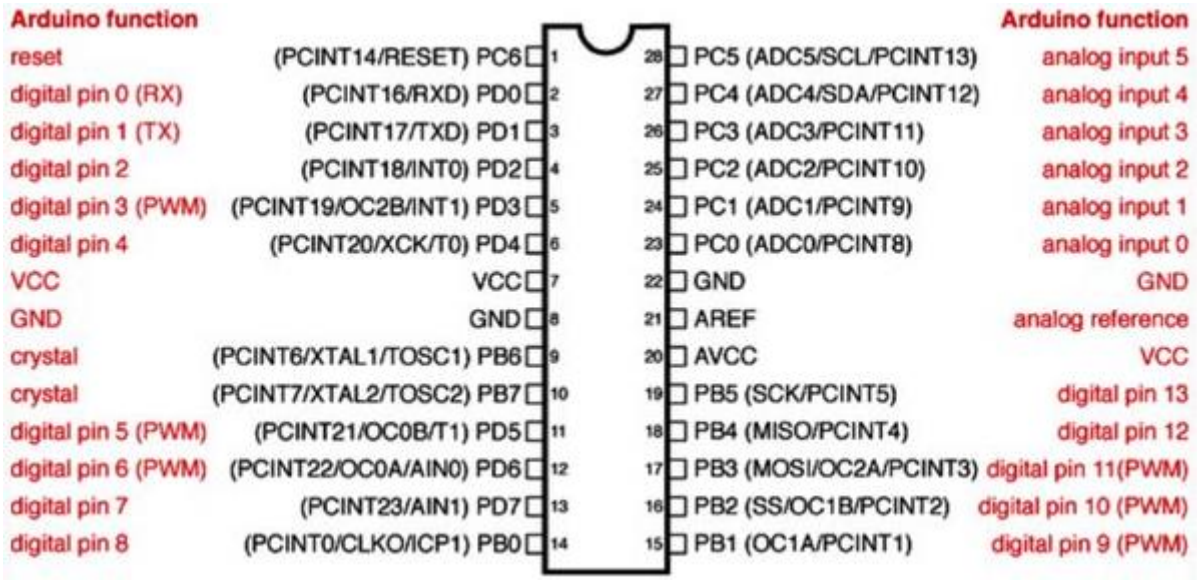
Solarni punjač pogodan je za punjenje olovnih akumulatora nazivnih napona 12V. Tip akumulatora korištenog u praktičnom djelu je FIAMM 12FLB150, nazivnog napona 12V, kapaciteta 40Ah. Akumulator služi kao izvor napajanja upravljačkog sklopa i izmjenjivača, a spaja se na shemu tako da se pozitivna stezaljka spoji na PAD5, a negativna na PAD6.

6.3. Izmjenjivač

Izmjenjivač uređaja sastoji se od četiri n-kanalna MOSFET tranzistora Q1, Q2, Q3, Q4. Tranzistori Q1 i Q2 rade paralelno i tranzistori Q3 i Q4 rade paralelno. Na vrata tranzistora dovode se pravokutni signali iz PWM upravljačkog sklopa SG3525, koji na svojim izlazima generira pravokutne signale iznosa 12V koji su u protufazi. Izlaz A iz upravljačkog sklopa spaja se na vrata tranzistora Q3 i Q4, a izlaz B na vrata tranzistora Q1 i Q2. Odvodi tranzistora Q1 i Q2 spajaju se na primar transformatora T2 na stezaljku 1 koji je izveden sa srednjom točkom kao što je prikazano na slici 6.1, a odvodi tranzistora Q3 i Q4 na stezaljku 5 primara transformatora. Dovodi tranzistora spajaju se na negativnu stezaljku izmjenjivača , dok se pozitivna stezaljka spaja izravno na srednju točku primara transformatora. Ukoliko se želi koristiti izmjenjivač potrebno ga je uključiti na prekidaču S1 i tada se na priključnicama pojavi izmjenični pravokutni napon čija je vršna vrijednost 220V.

6.4. Upravljanje solarnim punjačem

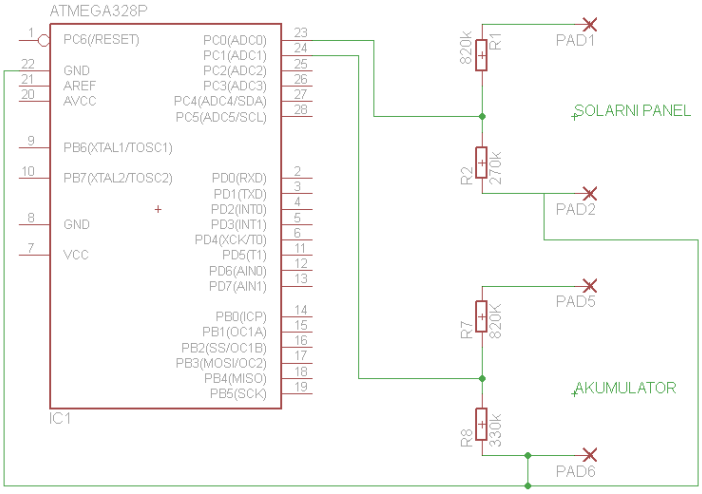
Solarnim punjačem se upravlja pomoću mikrokontrolera ATMEGA 328P. Navedeni mikrokontroler je 8 bitno računalo sa 14 ulazno izlaznih pinova koji se nalaze u dva 8 bitna registra i 6 analognih naponskih ulaza za napona od 0V do +5V. Dobivena analogna vrijednost pohranjuje se u 10 bitni registar. Od 14 digitalnih ulaza/izlaza, 6 pinova je moguće koristiti kao PWM izlaze. Mikrokontroler ima 32kB memorije za pohranu programskog koda i 2 kB RAM memorije. Nazivni napon napajanja mikrokontrolera je 5V, a frekvencija oscilatora 16MHz. Izvedba mikrokontrolera prikazana je na slici 6.3.



Slika 6.3 Izvedba mikrokontrolera ATMEGA 328P s rasporedom pinova[13]

6.5. Mjerenja napona na akumulatoru i solarnom panelu

Mjerenje napona vrši se tako da se vrijednosti napona dovode na analogne ulaze mikrokontrolera. Pošto najveća vrijednost napona na analognom ulazu mikrokontrolera iznosi 5V, a panela 12V, potrebno je mjeriti napone preko mosnog spoja dvaju otpornika kako bi se postigao pad napona koji bi dao mjerljive vrijednosti napona za mikrokontroler. Na slici 6.4 prikazana je metoda mjerenja napona na solarnom panelu i akumulatoru.



Slika 6.4 Shema spajanja analognih ulaza za mjerenje napona na panelu i na akumulatoru

Kada je vrijednost napona na solarnom panelu 16V tada je zbog pada napona na otporniku R1 vrijednost napona na analognom ulazu 3.963V odnosno 24.77% napona koji je na solarnom panelu. Izračun:

$R_1 = 820\Omega;\ R_2 = 270\Omega$

$U_{A0} = I_S \cdot R_2;\quad U_S = I_S \cdot (R_1 + R_2)$

$$\frac{U_{A0}}{U_S} = \frac{I_S \cdot R_2}{I_S \cdot (R_1 + R_2)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{270\Omega}{820\Omega + 270\Omega} = 0.2477$$

$$U_{A0} = 0.2477 \cdot U_S \rightarrow 24.77\% \cdot U_S \qquad (6-1)$$

Primjer 1:

$$U_S = 16V;\ U_{A0} = 0.2477 \cdot U_S = 0.2477 \cdot 16 = 3.9633V$$

Kada je vrijednost napona na akumulatoru 14V tada je zbog pada napona na otporniku R8 vrijednost napona na analognom ulazu 4.017V odnosno 28.69% napona koji je na solarnom panelu. Izračun:

$R_7 = 820\Omega;\ R_8 = 330\Omega$

$U_{A1} = I_A \cdot R_S;\ U_A = I_A \cdot (R_7 + R_8)$

$$\frac{U_{A1}}{U_A} = \frac{I_A \cdot R_8}{I_A \cdot (R_7 + R_8)} = \frac{R_8}{R_7 + R_8} = \frac{330\Omega}{820\Omega + 330\Omega} = 0.2869$$

$$U_{A1} = 0.2869 \cdot U_A \rightarrow 28.69\% \cdot U_A \qquad (6-2)$$

Primjer 2:

$$U_A = 14V;\quad U_{A1} = 0.2869 \cdot 14V = 4.0174V$$

6.6. Programiranje mikrokontrolera

Programiranje mikrokontrolera vrši se preko programatora arduino uno. Program za mikrokontroler pisan je u programskom jeziku C. Program za mikrokontroler dan je u nastavku.

```
#include<LiquidCrystal.h> //uključi knjižnicu za LCD

LiquidCrystal lcd(10,9,8,7,6,5); //pinovi na koje se spaja LCD

int Us; //analogni ulaz iz panela
int Ub; //analogni ulaz iz baterije
float Us2; //pomoćna variabla
float Ub2; //pomoćna variabla
int onPin=2; //signalizacija puni/ne puni
float Us1; //napon na panelu u V
float Ub1; //napon na bateriji u V
```

Slika 6.5 I. dio programskog koda

U prvom dijelu programskog koda aktivira se knjižnica koja omogućava ispisivanje teksta na LCD ekranu i određuju se pinovi na koje se spaja LCD ekran. Određuju se i varijable koje se mjere na analognim ulazima, pomoćne varijable koje se koriste u proračunima te varijable koje se koriste za ispisivanje na ekran također određuje se i digitalni pin koji se koristi za uključivanje releja za punjenje akumulatora. Naredbom *int* definira se cjelobrojni 16 bitni podatak, a naredbom *float* definira se 32 bitni podatak koji može poprimati i decimalne vrijednosti do 7 decimala.

```
void setup()
{
        pinMode(onPin,OUTPUT); //postavi onPin kao izlazni
        digitalWrite(onPin,LOW); //postavi onPin u logičku nulu
        lcd.begin(16,2); // odredi veličinu ekrana
        lcd.print("SOLARNI PUNJAC"); //ispiši na ekran
        lcd.setCursor(0,1); //ispisuj u donjem redu
        lcd.print("AKUMULATORA"); //ispiši na ekrau
        delay(3000); //pričekaj 3 sekunde
        lcd.setCursor(0,0); //ispisuj u gornjem redu
        lcd.print("Us=      "); //ispiši u gornjem redu
        lcd.setCursor(0,1); //ispisuj u donjem redu
        lcd.print("Ub=      "); //ispiši u donji red
}
```

Slika 6.6 II. dio programskog koda

U drugom djelu programskog koda nalazi se funkcija *void setup*, ta funkcija omogućava da se programski kod koji se nalazi unutar te funkcije izvršava samo jednom prilikom pokretanja mikroprograma. Unutar funkcije nalaze se naredbe: *pinMode* koja služi za definiranje digitalnog pina *onPin* kao izlaznog, naredbom *digitalWrite* postavljaju se digitalni pin *onPin* u logičko stanje 0, naredbom *lcd.begin(16,2)* unosi se veličina LCD ekrana od 2 retka i 16 stupaca, naredba *lcd.print* služi za ispisivanje teksta ili vrijednosti određene varijable na LCD ekran, naredbom *lcd.setCurcor(0,1)* postavlja se početno polje gdje će se početi ispisivati podaci na LCD ekranu, prva brojka pokazuje na poziciju stupca, a druga na poziciju retka, naredbom *delay(3000)* ostvaruje se vremensko čekanje u mikrosekundama.

```
void loop()
{
        Us=analogRead(A0);  //pročitaj vrijednost na analognom ulazu A0 i spremi u Us
        Ub=analogRead(A1);  //pročitaj vrijednost na analognom ulazu A1 i spremi u Ub
        Us2=map(Us,0,1023,0,20048);  //skaliraj Us u Us2
        Ub2=map(Ub,0,1023,0,17230);  //skaliraj Ub u Ub2
        Us1=Us2/1000;   //podjeli s 1000 da dobiješ volte
        Ub1=Ub2/1000;   //podjeli s 1000 da dobiješ volte
         lcd.setCursor(4,0);  //ispisuj u prvom redu na 5 mjestu
        lcd.print(Us1,3);  //ispiši napon na panelu zaokružen na 3 decimale
        lcd.print(" V ");  //ispiši mjernu jedinicu
        lcd.setCursor(4,1);  //ispisuj u drugom redu na 5 mjestu
        lcd.print(Ub1,3);  //ispiši napon na akumulatoru zaokružen na 3 decimale
        lcd.print(" V ");  //ispiši mjernu jedinicu

        if (Ub1<12.700 && Us1>14.700) //ako je napon na akumulatoru manji od 12.7 i na panelu veći od 14.7
         {
                digitalWrite(onPin,HIGH);  //uključi punjenje akumulatora
                delay(30000);  //akumulator se puni 30 sekunda
                digitalWrite(onPin,LOW); //isključi punjenje akumulatora
                delay(300);  //pričekaj 0.3 sekunde prije očitavanja vrjednosti na analognom ulazu
         }
        else  //ako nije zadovoljen if uvjet isključi punjenje akumulatora
        {
                digitalWrite(onPin,LOW);
        }

 }
```

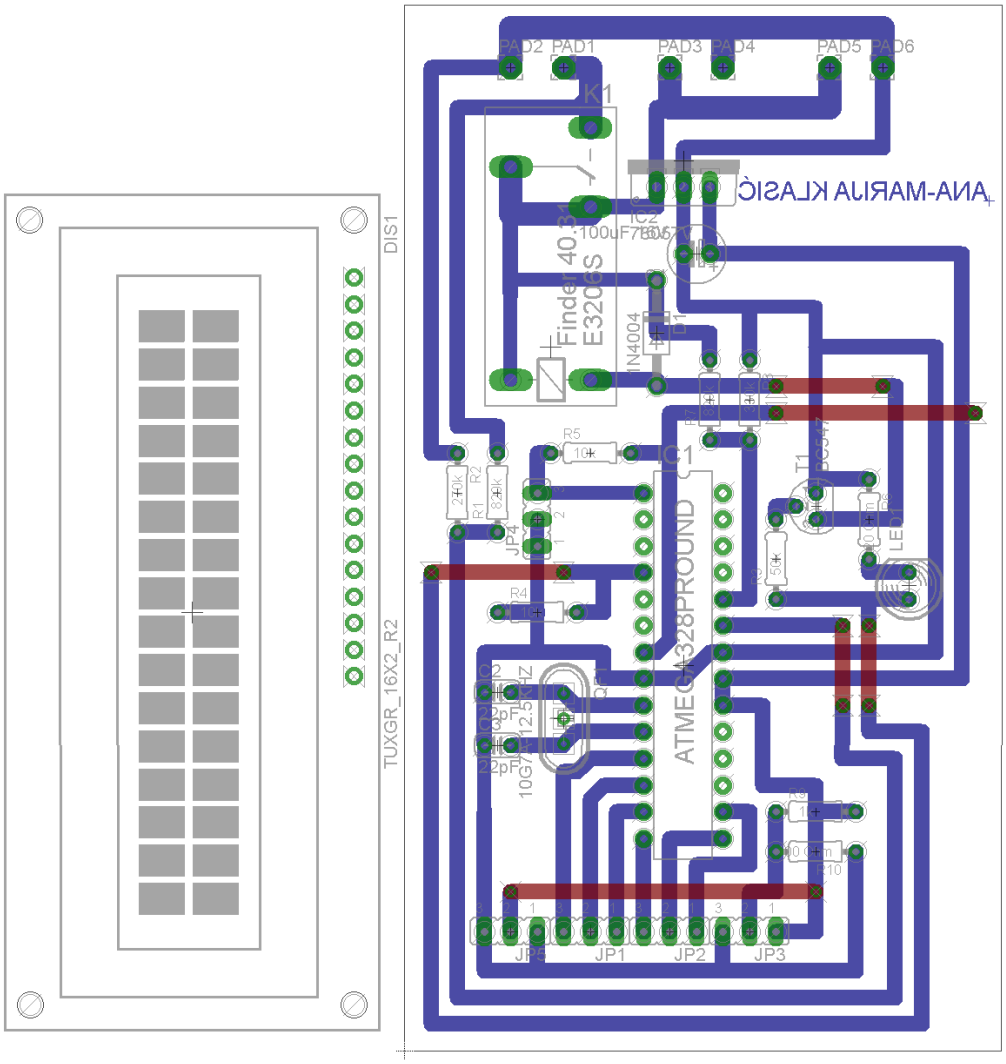
Slika 6.7 III. dio programskog koda

U trećem djelu programskog koda nalazi se funkcija *void loop()* koja omogućava da se programski kod koji se nalazi unutar te funkcije konstantno izvršava ispočetka kada dođe do kraja. Funkcija *void loop()* izvršava se nakon izvršenja funkcije *void setup()*. Naredbom *Us=analogRead(A0)* čita se vrijednost analognog ulaza A0 i ta vrijednost sprema se u variablu Us. Podaci očinati na analognom ulazu su 10 bitni podaci i poprimaju vrijednosti između 0 i 1023 ovisno o naponu na ulazu. Kako bi dobili vrijednost napona na kojeg mjeri mo na

analognom ulazu A0 potrebno je skalirati taj podata naredbom *map* iz vrijednosti 0 do 1023 u vrijednost od 0 do 20185 i spremiti skalirani podatak u variablu Us2. Vrijednost 20185 izražena je u milivoltima zbog nemogučnosti naredbe *map* da skalira u decimalne brojeve pa je potrebno naknadno variablu Us2 podijeliti s 1000 kako bi se dobila vrijednost u voltima i ta vrijednost sprema se u variablu Us1. Kada imamo poznatu vrijednost napona na solarnom panelu može se pomoću naredbe *lcd.print()* ispisati vrijednost napona na solarnom panelu. Isi postupak potrebno je ponoviti i za dobivanje napona na akumulatoru. Funkcijom *if()* određuju se uvjeti kada će doći do uključivanja releja za punjenje akumulatora. Ako je napon na akumulatoru manji od 12.7V i napon na solarnom panelu veći od 14.7V izvršit će se *if()* petlja, a u *if()* petlji nalazi se naredba *digitalWrite* koja postavlja *onPin* u logičku jedinicu i dolazi do uključenja releja i punjenja akumulatora. Kada se digitalni pin *onPin* postavi u logičku jedinicu punjenje akumulatora vrši se narednih 30 sekundi nakon čega dolazi do prestanka punjenja akumulatora na 0.3 sekunde kako bi se omogučilo ponovno mjerenje napona na akumulatoru i solarnom panelu, te ponovno provođenje programskog koda unutar *vodi loop()* funkcije. Ukoliko se uvjet u *if()* petlji nije zadovoljio dolazi do provođenja programskog koda unutar funkcije *else* koja postavlja *onPin* u logičko stanje nule.

6.7. Izrada tiskane pločice

Crtanje sheme kao i dizajn pločice s rasporedom elemenata i debljinom vodova izrađen je u programskom alatu Eagle 7.1.0.



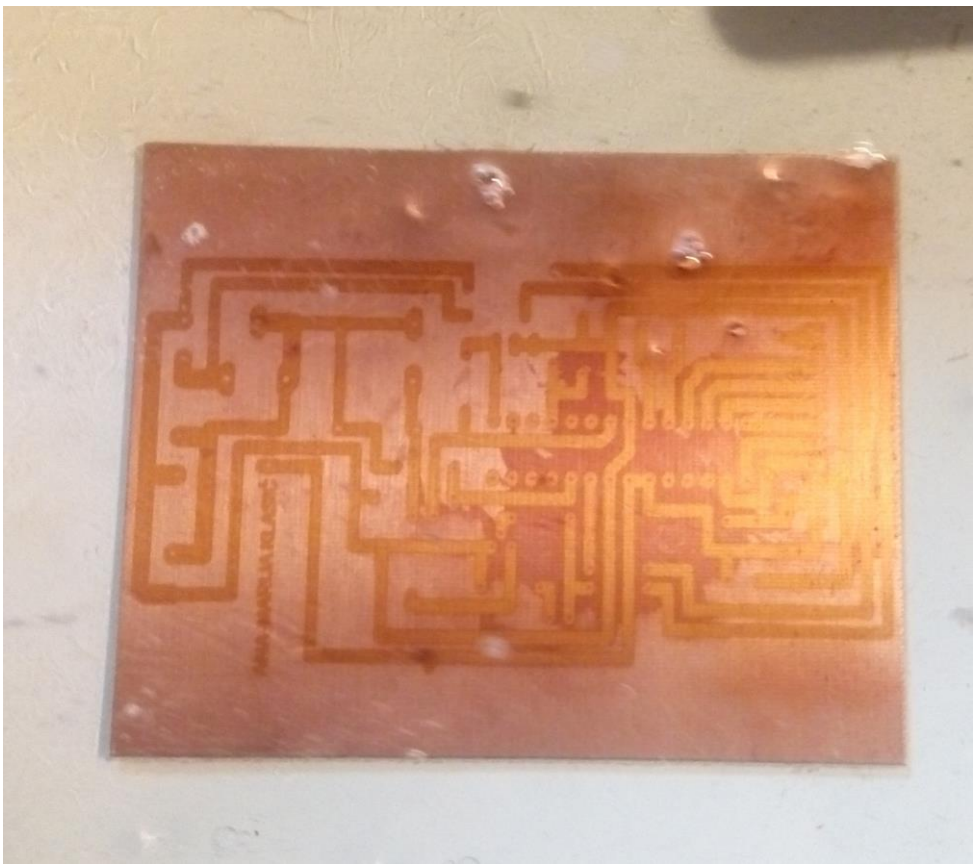
Slika 6.8. Raspored elemenata i vodova na tiskanoj pločici

Popis elemenata dan je u tablici 6.1. u prilogu.

Pločice su izrađene foto postupkom, tako da su osvjetljavane 4 minute pomoću reflektora 250W preko stakla debelog 3milimetra i paus papira na kojem je ispisan raspored vodova u crnoj boji.

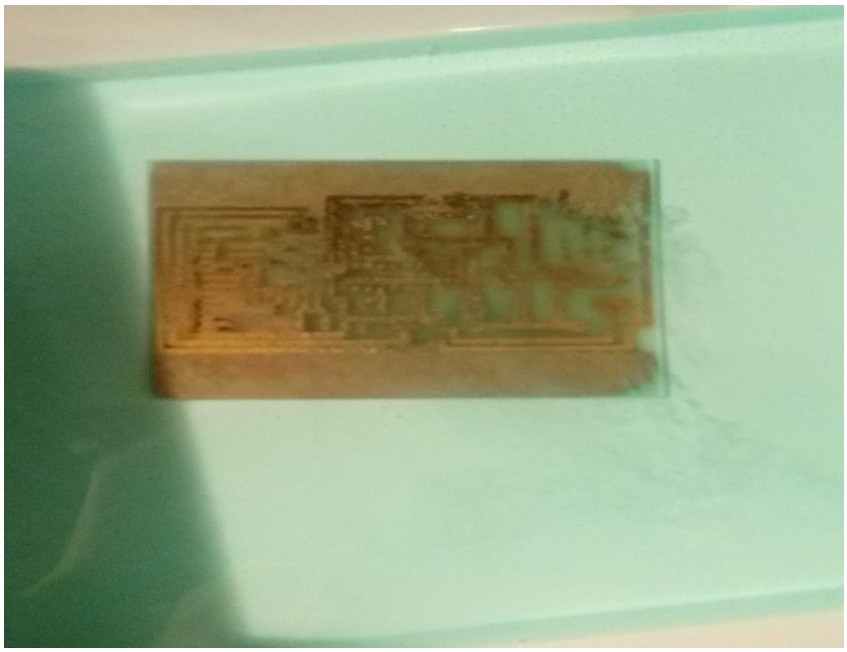
Slika 6.9. Osvjetljavanje pločice

Nakon osvjetljavanja pločica se razvija u 7% lužini natrijeva hidroksida koji se razrjeđuje s vodom u omjeru 1:25. Razvijanjem pločice uklanja se osvijetljeni foto lak s pločice.



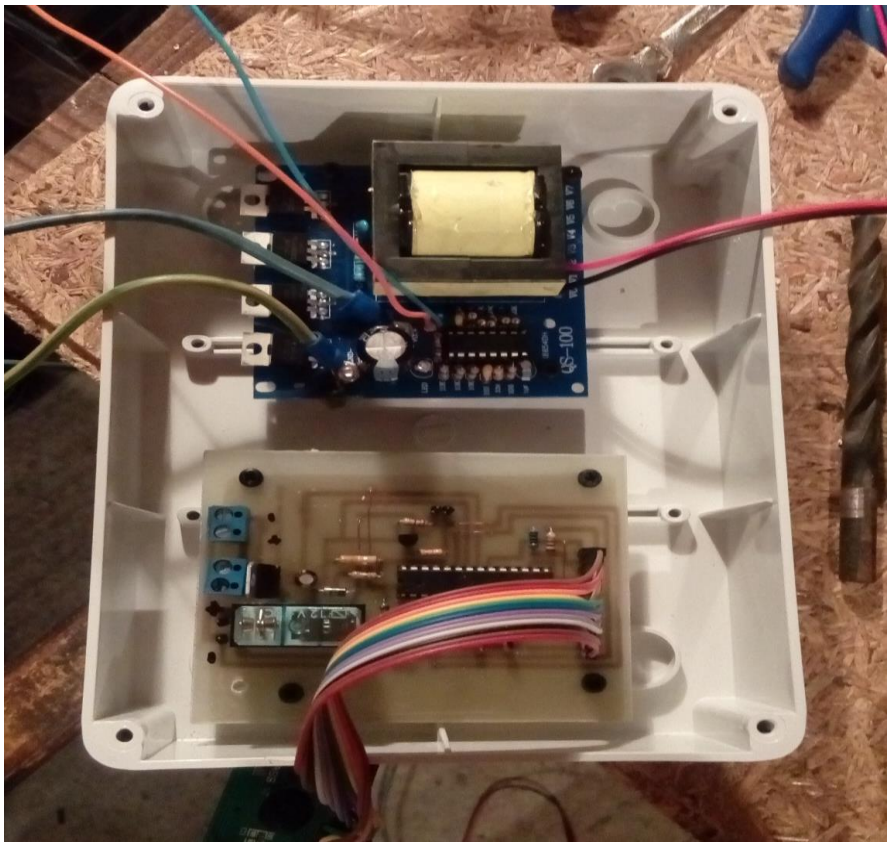
Slika 6.10. Razvijanje pločice u lužini

Nakon razvijanja pločice su isprane vodom i osušene kako bi se moglo započeti s jetkanjem. Jetkanje se izvodi u otopini od 770 mililitara vode, 200 mililitara 30% solne kiseline i 30 mililitara 30% hidrogena. Jetkanjem se skida bakar s pločica koji nije zaštićen foto lakom, koji se skinuo prilikom razvijanja.



Slika 6.11. Jetkanje pločice

Nakon jetkanja, pločicu je potrebno osušiti te izbušiti rupe i zalemiti elemente na pločicu.



Slika 6.12. Unutrašnjost uređaja

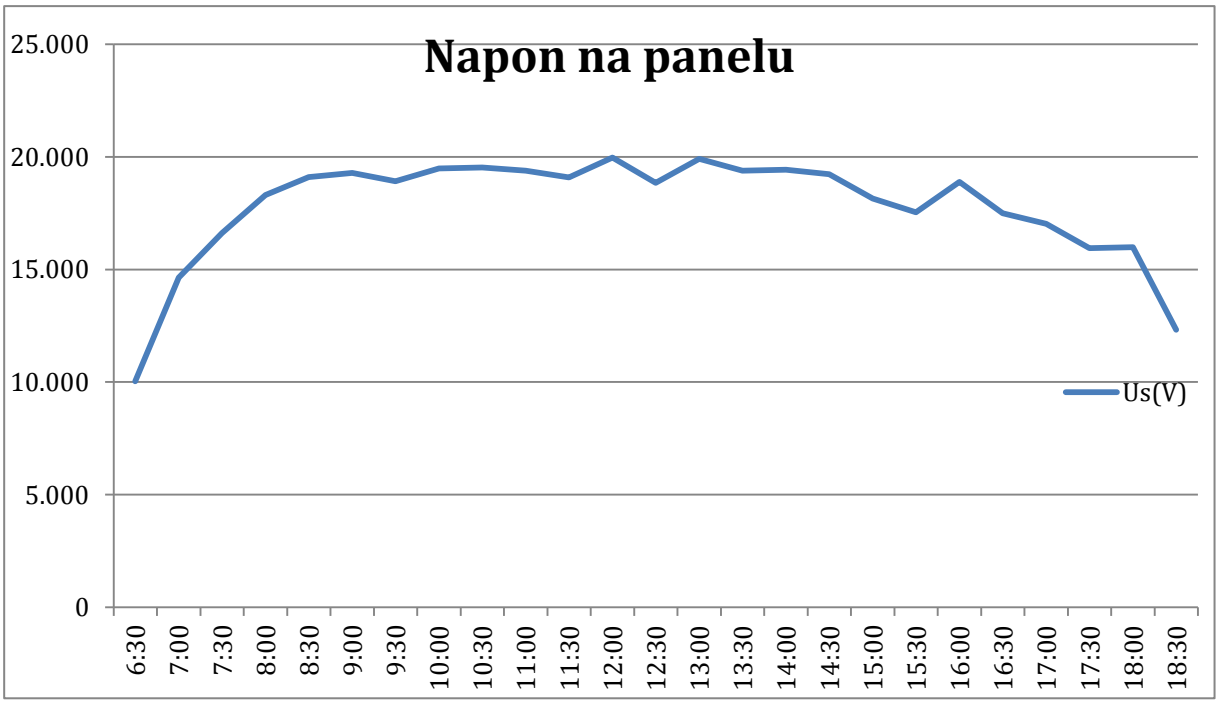
Slika 6.13. Prednja strana uređaja

7. Testiranje uređaja

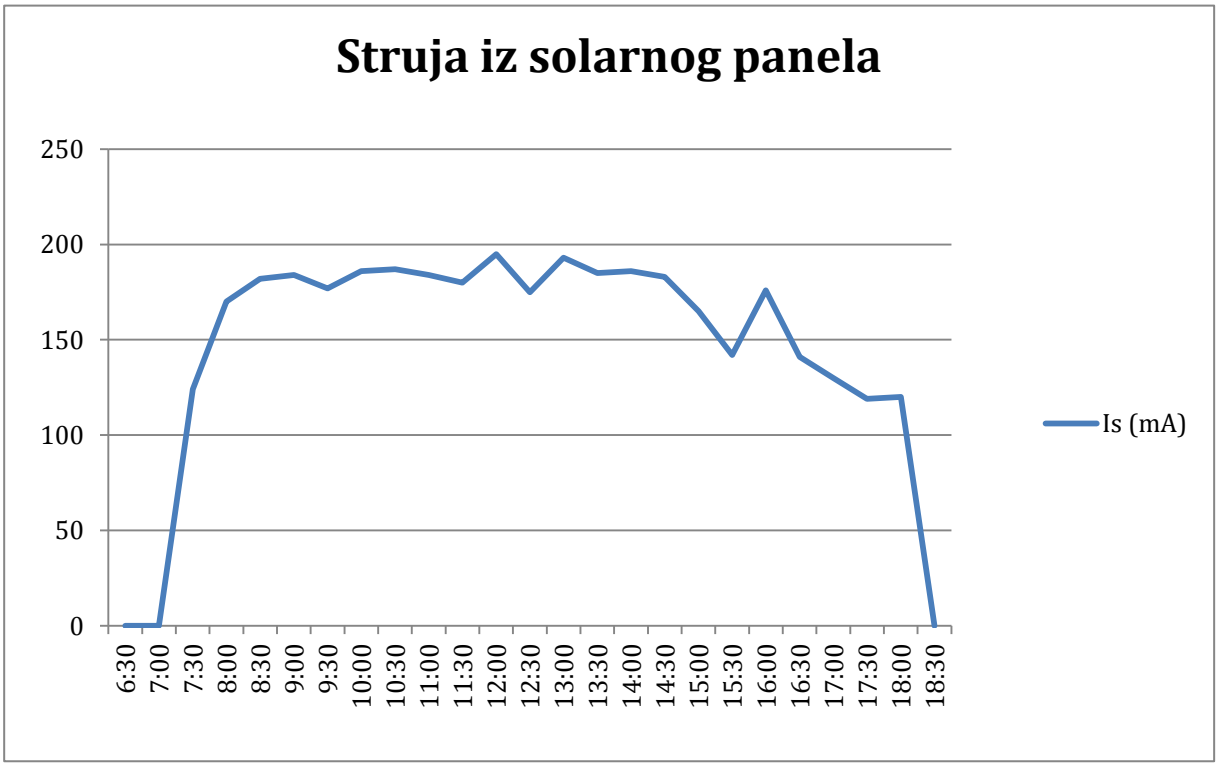
Uređaj je testiran na olovnom akumulatoru nazivnog kapaciteta 40Ah i napona 12V. Solarni panel koji je korišten prilikom testiranja je monokristalni nazivnog napona 12V i snage 10W. Uređaj je testiran u vremenu od 6:30 do 18:30. Tokom testiranja mjereni su podaci: napon na akumulatoru, napon na solarnom panelu i struja iz solarnog panela, te su mjereni podaci dani u tablici 7.1.

Us (v)	Ub (v)	h	Is (mA)
10.031	11.924	6:30	0
14.639	11.924	7:00	0
16.618	11.932	7:30	124
18.303	11.940	8:00	170
19.106	11.949	8:30	182
19.283	11.957	9:00	184
18.920	11.965	9:30	177
19.481	11.973	10:00	186
19.520	11.982	10:30	187
19.382	11.990	11:00	184
19.087	11.998	11:30	180
19.970	12.005	12:00	195
18.850	12.013	12:30	175
19.911	12.021	13:00	193
19.381	12.030	13:30	185
19.428	12.038	14:00	186
19.224	12.045	14:30	183
18.147	12.052	15:00	165
17.539	12.059	15:30	142
18.891	12.066	16:00	176
17.500	12.073	16:30	141
17.030	12.080	17:00	130
15.952	12.085	17:30	119
15.991	12.087	18:00	120
12.328	12.090	18:30	0

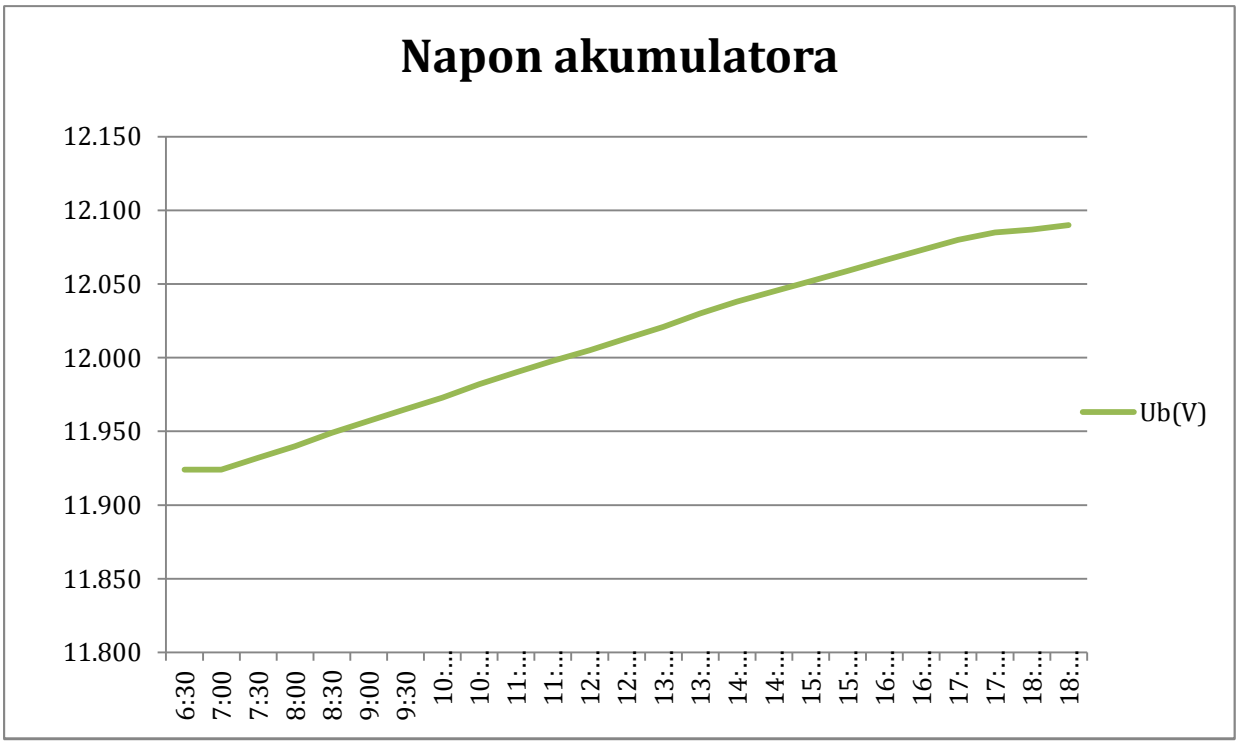
Tablica 7.1 podaci mjereni tokom testiranja



Slika 7.1 Iznos napona na panelu tokom dana

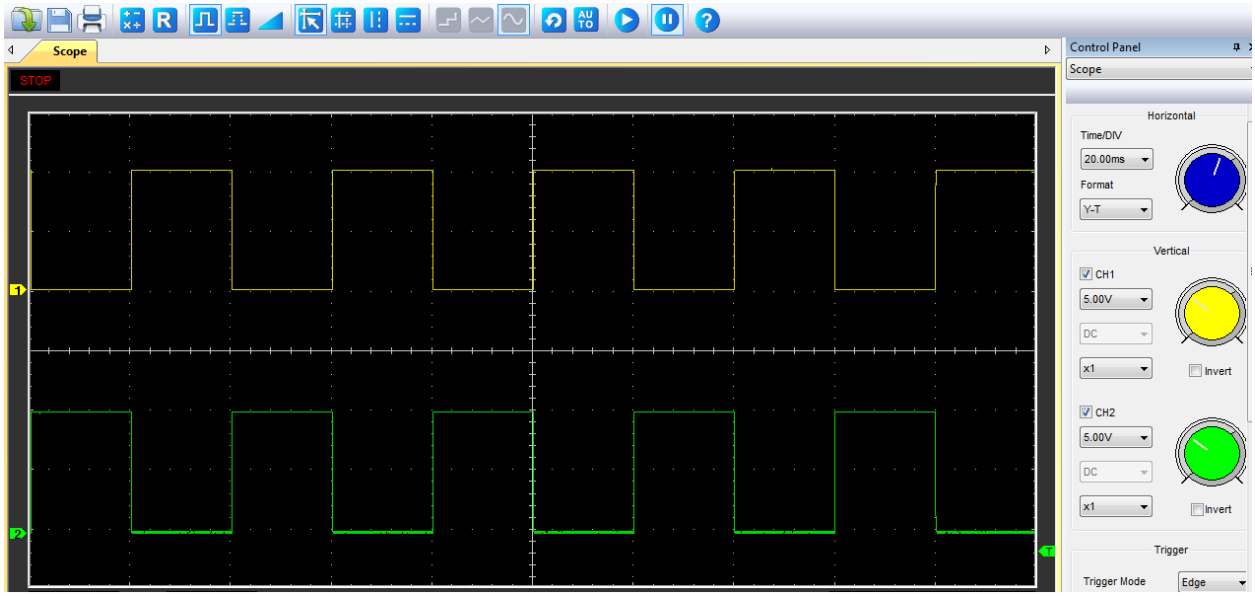


Slika 7.2 Iznos struje iz panela tokom dana

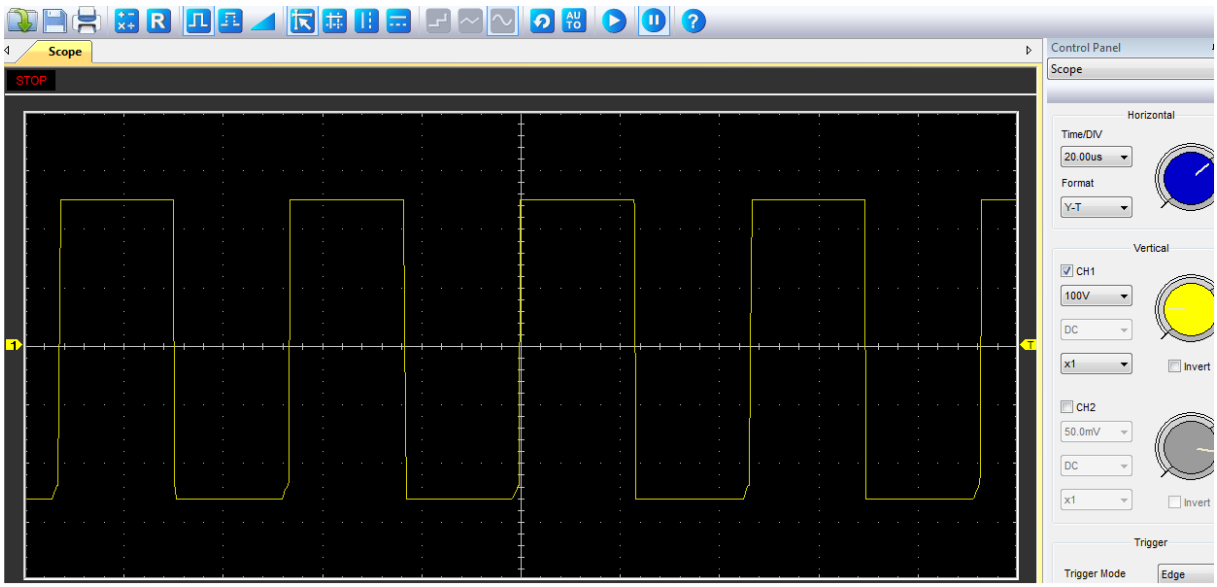


Slika 7.3 Napon na akumulatoru tokom punjenja

Iz danih grafova vidljivo je kako je napon na akumulatoru porastao za 0.16V na temelju čega se može zaključiti da se akumulator punio. Dobiveni mali porast napona na akumulatoru zbog male snage solarnog panela. Za efikasnije punjenje akumulatora potreban je solarni panel veće snage. Prilikom testiranja izmjenjivača mjereni su valni oblici na upravljačkim elektrodama tranzistora i napon na izlazu izmjenjivača. Dobiveni rezultati prikazani su na slikama 7.4. i 7.5.



Slika 7.4 Valni oblik napona na upravljačkim elektrodama tranzistora, žuta – izlaz A, zelena – izlaz B



Slika 7.5 Valni oblik napona na izlazu iz izmjenjivača

Na temelju slika 7.4 i 7.5 vidi se kako su upravljački signali na tranzistorima pravokutnog oblika i u protufazi što za posljedicu ima da je i izlazni napon iz pretvarača isto pravokutnog oblika.

8. Zaključak

Sastavivši solarni punjač za akumulator i testiranjem istog, dolazi se do zaključka da je ovaj način punjenja prigodan i efikasan kada ima dovoljno sunčeve energije. S obzirom da smo zemlja sa velikom količinom sunčeve energije koja se može iskoristiti, ovo je jedan od načina za to. Također, da bi efikasnost bila veća, treba solarni panel veće snage od ovog što je korišten u ovom radu. Testirajući izmjenjivače također se vidi da su upravljački signali na tranzistorima pravokutnog oblika i u protufazi što za posljedicu ima da je i izlazni napon iz pretvarača isto pravokutnog oblika.

U Varaždinu,

9. Literatura

[1] P.Kulišić, J.Vuletin, I.Zulim: Sunčane ćelije, Školska knjiga, Zagreb, 1994.

[2] https://hr.wikipedia.org/wiki/Solarna_%C4%87elija (dostupno 26.9.2016.)

[3] http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf (dostupno 26.9.2016.)

[4] http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=65297 (dostupno 26.9.2016.)

[5]https://www.schrack.hr/alternativni-izvori/photovoltaik/kontrola-baterije/(dostupno 26.9.2016.)

[6] http://www.munja.hr/proizvodi/olovno-kiselinski-akumulator/ (dostupno 26.9.2016.)

[7] Tehnička enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski savez, Zagreb

[8] Inženjersko tehnički priručnik, Izdavalačko preduzeće „RAD“, Beograd, 1979.

[9] https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_charger#References (dostupno 26.9.2016.)

[10] https://bib.irb.hr/datoteka/642565.Karlo_Skokna_3039.pdf (dostupno 26.9.2016.)

[11] Danfus doo. Najvažnije o frekvencijskim pretvaračima, graphis doo, Zagreb 2009.

[12] I. Flegar: Elektronički energetski pretvarači, Kigen, Zagreb, 2010.

[13] http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx?tab=documents (dostupno 26.9.2016.)

[14] https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage# (dostupno 26.9.2016.)

Popis slika

Slika 2.1. PN spoj……3
Slika 2.2. Pozdrav Suncu u Zadru……...5
Slika 3.1. Automobilski olovno-kiselinski akumulator……...8
Slika 3.2. Građa akumulatora……..9
Slika 3.3. Voltin niz……...10
Slika 3.4. Proces pražnjenja akumulatora……..10
Slika 3.5. Proces punjenja akumulatora……11
Slika 3.6. Različiti načini detekcije punjenje……12
Slika 3.7. Usporedba ovisnosti napona o kapacitetu pri temperaturi 21℃ kod Ni-Cd i Ni-MH baterija……...12
Slika 3.8. Ovisnost temperature o kapacitetu kod Ni-Cd i Ni-MH baterija……...13
Slika 4.1. Krivulja punjenja i pražnjenja olovnih akumulatora……19
Slika 4.2. Proces punjenja i pražnjenja olovnog akumulatora……...20
Slika 4.3. USB punjač……22
Slika 5.1. Osnovna podjela energetskih pretvarača……...23
Slika 5.2. Podjela s obzirom na sustave koje pretvarači povezuju……24
Slika 5.3. Naponski istosmjerni međukrug……26
Slika 5.4. Tiristorski izmjenjivač sa promjenjivim naponom za strujni istosmjerni međukrug…26
Slika 5.5. Simbol istosmjernog pretvarača i referentni smjerovi napona i struje na prilazima….27
Slika 5.6. Električna shema silaznog DC pretvarača……28
Slika 5.7. Električna shema uzlaznog DC pretvarača……28
Slika 5.8. Električna shema silazno-uzlaznog DC pretvarača……...29
Slika 5.9. Princip PAM modulacije……...29
Slika 5.10. Princip PWM modulacije……30
Slika 5.11. Sinusna modulacija na temelju dva sinusna signala, dobivanje linijskog napona…..31
Slika 6.1. Shema izmjenjivača s upravljačkim sklopom……...32
Slika 6.2 Shema solarnog punjača akumulatora, mikrokontrolera i LCD ekrana……33
Slika 6.3 Izvedba mikrokontrolera ATMEGA 328P s rasporedom pinova……...35
Slika 6.4 Shema spajanja analognih ulaza za mjerenje napona na panelu i na akumulatoru……36
Slika 6.5 I. dio programskog koda……37
Slika 6.6 II. dio programskog koda……37
Slika 6.7 III. dio programskog koda……..38
Slika 6.8. Raspored elemenata i vodova na tiskanoj pločici……40

Slika 6.9. Osvjetljavanje pločice……42
Slika 6.10. Razvijanje pločice u lužini……43
Slika 6.11. Jetkanje pločice…….44
Slika 6.12. Unutrašnjost uređaja….…….44
Slika 6.13. Prednja strana uređaja...…….44
Slika7.1 Iznos napona na panelu tokom dana……46
Slika 7.2 Iznos struje iz panela tokom dana……...46
Slika 7.3 Napon na akumulatoru tokom punjenja……..47
Slika 7.4 Valni oblik napona na upravljačkim elektrodama tranzistora, žuta – izlaz A, zelena – izlaz B……47
Slika 7.5 Valni oblik napona na izlazu iz izmjenjivača…….48

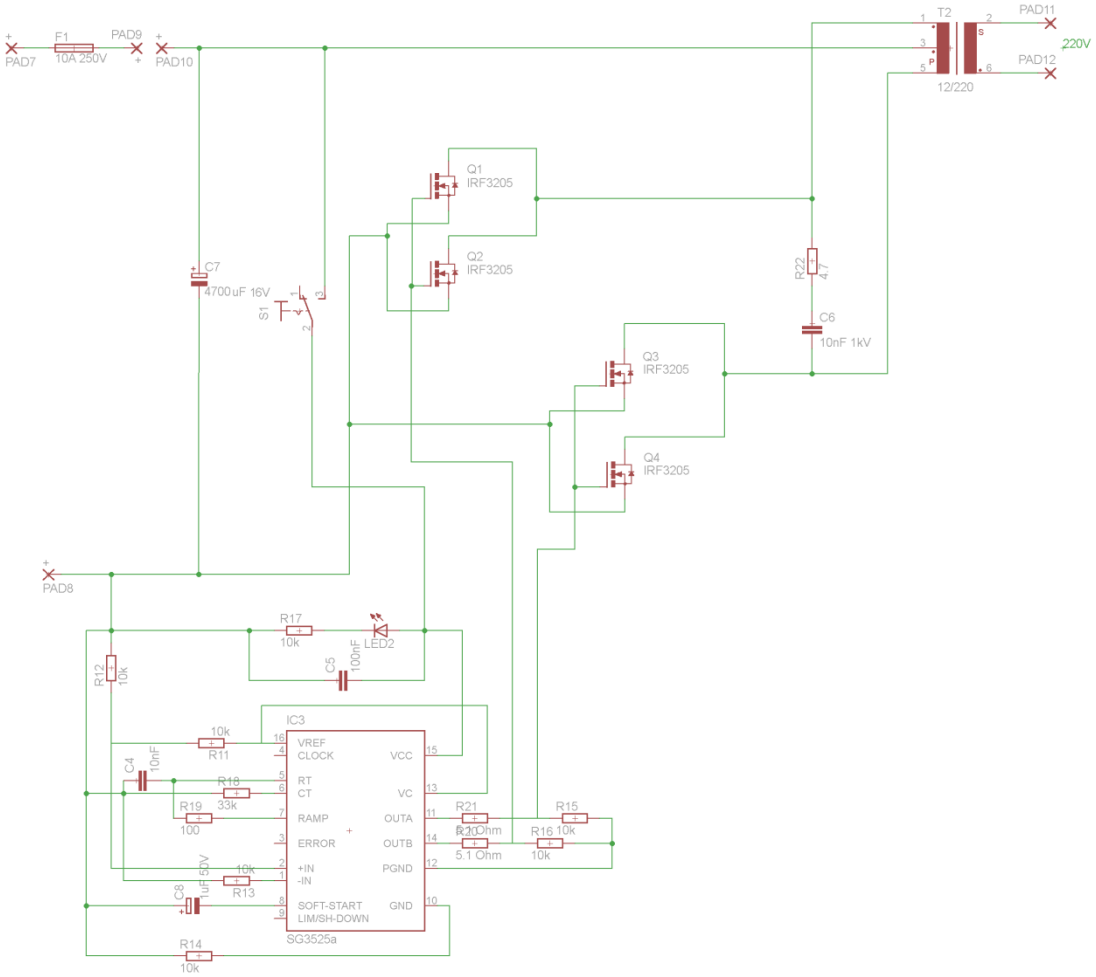
Prilozi

Tablica 6.1.

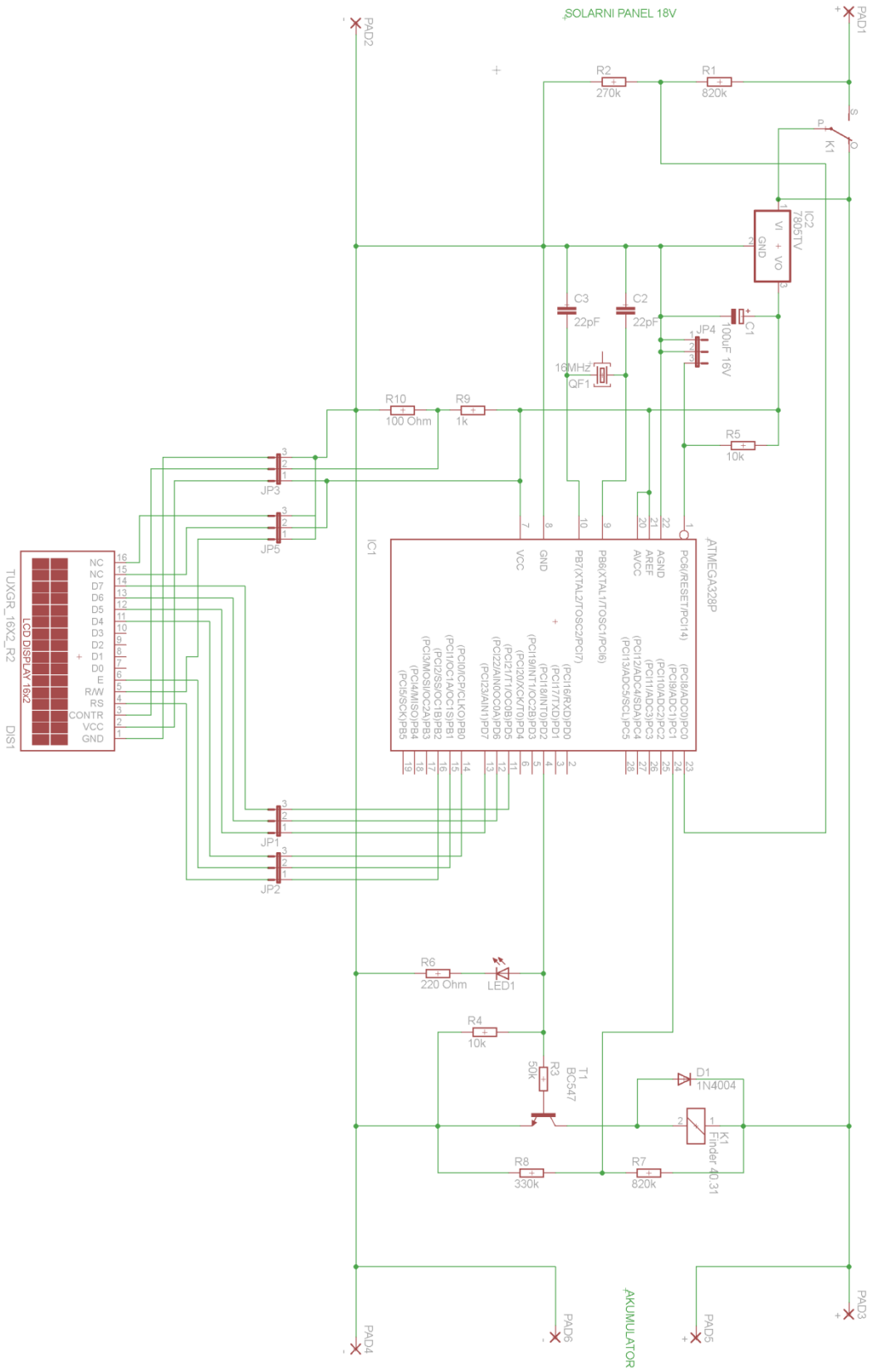
Otpornici	Vrijednost
R1, R7,	820kΩ, 1/4W
R2	240kΩ, 1/4W
R5, R4, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17	10kΩ, 1/4W
R9	1kΩ, 1/4W
R10, R19	100Ω, 1/4W
R6	220Ω, 1/4W
R3	50kΩ, 1/4W
R8	330kΩ, 1/4W
R18	33KΩ, 1/4W
R20, R21	5.1Ω, 1/4W
R22	4.7Ω, 1/2W
Kondenzatori	
C1	100μF, 16V
C2, C3	22pF
C7	470μF, 16V
C4	10nF
C5	100nF
C6	10nF, 1kV
C8	1μF, 50V
Stabilizator napona	
IC2	LM7805
Relej	
K1	Finder 40.31
Diode	
D1	1N4004
LED1	Zelena
LED2	Plava
Oscilator	
QF1	16Mhz

Tranzistori	
T1	BC547
Q1, Q2, Q3, Q4	IRF3205
Osigurač	
F1	12A, 250V
Transformator	
T2	12/220
Prekidač	
S1	5A, 250V
Mikrokontroleri	
IC1	ATMEGA328p
IC2	SG3525a
LCD	
DIS1	TUXGR_16X2_R2

Slika 6.1. Shema izmjenjivača s upravljačkim sklopom



Slika 6.2 Shema solarnog punjača akumulatora, mikrokon rolera i LCD ekrana



Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, ANA-MARIJA KLASIĆ *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom SOLARNI PUNJAČ ZA AKUMULATOR *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Ana-Marija Klasić
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, ANA-MARIJA KLASIĆ *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom SOLARNI PUNJAČ ZA AKUMULATOR *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Ana-Marija Klasić
(vlastoručni potpis)