

BATERIJSKI SUSTAV 600 [Wh] S OPCIJOM SOLARNOG PUNJENJA

Crnogorac, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:842386>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-27**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

BATERIJSKI SUSTAV 600 [Wh] S OPCIJOM SOLARNOG PUNJENJA

Crnogorac, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:842386>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2023-02-13**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

ANTE CRNOGORAC

**BATERIJSKI SUSTAV 600 [Wh] S OPCIJOM
SOLARNOG PUNJENJA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2021.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

ANTE CRNOGORAC

BATERIJSKI SUSTAV 600 [Wh] S OPCIJOM SOLARNOG PUNJENJA

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Filip Žugčić, mag.ing.el

KARLOVAC, 2021.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je prijava teme završnog rada isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog izvora, te da nijedan dio prijave teme ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

(vlastoručni potpis)

(mjesto i datum)

STATEMENT ON THE ACADEMIC INTEGRITY

I hereby declare and confirm by my signature that the final thesis is the sole result of my own work based on my research and relies on the published literature, as shown in the listed notes and bibliography.

I declare that no part of the thesis has been written in an unauthorized manner, i.e., it is not transcribed from the non-cited work, and that no part of the thesis infringes any of the copyrights.

I also declare that no part of the thesis has been used for any other work in any other higher education, scientific or educational institution.

(personal signature)

(place and date)

SAŽETAK

Cilj rada bio je ostvariti energetska samo održivost u prirodi gdje nema infrastrukture kod relativno manjih potrošača električne energije. Sama ideja nastala je zbog sve češćeg odlaska na kampiranje gdje se pokazala ograničenost komercijalnih manjih prijenosnih baterija. Ovim litij ion baterijskim sustavom riješene su potrebe za električnom energijom veće skupine ljudi glede punjenja mobitela, laptopa i televizora pa je i želja za gledanjem utakmice na velikom ekranu u prirodi lako ostvariva. Kao dodatan obnovljiv izvor energije uz baterijski sustav ide i solarni panel koji pomaže u skupljanju, svima nam besplatne, sunčeve energije.

KLJUČNE RIJEČI: litij ion, baterijski sustav, solarni panel, baterijski članak/ćelija, pretvarač napona, kontroler solarnog punjenja

SUMMARY

The aim of the work was to achieve energy sustainability in nature where there is no infrastructure for relatively smaller electricity consumers. The idea itself arose from the increasing number of trips where the limitations of commercial smaller portable batteries proved to be restraining. With this lithium ion battery system, the electricity needs of a larger group of people in terms of charging mobile phones, laptops and TVs have been solved, so the desire to watch a football match on the big screen in nature is easily achievable. As an additional renewable energy source along with the battery system goes a solar panel that helps collect, for all of us free, solar energy.

KEY WORDS: lithium ion, battery system, solar panel, battery cell, voltage converter, solar charge controller

SAŽETAK.....	.....
1.UVOD.....	.....1
2. Dijelovi „Baterijskog sustava s opcijom solarnog punjenja kapaciteta 600[Wh]“ .....	.....2
2.1. Baterija .....	.....2
2.1.2. „Litij-ion baterija“ (Li-ion).....	.....6
2.1.3. Opis baterijskog modula korištenog u radu („GH1865-001“ ; 25.2[V] / 110[Wh] ) .....	..... 12
2.1.4. Sustav za upravljanje baterijama (eng. BMS [battery management system] ) .....	..... 16
2.2. Regulator solarnog punjenja.....	.....22
2.2.1. Vrste solarnog regulatora .....	..... 23
2.2.2. MPT-7210A solarni regulator (DC-DC boost converter).....	..... 26
2.3. Stanje napunjenosti (eng. State of charge / SOC) .....	.....27
2.4. DC-AC Pretvarač (eng. Inverter) .....	.....29
2.4.1. Vrste pretvarača.....	..... 30
2.4.2. Odabrani pretvarač čistog sinusa 800[W] (RBP-800S-LED).....	..... 31
2.5. DC naponski regulator.....	.....32
2.5.1. 24 [V] u 12 [V] DC-DC prekidački silazni pretvarač .....	..... 34
2.5.2. 24[V] na 19.5[V] „XL4016“ DC-DC PWM prekidački silazni naponski regulator (eng. Buck ....	..... 36
2.5.3. „USB A“ Quick charge 3.0 modul .....	..... 38
2.6. Solarni panel.....	.....40
2.7. Punjač snage 90[w], AC-DC ispravljač.....	.....41
3. Konstrukcija .....	..... 42
4. Mjerenja .....	..... 44
4.1. Mjerenje karakteristika ICR18650-22P ćelije.....	.....44
4.2. Mjerenje djelotvornost invertera .....	.....46
4.3. Mjerenje izlazne snage solarnog panela.....	.....47
4.4. Mjerenje kapaciteta baterijskog sustava.....	.....49
5. Zaključak.....	..... 50
LITERATURA.....	..... 52
POPIS SLIKA .....	..... 54
POPIS TABLICA.....	..... 56

1.UVOD

Ovaj rad bazira se na potrebi prijenosne električne energije. U doba kada je potreba za električnom energijom veća nego ikad a negativni učinci fosilnih goriva očitiji nego ikad postavlja se pitanje kako se opskrbit tom energijom „života“ modernog čovjeka uvjetima gdje infrastruktura nije dostupna, poput kampiranja, putovanja ili druženja u prirodi. Moderan čovjek koristi mobilne tehnologije u tolikoj mjeri da se može reći da se stvorila simbioza između nas predstavnika biološke komponente i tehnologije bazirane na električnoj energiji. Bilo da je riječ o pametnim telefonima, biometrijskim narukvicama i satovima i sličnim napravama koje nam uvelike olakšavaju život. Nekada u određenim kriznim situacijama infrastruktura na koju se oslanjamo može i pokleknut no to ne znači da mi možemo bit funkcionalni bez tog tipa energije. Stoga svjesni negativnih učinaka fosilnih goriva ova vrsta prijenosne baterije je alternativa nekim manjim izvedbama benzinskih ili dizel agregata. Posebice mogućnost „prikupljanja“ sunčeve energije te njenog spremanja za poslije pomaže u isplati CO₂ „duga“ kojeg su stvorili korišteni materijali ovoga sustava u proizvodnji.

Mogućnost nadogradnje ovakvog sustava omogućuje inicijalna modularna konfiguracija korištenih baterijskih modula. Za razliku od komercijalnih rješenja moja izvedba je neograničeno proširiva. Dokle god imamo 24[V] Li-ion modula koje možemo slagat u paralelu te time inkrementalno povećavati inicijalni kapacitet od 600[Wh]. Moram nadodati da je finalna izvedba i namijenjena za ugradnju u kombi koji će služiti za putovanja i kampiranja te u kombinaciji sa solarnom ćelijom na krovu vozila ponuditi određenu dozu autonomije od električne infrastrukture. Ujedno jedan od ciljeva izrade ovakvog rada je što više naučiti o baterijama i njihovoj primjeni u praksi što mi je rad na ovakvom projektu uvelike i omogućio.

2. DIJELOVI BATERIJSKOG SUSTAVA S OPCIJOM SOLARNOG PUNJENJA KAPACITETA 600[Wh]

Cijeli sustav se može raščlaniti na 6 segmenata.

Prvi segment čini srce cijelog sustava, riječ je dakako o baterijskom sklopu od šest 25.2[V] Li-ion modula kapaciteta 100-110 [Wh] spojenih u paralelu.

Drugi segment čini inverter čistog sinusa proizvođača „Reliable Electric“ ,snage 800[W] kontinuiranog opterećenja no isti može na kraće vrijeme izdržat opterećenje od 1600[W] snage kod potrošača induktivnog otpora.

Treći segment su „Quick Charge 3.0“ moduli koji nude 4 izlaza USB A formata za spajanje svih vrsta ručnih električnih potrošača ponajprije pametnih telefona, teoretska maksimalna izlazna snaga pojedinačnog USB utora kod telefona sa „QC3.0“ standardom je 24 [W] , u praksi to ovisi o standardu punjena određenog proizvođača pametnog telefona spojenog na „QC modul“.

Četvrti dodatak cijelom sustavu je neophodni „MPPT Solar Charge Controller“ koji će nam zbog svoje „boost“ DC karakteristike poslužiti kao regulator punjenja iz mreže tako i primarne mu uloge punjenja baterije iz solarnog panela.

U peti dio ubrajam DC-DC pretvarače za auto utičnicu 12[V] i izlaz za prijenosno računalo 19.5[V]. Također, postoji i poseban izlaz za prijenosna računala iz razloga djelotvornosti, pošto korištenje standardnog laptop AC-DC pretvarača ima smisla dok koristimo mrežu doma, ono svakako nije opravdano u ovakvoj mobilnoj baterijskoj izvedbi gdje već imamo DC napon baterije.

Solarni panel je šesti segment ovoga sustava. Služi će za punjenje kapaciteta baterije preko MPPT kontrolera. Pošto kontroler je u biti DC „boost“ konverter napona svejedno mu je da li je na ulazu solarni panel ili običan DC izvor poput punjača laptopa.

2.1. Baterija

Baterija je uređaj za spremanje energije za kasniju upotrebu kada nam ta energija treba, a sačinjena može biti od jedne ili više ćelija. U načelu baterijska ćelija je sačinjena od tri komponente: anode (-) , katode (+) i elektrolita. Da bi izazvali „struju“ odnosno tok elektrona potrebno je imati izvor i cilj te struje. Elektroni kreću iz „anode“ (-) prema „katodi“ (+), a to su uglavnom dva različita metala. Anoda reagira s elektrolitom u reakciji koja proizvodi elektrone kao višak te se oni nakupljaju oko anode dok se u isto vrijeme kod katode odvija druga kemijska reakcija koja uzrokuje nedostatak elektrona same

katode pa ona postaje pozitivno nabijena. Kemijski izraz za reakciju koja uzrokuje izmjenu elektrona je „redoks reakcija“. Razlika „standardnog elektrodnog potencijala“ između dvije elektrode jednaka je sili kojom su elektroni pogonjeni između dvije elektrode. Ta razlika se zove „elektrokemijski potencijal“ i on definira napon („elektromotorna sila“) baterije.

Prije razvoja električnih generatora baterija je bila glavni izvor električne struje. Otac prve baterije je Alessandro Volta koji je oko 1800. godine sastavio tzv. „Voltin elektrostatički stup“ (eng. Voltaic pile). Taj izum koji se smatra prvom baterijom sastoji se od izmjenično poredanih ploča bakra i cinka. Između ploča nalazila se krpica natopljena slanom vodom koja ih je međusobno dijelila te imala ulogu „elektrolita“. Voltin elektrostatički stup bio je najupotrebljiviji izvor električne energije do pojave „Danijelove ćelije“, ona je bila poboljšana ćelija izumljena 1836. godine. Izumio ju je britanski kemičar „John Frederic Daniell“. Imala je nazivni napon („elektromotorna sila“) od 1.1 [V].



*Slika 1. Voltin elektrostatički stup
1800. Godina [1]*

Baterije koristimo za napajanje električnih uređaja poput lampi, mobitela, prijenosnih računala pa čak i medicinskih pomagala. Energija je spremljena u kemijskom obliku koja se po potrebi pretvara u električnu energiju. Ako pogledamo običan strujni krug baterije i žarulje, za osvjetljivanje žarulje nam je potrebno mnogo struje elektrona, a baterija će nam omogućiti „silu“ koja će njih pogurati. Jednostavno trebamo spojiti negativni i pozitivni terminal baterije u seriju sa žaruljom. Baterija može

jedno vrijeme „gurati“ elektrone kroz žarulju, a to je vrijeme ovisno o količini potencijalne energije zarobljenoj u bateriji, te o tome koliko potrošač (žarulja) zahtjeva. Kada govorimo o potrošaču to može bit bilo kakva vrsta električne komponente koja zahtjeva električnu struju da bi radila. Primjerice: LED-ice, otpornici, DC motori te svakako i cijeli strujni krugovi.

Neke se baterije mogu ponovno napuniti, no alkalne baterije koje koristimo u kućanstvu ne mogu pa se odlažu kada se isprazne do kraja, srećom moguće ih je reciklirati. [2]

2.1.1. Vrste baterija

Postoje dvije glavne podskupine baterija: „primarne“ i „sekundarne“ baterije.

Primarne baterije su baterije koje se ne mogu ponovno napuniti, a razlog je ireverzibilna kemijska reakcija koja potiče struju elektrona. Shodno tome trajnost baterije prestaje čim se reaktanti u ovim baterijama „potroše“.

Najpoznatiji primjeri primarne baterije su „alkalne baterije“ korištene u potrošačkoj elektronici od fotoaparata, radio prijemnika, daljinaca, slušnih aparata i slično. Nominalni napon alkalnih baterija je 1.5 [V]. Litijske baterije „CR2032“ korištene u kuhinjskim vagama, vagama tjelesne težine, ključevima automobila, matičnim pločama osobnih računala i sl. također su primarne baterije nominalnog napona 3 [V].



Slika 2. Primjeri primarnih baterija na komercijalnom tržištu [3]

Sekundarne baterije popularno nazvane “punjive baterije”, mogu bit pražnjene pa opet napunjene na originalno stanje pomoću struje vanjskog izvora. Takva povoljna svojstva im omogućuje reverzibilna kemijska reakcija.

Prva sekundarna baterija bila je “Olovni akumulator” [Pb], izumio ju je francuski fizičar “Gaston Plante” 1859. godine, a odlikuje ju mogućnost davanja jake struje (snage) u kratkom vremenu zbog čega je pronašla široku primjenu u industriji posebice automobilskoj. Energetska gustoća ove baterije iznosi 35-40 [Wh/kg] / 80-90 [Wh/L] , nominalni napon iznosi 12 [V].



Slika 3. Olovni akumulator

„Nikal kadmijum baterija“ (NiCd) izumljena od strane “Ernst Waldemara Jungnera“ 1899. godine. Koristi hidroksid niklovog oksida i metalni kadmij za elektrode. Pošto je Kadmij toksičan element zabranjen je u većini primjena od strane Europske unije. Nominalni napon NiCd baterije iznosi 1.2 [V], a energetska gustoća je 40-60 [Wh/kg].

„Nikal-metal-hidrid baterija“ (NiMH) je tehnologija sekundarnih baterija koja je nasljednik „NiCd“ tehnologije, na tržištu se pojavila 1989. godine. NiMH je riješio veliku manu NiCd baterija, njihovu toksičnost (kadmij), te povećao kapacitet od 50% pa na više za istu veličinu NiCd tehnologije. Posjeduje energetska gustoću od 60 – 120 [Wh/kg] / 140-300 [Wh/L], nom. napon 1.2 [V]. [5]



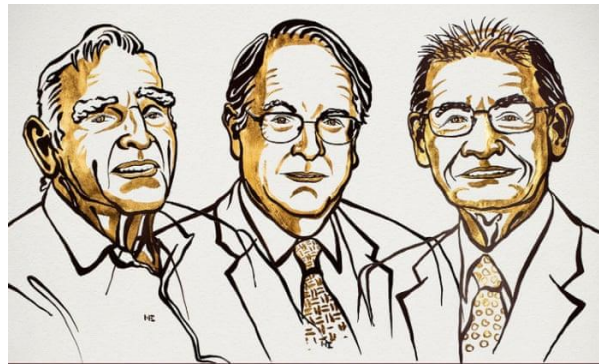
Slika 4. NiMH Baterije za potrošačku elektroniku [4]

2.1.2. „Litij-ion baterija“ (Li-ion)

„Svu moju preostalu ostvarivu imovinu treba isplatiti na sljedeći način: kapital, koji su moji izvršitelji pretvorili u sigurne vrijednosne papire, treba činiti fond te kamate na koje će se godišnje dijeliti kao nagrade onima koji su tijekom prethodne godine, čovječanstvu donijeli najveću korist.“ - Alfred Nobel

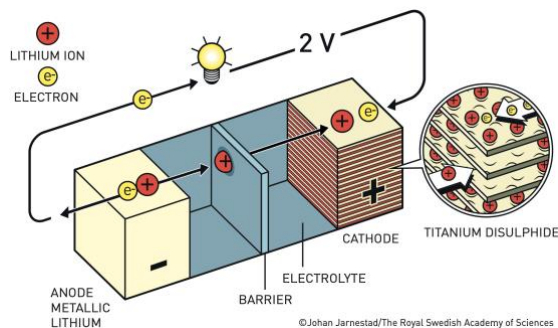
Navedeni tekst je dio oporuke ovog velikog autora i tvorca nagrade koja se dodjeljuje jednom godišnje iz područja kemije, fizike, medicine, književnosti i zasluga za ostvarivanje mira u svijetu.

Godine 2019. tri znanstvenika osvajaju Nobelovu nagradu iz područja kemije. Zaslužni su za izum najdominantnije sekundarne baterije u uporabi (za vrijeme pisanja ovog rada), litij ionske baterije.



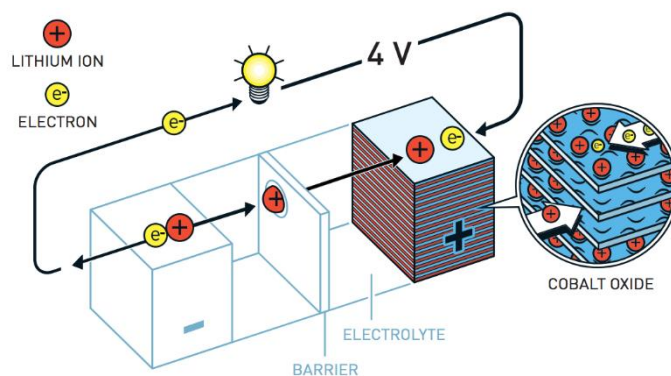
Slika 5. John B Goodenough, M. Stanley Whittingham i Akira Yoshino (fot. Niklas Elmehed) [6]

Litij-ion priča počinje sa Stanley Whittinghamom (rođ. 1941. V. Britanija) koji je 70-ih godina izumio prvu litij-ion bateriju. Potican od strane Exxon naftne kompanije koja je odlučila uložiti u razvoj baterija zbog kolektivne bojazni sedamdesetih da se nafta bliži kraju. Načinio je anodu od čistog litija (litij ima jako visok elektrokemijski potencijal 3.04 [V]), a katodu od titanijevog disulfida (TiS_2). [7]



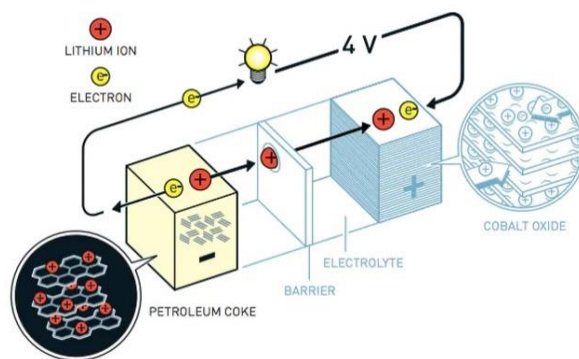
Slika 6. Stanley Whittingham izvedba Li-ion baterije [8]

Nastavak rada baterije na bazi litija preuzima najstariji od trojice. John B. Goodenough (rođ. 1922. Njemačka) on pronalazi novi materijal za katodu, kobaltov dioksid (CoO_2). Takva izmjena ne samo da je udvostručila potencijal baterije (postiže napon od 4 [V]) već ju je učinila lakšom i manjom. [9]



Slika 7. John B. Goodenough verzija Li-ion baterije [10]

Posljednji od ove trojice velikana, japanac, Akira Yoshino, unaprjeđuje ovaj put anodu, koja je do tad bila u čistom elementarnom litiju te stoga vrlo nestabilna i reaktivna. On ju „ukroćuje“ tako da upotrebljuje grafit u obliku petrolkoka (nusprodukt rafiniranja nafte) koji apsorbira elementarni litij. Takva anoda omogućuje micanje iona litija kroz barijeru. Tim se činom finalizira litij ion baterija kakvu danas poznajemo, no njen razvoj nije prestao tako da se poboljšanja i dalje događaju, nove kombinacije kemija anode a posebice katode. [11]



Slika 8. Finalna izvedba od strane Akira Yoshina [12]

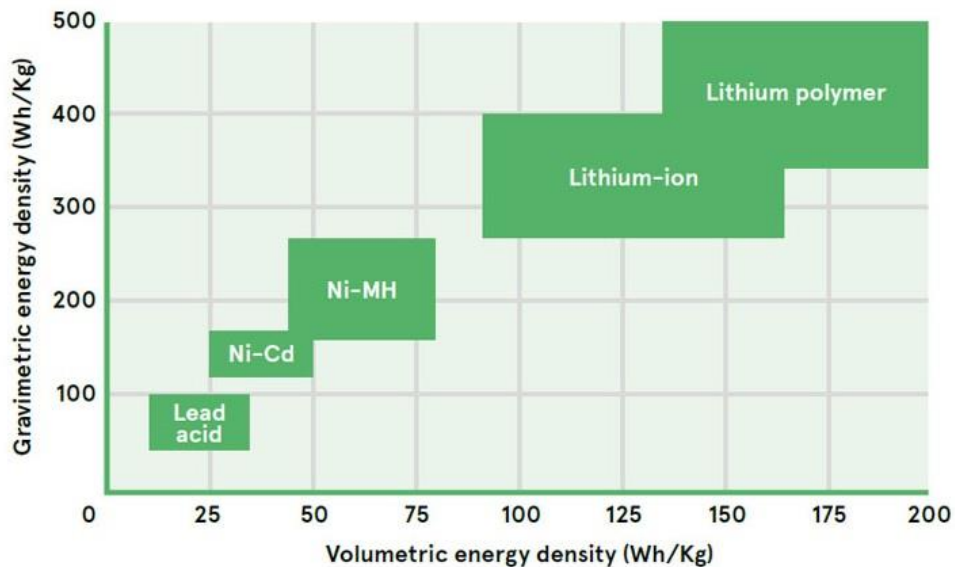
Prva komercijalna litij ion sekundarna baterija pojavljuje se na tržištu 1991. godine od strane Sony korporacije. Od tada ona ima strelovit uspon u udjelu tržišta baterija. Ta tehnologija je toliko sveprisutna u našim životima da jednostavno ne možemo zamisliti svakodnevicu bez nje. Nalazi se u

gotovo svoj mobilnoj potrošačkoj elektronici, a unazad nekoliko godina i u svim komercijalnim električnim vozilima.



Slika 9. Prva komercijalna Li-ion baterija za Sony mini-disc player 1991. godine [13]

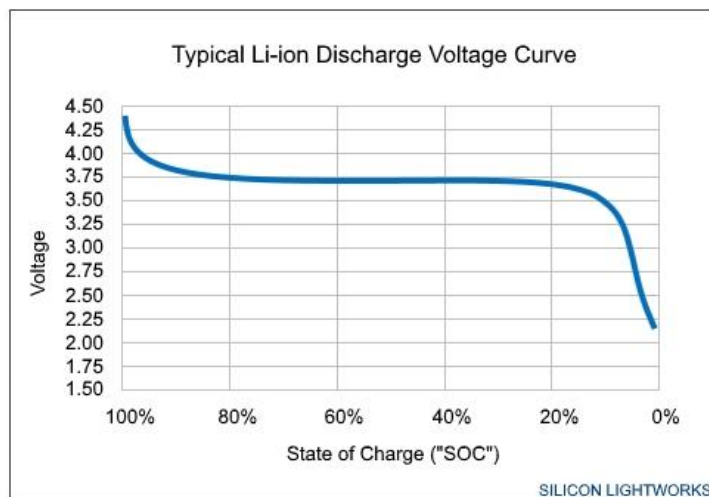
Krase ju odlične karakteristike u pogledu specifične energetske gustoće do čak 265 [Wh/kg]. Specifična snaga 250-340 [W/kg]. Nominalni napon iznosi 3.6-3.85 [V] (ovisi o unutarnjoj konstrukciji / tipu li-ion baterije)



Slika 10. Specifična energetska gustoća sekundarnih baterija

Pored visoke gustoće energije ne pati od memorijskog efekta prijašnjih tehnologija sekundarnih baterija. Količina ciklusa prije nego baterija može isporučiti 80% izvornog kapaciteta je do 500 ciklusa (NCA katoda, potpuno punjenje-pražnjenje-punjenje je jedan ciklus).

Uzak raspon radne voltaže (3.3 - 4.2 [V] kod 3.7 [V] tipa) koji je reguliran „BMS“-om (eng. battery management system) pored dubokog pražnjenja štiti ćeliju od prepunjivanja i kratkog spoja koji može bit vrlo koban ako se ne zaustavi na vrijeme .



Slika 11. Krivulja pražnjenja Litij ion baterije [14]

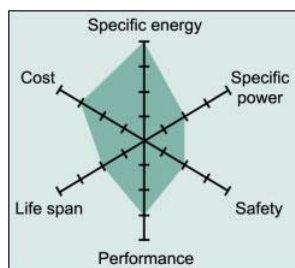
Tehnologija li-ion dolazi u više fizičkih formata no najčešći su cilindrični (u čeličnom cilindru) i prizmatični (tanke „pljoske“) te se onda rade kompleksnije varijacije od ova dva navedena primarna tipa. Najučestaliji format korišten u električnim automobilima / skuterima, laptopima, prijenosnim baterijama, ručnim svjetiljkama, te e. cigaretama je cilindrični tip. Tesla i Rimac koriste upravo taj format u svojim električnim vozilima.



Slika 10. Dva najčešća fizička formata litij ion baterije

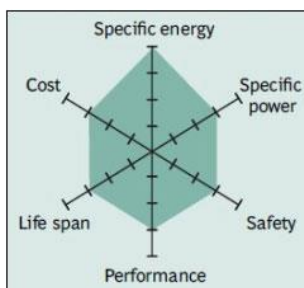
Pored fizičkih formata Litij ion baterije se dijele i po kemiji katode. Katoda korištena u izradi ćelija koje se nalaze u baterijskim modulima ovoga rada je **litij kobalt oksid - LCO (LiCoO₂)**, udio kobalta je oko 60%. To je ujedno i prva kemija koju je Sony izbacio na tržište 1991. godine. Rast kapaciteta te iste kemije katode je postignut usavršavanjem u samoj izradi, pošto je došlo do optimizacije kod špricanja/nanošenja materijala koji sačinjava katodu. Nominalna voltaža 3.6[V], Negativni aspekti

ove katode su relativno kratak vijek trajanja i veliki problemi kod nabavke samog kobalta (Co) koji sačinjava 60% udjela kemije katode, što LCO čini jako skupim. Uz njega se veže velika problematika jer je došlo do spoznaja da lanac dobave tog materijala koristi dječji rad u Africi točnije Demokratskoj Republici Kongo. Litij kobalt oksid se više ne smatra relevantnom vrstom katoda, zamijenjena je jeftinijim i održivijim varijantama poput NMC i NCA. [15]



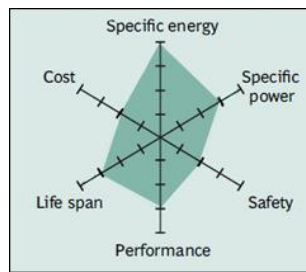
Slika 11. Performanse LCO katode [16]

Litij nikal mangan kobalt oksid – NMC (LiNiMnCoO_2), jedna od najuspješnijih litij ion tehnologija katode, pojavljuje se na tržištu 2008. godine, te se koristi u električnim automobilima, biciklima, električnim alatima za građevinu (bušilice i sl.). Omjer nikla, mangana i kobalta je u odnosu 1:1:1 što je svakako napredak od LCO tehnologije gdje je kobalt skoro dvije trećine. Iako je donijela dupliranje iskoristivih ciklusa punjenja-pražnjenja sa 500-1000 vrijednosti LCO-a na 1000-2000 ciklusa svakako nije krajnje rješenje pošto proizvođači žele što je više moguće smanjit udio kobalta u katodi.[17]

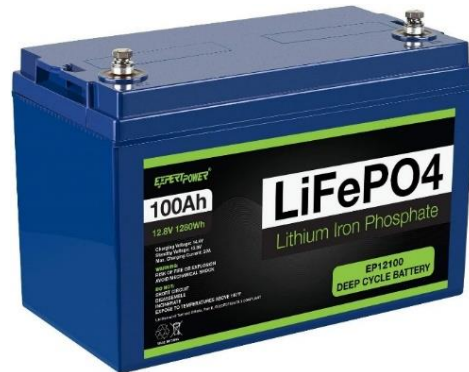


Slika 12. Performanse NMC katode [18]

Katoda s najmanje udjela kobalta je **Litij nikal kobalt aluminij oksid – NCA (LiNiCoAlO_2)**. Kobalta je svega 9%. Na tržištu je od 1999.godine. Sa NMC-om dijeli sličnosti poput visoke specifične gustoće energije (do čak **300 [Wh/kg]**), jako dobre specifične snage i dugog životnog vijeka. Sigurnost i visoka cijena su mu zasad minusi. Ova katoda je odabir Panasonica u Teslinim električnim vozilima i očekuje se daljnje usavršavanje ove vrste katode. [19]

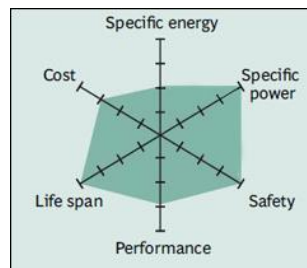


Slika 13. Performanse NCA katode [20]



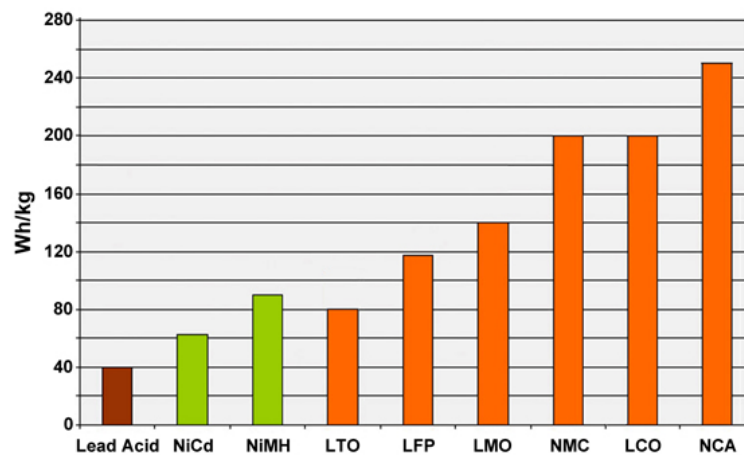
Slika 14. Litij-ferit-fosfat ion baterija u formatu automobilske baterije [24]

1996 godine Sveučilište u Texasu (i drugi do prinositelji) otkrili su fosfat kao materijal za katodu litij ionskih sekundarnih baterija, punog naziva **LiFePO₄**. Litij fosfat nudi dobru elektrokemijsku izvedbu sa jako malim unutarnjim otporom. To je omogućeno sa nano česticama fosfata kao materijala u katodi. Glavne pozitivne značajke su mogućnost visokih struja i jako dug životni vijek. Pored dobre termalne stabilnosti pojačana je i sigurnost kod nepropisnog ili nestručnog rukovanja. Litij fosfat je daleko više tolerantniji na stadije pune napunjenosti.[21]



Slika 15. Performanse Litij fosfat katode[22]

U zamjenu Litij fosfat ima niži nominalni napon od **3.2 [V]** po ćeliji u usporedbi sa Litij ion katodama sa mješavinama kobalta u njima. Litij fosfat ima veću razinu samopražnjenja što može izazvat probleme kod balansiranja kako ćelije stare u sustavu. Napon kod pune ćelije iznosi **3.6 [V]** , specifična energetska gustoća iznosi do **130 [Wh/kg]**. Očekivani broj ciklusa do zadržavanja 80% izvornog kapaciteta je 2000 i više. U praksi puno bolja kemija litij iona za imitaciju olovnih auto baterija zbog nižeg nominalnog napona od ostalih kemija litij ion katoda. Ukratko za veću sigurnost i izdržljivost mijenjana je specifična gustoća energije. Dosta često korištena tehnologija za spremanje el. energije kod kreatora minibuseva za kampiranja i objektivno najbolja kemija katode za implementaciju u stacionarnim uvjetima kod prikupljanja sunčeve energije, pogotovo u kućama gdje nam prostor i nije toliko primarna stavka kod dizajniranja sustava. [23]



Slika 16. Specifična energetska gustoća raznih vrsta katoda Li-iona kao i drugih sekundarnih baterija [25]

2.1.3. Opis baterijskog modula korištenog u radu („GH1865-001“ ; 25.2[V] / 110[Wh])

Razlika nominalnog potencijala jedne ćelije ili baterijskog litij ion članka je ovisno o vrsti litij iona između 3.2 [V] do 3.85 [V]. Za litij ion tehnologiju koju koristimo (Litij-kobalt-oksidi LiCoO_2) u ovom radu nominalna voltaža je 3.62 [V], dovoljno za napajanje mobitela (snage 5 [W] pa sve do električnih cigareta snage do 60 [W]) . Teoretski postoje 18650 ćelije koje mogu dat 20 [A] kontinuiranog pražnjenja to bi bilo cca 75 [W] snage no potrebe čovjeka ne staju tu.

Zbog toga se u implementaciji litij ion baterija u aplikacijama koje zahtijevaju veće snage poput automobila (50[kW]), romobila, skutera (350[W]), usisavača (500[W]) koriste litij ion baterije u serijskim spojevima da bi se dobila što veća izlazna voltaža same baterije. Veća izlazna voltaža znači efikasnije izvođenje određenog rada veće snage.

Primjerice jedan 250[W] motor koji pogoni električni bicikl je normiran da radi na 36 [V] napona. Takav napon izvora (baterije) kod litij ion tehnologije postizemo sa deset serijskih članaka

$$10 \times 3.7 \text{ [V]} = 37 \text{ [V]}. \quad (1)$$

Takva konfiguracija će dat motoru napon izvora od 42 [V] dok je baterija potpuno napunjena pa sve do 33 [V] kada je baterija skoro pa do kraja ispražnjena. Povećanje kapaciteta vršimo proširenjem broja članaka u paralelnom spoju.

Baterija koju koristim u ovom radu je prvotno bila namijenjena upotrebi u hoverboard-u. Ukratko to je električna nagazna platforma sa dva kotača (električna motora) primarno ciljana mlađoj publici. Verzija čiju bateriju sam ja iskoristio je 24 [V] i 250[W] snage motora. Pošto je bateriji svejedno što će pogoniti ovakve prenamjene nisu rijetke u svijetu „DIY zajednice“ (Do It Yourself).



Slika 17. 24[V] 350[W] Hoverboard čija je baterija korištena u ovom radu [26]



Slika 18. Prikaz baterijskog modula korištenog u ovom radu

Deklaracija baterije kaže da je sklapanje (eng. assembly) baterijskog modula izvršeno u Narodnoj Republici Kini. Gradu Jiangsu pokrajini Guoheng po kojima je i tvrtka dobila ime.

Deklaracija isto tako naznačuje da je riječ o bateriji nominalnog napona od 25.2[V] te nominalnog kapaciteta približno 110[Wh] / 4.3 [Ah]. Već iz nazivnog kapaciteta i napona možemo zaključiti da je riječ o dvije ćelije/članka u paraleli i 7 serijski veza, tzv. 7S2P konfiguracija, što je najzadnje i naznačeno na deklaraciji.

$$7 \times 3.62 \text{ [V]} = 25.2 \text{ [V]} \quad (2)$$

$$2 \times 2.15 \text{ [Ah]} = 4.3 \text{ [Ah]} \quad (3)$$

$$25.2 \text{ [V]} \times 4.3 \text{ [Ah]} = 108.36 \text{ [Wh]} \quad (4)$$

Navedeno na deklaraciji nam govori da je riječ o ćeliji „SAMSUNG“ kompanije.

Baterija posjeduje BMS (Battery Management system) koji je odgovoran da kod punjenja baterije ne dođe do velikog nesrazmjera u voltaži članaka u seriji. Baterijski konektor je „XT60“. Masa baterijskog modula iznosi 0.67 [kg]. Poznajući masu i kapacitet modula lako izračunamo specifičnu energetska gustoću koja iznosi 165 [Wh / kg]. Pošto znamo da je uređaj za kojeg je baterija dizajnirana

snage 250 [W] onda sa gotovom sigurnošću možemo pretpostavit da modul može sigurno toliko isporučit. Pošto je potrebna izlazna snaga 250 [W] BMS koji je ugrađen je sposoban i za više snage posebice radi sigurnosti.

2.1.3.1. Opis ćelije „18650“ ugrađene u baterijski modul (ICR18650-22P M SAMSUNG)

Skidanjem zaštitnog plavog pokrova baterijskog modula dolazimo do same konfiguracije modula. Modul se sastoji od 14 ćelija „SAMSUNG ICR18650-22P“ ,niklenih vezivnih traka i 7S BMS-s (Battery Management System). 18650 u imenu ćelije označava njezine dimenzije 18 [mm] promjera, 65 [mm] visine članka/ćelije.



Slika 19. "ICR18650-22P" ćelija od koje je sačinjen baterijski modul

Poznavanjem ćelije možemo donekle znat kakve je kvalitete baterijski modul sa kojim raspolažemo. Spoznaja da je proizvođač južnokorejski tehnološki div SAMSUNG nam ide na ruku, no treba bit oprezan isto jer falsifikata je mnogo. Uz specijaliziranu opremu za testiranje kapaciteta i unutarnjeg otpora litij ion baterija usporedit ćemo rezultate koji su deklarirani i one koje ćemo izmjeriti, te na taj način bit sigurniji sa onime čime raspolažemo. Zbog starosti/datuma proizvodnje i dugog ležanja baterija određena odstupanja su tolerirana i očekivana, posebice u pogledu unutarnjeg otpora. Pošto je riječ o elektrokemijskim procesima koje je prolaskom vremena nemoguće potpuno zaustavit (formacija dandrita) no ipak najveća degradacija svojstava baterije dolazi kod samog korištenja ili eksploatacije samih ćelija. Tehnologija katode je „LiCoO₂“ (svijet lagano napušta ovu tehnologiju zbog velikih geopolitičkih problema zbog dječjeg rada u Africi, djeca su korištena u rudnicima Kobalta (Co), ali naravno pored etičkih pitanja u konačnici i zbog cijene izrade).

Tablica 1. Karakteristike ICR18650-22P članka

Karakteristika	Vrijednost
Tipični kapacitet	2150mAh (0.2C, do 2.75V pražnjenje)
Minimalni kapacitet	2050mAh (0.2C, 2.75V discharge)
Napon punjenja	4.2V±0.05 V
Nominalni napon	3.62V (1C discharge)
Metoda punjenja	CC-CV (konstanta struja-konstanta voltaža)
Struja punjenja	Standardno punjenje: 1075[mA]; Brzo punjenje: 2150[mA]
Vrijeme punjenja	Stand. Punjenje: 3[h] Brzo punjenje: 2.5[h]
Maksimalna struja punjenja	2150[mA]
Maksimalna struja pražnjenja	10 [A] kontinuirano
Krajnji napon rada	2.75[V]
Masa članka	44.5[g]
Dimenzija članka	Promjer: 18.4[mm] Visina: 65[mm]
Inicijalna unutarnja impedancija(unutarnji otpor)	≤35[mΩ]

2.1.4. Sustav za upravljanje baterijama (eng. BMS [battery management system])

Velika gustoća snage litij-ionskih baterija učinila ih je vrlo popularnima. Međutim, nestabilno ponašanje litij-ionskih ćelija u kritičnim uvjetima zahtijeva pažljivo postupanje s njima.

To znači da je sustav za upravljanje baterijom (BMS) potreban za praćenje stanja baterije i osiguravanje sigurnosti rada. BMS je obično opremljen elektroničkom sklopkom koja odvaja bateriju od punjača ili trošila u kritičnim uvjetima koji mogu dovesti do opasnih reakcija.

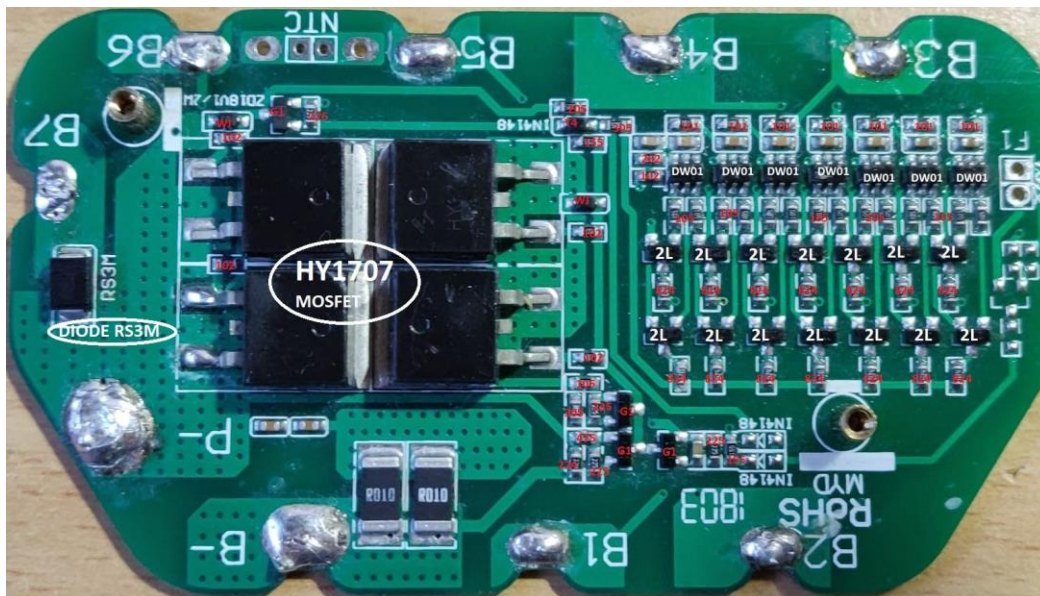
Takvi kritični uvjeti uključuju:

- Prekomjerno punjenje: znači kada se baterija puni preko dopuštenog maksimalnog kapaciteta
- Visoka i niska temperatura: je kada unutarnja temperatura ćelija akumulatora prelazi njihov sigurni raspon radne temperature
- Prekomjerno pražnjenje: je kada se baterija isprazni ispod dopuštenog minimalnog kapaciteta

- Prekomjerna struja: kada je baterija izložena stanju kratkog spoja ili visokoj struji uključenja

Ako tijekom takvih uvjeta ne iskopčate bateriju ili ne upravljate njom, može doći do sljedećih problema:

- „Toplinski prebjeg“ (eng. Thermal runaway): Često je posljedica prekomjernog punjenja ili pregrijavanja baterije. Do pregrijavanja može doći uslijed povišenja temperature okoline ili zbog punjenja / pražnjenja baterija s velikom brzinom struje. „Toplinski prebjeg“ ne samo da oštećuje ćelije akumulatora, već može dovesti i do požara.
- Smrt ćelije. Često je to zbog pražnjenja baterija ispod utvrđenih pragova događa trajni raspad kemije katode
- Oštećenje uređaja za opterećenje: Često je posljedica ili lošeg upravljanja pulsnom strujom ili preokretanja polariteta baterije.



Slika 20. prikaz tiskane pločice korištenog sustava za upravljanje baterijskim modulom korištenim u radu

Pogled na tiskanu pločicu ukazuje prisustvom „RS3M“ diode da je implementirana zaštita obrnutog polariteta. Sedam ćelija u seriji kontrolira/nadgleda pojedinačno za svaki serijski segment „DW01“ integrirani krug, dizajniran za zaštitu litij ion članka tokom uporabnog vijeka od prekomjernog

punjenja, prekomjernog pražnjenja, struje kratkog spoja. DW01 ispod sebe ima tranzistore 2L za punjenje i pražnjenje pojedinog serijskog članka za koji je odgovoran.

Prisustvo dva shunt (otpornik vrlo malog otpora) otpornika kod B- (anoda baterijskog modula) govori sustavu za upravljanje baterijom preko pada napona preko njih (zbog mogućnosti propusta velikih struja preko sebe) o količini struje koja se izvlači iz baterijskog modula. Kada pasivne komponente očitaju preko shunt otpornika pad napona veći od određenog, recimo 1.75[V] tada se MOSFET-i iskapčaju i baterija se odspaja od trošila.

Iako BMS posjeduje 2L tranzistore i sitne otpornike zadužene za balansiranje serijskih članaka, nakon 20-30 ciklusa biti će poželjno pregledat stanje unutar modula i vidjet da li sam BMS odrađuje posao balansiranja kako spada.

2.1.5. Vrsta konektora i standard žice za spajanje više baterijskih modula u paralelni spoj



Slika 21. Ženski i muški XT60 konektor [27]

„XT60” je najučestaliji konektor u radio kontroliranim aplikacijama poput dronova i autića, možemo ga naći na baterijama raznog formata pa čak i na dosta punjača sa balans funkcijama.

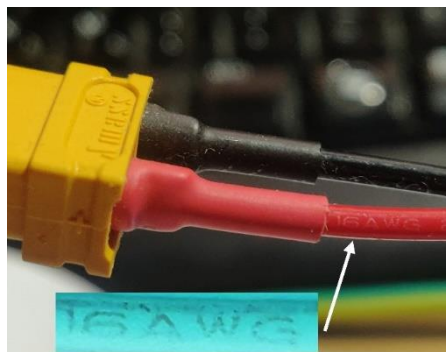
Žuto najlonsko plastično kućište te cilindrični konektori od mjedi omogućuju jako čvrsti spoj između muške i ženske strane. Kao što mu ime sugerira „XT60“ može podnijet do 60[A] kontinuirane struje.

S obzirom da je baterijski sustav osmišljen tako da imamo šest baterijskih modula te iz svakog maksimalno u eksploataciji zahtijevamo 5[A] da bi postigli potrebnih 30[A] za 800[W].

Takve situacije su bez problema zadovoljene ovakvom konekcijom koja od dostupnih 60[A] koristi u najzahtjevnijem slučaju samo 5[A]. Izbor konektora je bio lagan pošto baterijski modul korišten u radu već dolazi sa ženskim „XT60“ konektorom, potrebno je bilo samo pribavit muške polove i spojiti ih u most za paralelni spoj svih modula.

Baterijski moduli korišteni u radu imaju na izlazu iz BMS-a žicu 16 AWG (american wire gauge) / [1.29 mm] debljine od aluminija, dugačka je 20 cm što je i više nego dovoljno za transfer od 5[A] do mosta za paralelan spoj. Na tako kratkoj udaljenosti gubici u transferu energije kod 5[A] su zanemarivi oko 210[mW]¹.

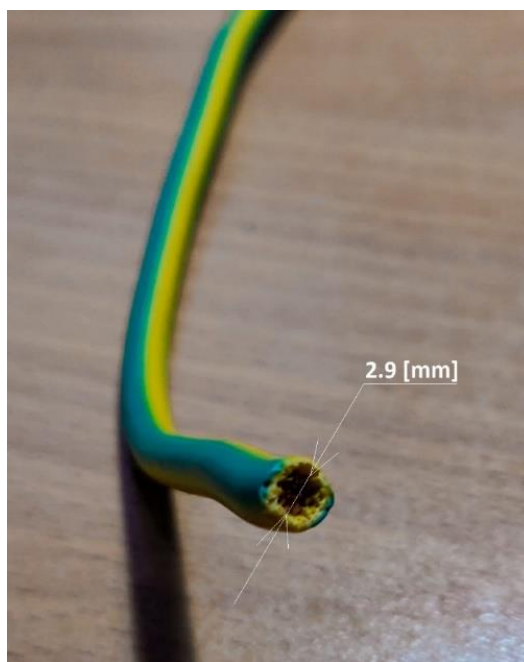
¹ <https://www.calculator.net/voltage-drop-calculator.html?material=aluminum&wiresize=13.17&voltage=24&phase=dc&noofconductor=1&distance=0.2&distanceunit=meters&eres=5&x=67&y=18>



Slika 22. 16 AWG oznaka na žici baterijskog modula

Niskonaponski istosmjerni sustavi često rade pri prilično visokim strujama. Ako su kablovi koji dostavljaju napon ujedno i struju premaleni, velik dio raspoložive energije izgubit će se u zagrijavanju samog kabela. Takav gubitak se može smanjit korištenjem kabela većeg promjera ili kvadrata presjeka, no to povećava troškove samog sustava. Neki prihvatljivi maksimum pada napona za istosmjerne sustave je 5% od napona izvora.

Most za paralelan spoj baterijskih modula izrađen je od bakrene žice često korištena za uzemljenje. Promjera bez izolacije (debljine) 2.9[mm]. Duljina paralelnog mosta je 45 [cm].



Slika 23. Žica korištena za izradu paralelnog mosta

Izmjerene gabarite bakrene žice unosimo u „kalkulator pada napona“^[1]. Rezultat nam govori da pri struji od 35[A] koliko je potrebno za održati snagu za inverter od 800[W] pad napona iznosi 0.055[V] što znači da nam se na prijenosu do invertera na kabelu gubi 1.925[W] (oko 0.23 %), što je izvrsno!

Voltage Drop Calculator

Result

Voltage drop: **0.055**

Voltage drop percentage: **0.23%**

Voltage at the end: **23.945**

Please note that the result is an estimation based on normal conditions. The actual voltage drop can vary depending on the condition of the wire, the conduit being used, the temperature, the connector, the frequency etc. But, in most cases, it will be very close.

Wire Material	<input type="text" value="Copper"/>
Wire Size	<input type="text" value="9 AWG (13.1 kcmil)"/>
Voltage	<input type="text" value="24"/>
Phase	<input type="text" value="DC"/>
Number of conductors	<input type="text" value="single set of conductors"/>
Distance*	<input type="text" value="0.3"/> <input type="text" value="meters"/>
Load current	<input type="text" value="35"/> Amps

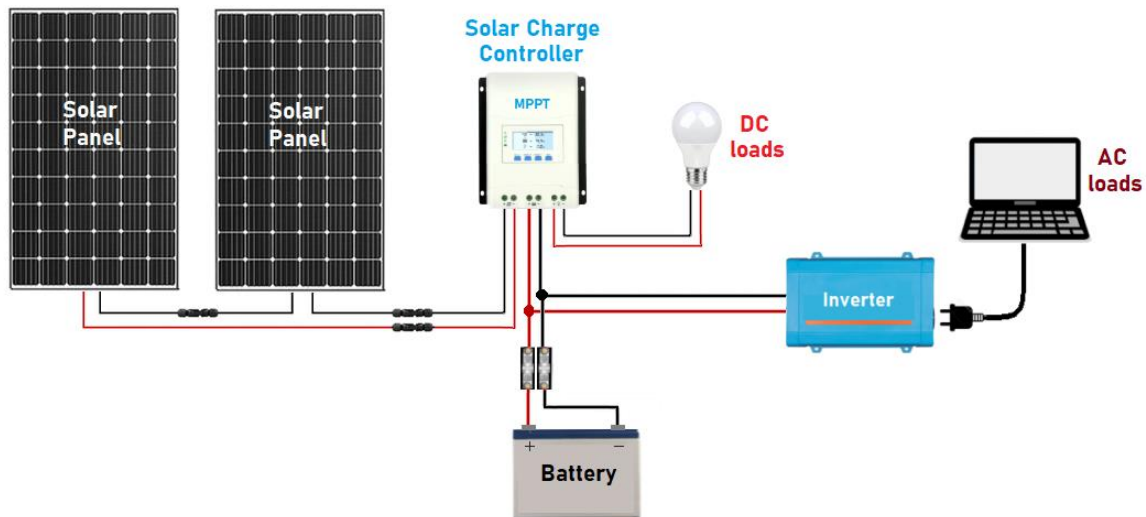
* Please use one-way distance to the load. Not round trip distance.

Slika 24. Screenshoot" Voltage Drop Calculatora za 800[W] eksploatacije baterijskog sustava [28]

Sa spoznajom da je eksploatacija od 800 [W] uzeta u izračun samo zato jer raspolažemo sa inverterom takve snage u realnoj primjeni snaga koju ćemo zahtijevati iz invertera i cijelog baterijskog sustava neće bit veća od 500 [W], onoliko koliko je dovoljno da se pogoni LED televizor i eventualno igraća konzola. Pri takvim snagama pražnjenja gubici u vodičima su značajno manji.

2.2. Regulator solarnog punjenja

„Regulator solarnog punjenja, poznat i kao solarni regulator, u osnovi je solarni punjač baterije povezan između solarne ploče i baterije. Njegov je posao regulirati postupak punjenja baterije kako bi osigurao da se baterija pravilno puni, ili što je još važnije, da se ne napuni previše. DC-spojeni solarni regulator punjenja postoje već desetljećima i koriste se u gotovo svim malim izvan mrežnim sustavima.“



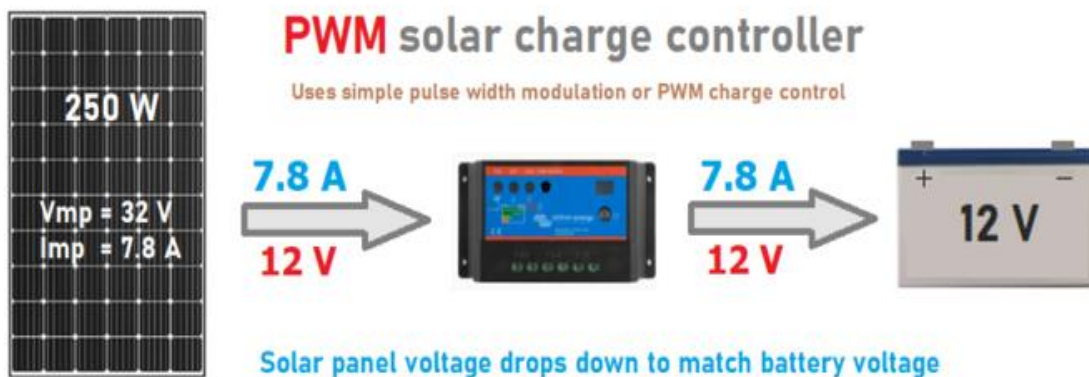
Slika 25. Osnovi "izvanmrežni" sustav koristi regulator solarnog punjenja [29]

Moderni solarni regulatori punjenja imaju napredne značajke koje osiguravaju precizno i učinkovito punjenje sustava baterija, plus funkcije poput DC terminala za osvjetljenje (žarulje i sl.), neki imaju i 5[V] USB A izlaze. Općenito, većina manjih regulatora punjenja od 12-24 [V] veličine do 40 [A] koristi se za kamp prikolice, kamp kućice i kampove te imaju ugrađene izlazne terminale istosmjernog opterećenja. Iako većina većih, naprednijih 60P + MPPT solarnih regulatora punjenja nema terminale

za izlaz opterećenja i posebno su dizajnirani za veći sustav izvan mreže sa solarnim nizovima i snažnim pretvaračima/inverterima izvan mreže. [30]

2.2.1. Vrste solarnog regulatora

Postoje dvije glavne vrste solarnog regulatora. PWM i MPPT. Jednostavni PWM (pulse width modulation) solarni regulatori, imaju izravnu vezu od solarnog niza do baterije i koriste osnovni "brzi prekidač" za modulaciju ili kontrolu punjenja baterije. Prekidač (tranzistor) je otvoren dok baterija ne dosegne apsorpcijski napon punjenja. Tada se prekidač počinje brzo otvarati i zatvarati (stotine puta u sekundi) kako bi se smanjila struja i održavao konstantan napon baterije. Ovo funkcionira je u redu, ali problem je što se napon solarne ploče spušta prema naponu baterije. To zauzvrat odvlači napon ploče od optimalnog radnog napona (V_{mp}) i smanjuje snagu i učinkovitost. [31]



Slika 26. Primjer rada PWM solarnog regulatora [32]

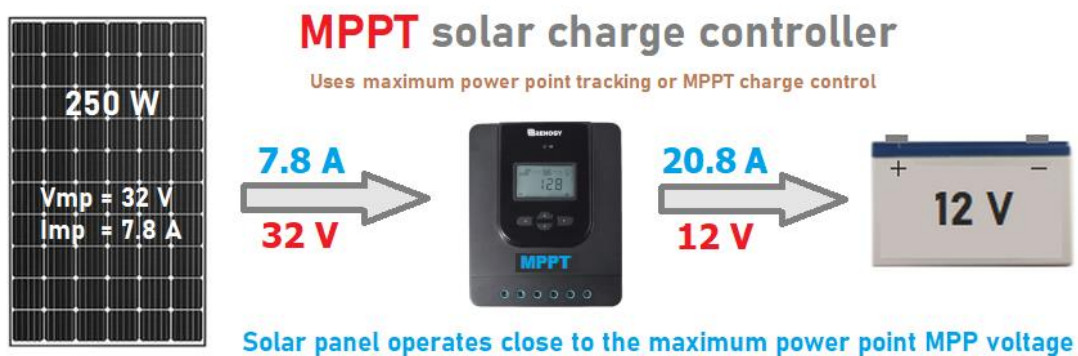
PWM solarni regulatori izvrsna su jeftina opcija za male 12[V] sustave u kojima se koristi jedan ili dva solarna panela, poput jednostavnih aplikacija poput solarne rasvjete, kampiranja i osnovnih stvari poput USB / telefonskih punjača. Napomena: ako se koristi više od jedne ploče, oni bi trebali biti povezani paralelno, a ne serijski.

MPPT ili „praćenje točke maksimalne snage“ (eng. maximum power point tracking) daleko su napredniji od PWM regulatora i omogućavaju solarnom panelu rad na svojoj maksimalnoj točki snage, ili točnije, optimalnom naponu za maksimalnu izlaznu snagu. Korištenjem ove pametne tehnologije, MPPT kontroleri solarnog punjenja mogu biti i do 30% učinkovitiji, ovisno o naponu baterije i naponu spojene solarne ploče.

Kao opće pravilo, MPPT solarne regulatore punjenja treba koristiti na svim sustavima veće snage koji koriste 2 ili više solarnih panela ili kad je napon panela (V_{mp}) 8[V] ili veći od napona baterije. Princip rada MPPT solarnog regulatora punjenja prilično je jednostavan - zbog različitog stupnja sunčeve

svjetlosti (ozračenosti) koji slijeće na solarni panel tijekom dana, napon i struja panela neprestano se mijenjaju. Kako bi generirao najviše snage, tragač točke maksimalne snage „pročešljava“ se kroz napon ploče kako bi pronašao najpovoljniju točku ili najbolju kombinaciju napona i struje za proizvodnju maksimalne snage. MPPT je dizajniran za kontinuirano praćenje i podešavanje napona tako da generira najviše snage bez obzira na doba dana ili vremenske uvjete.

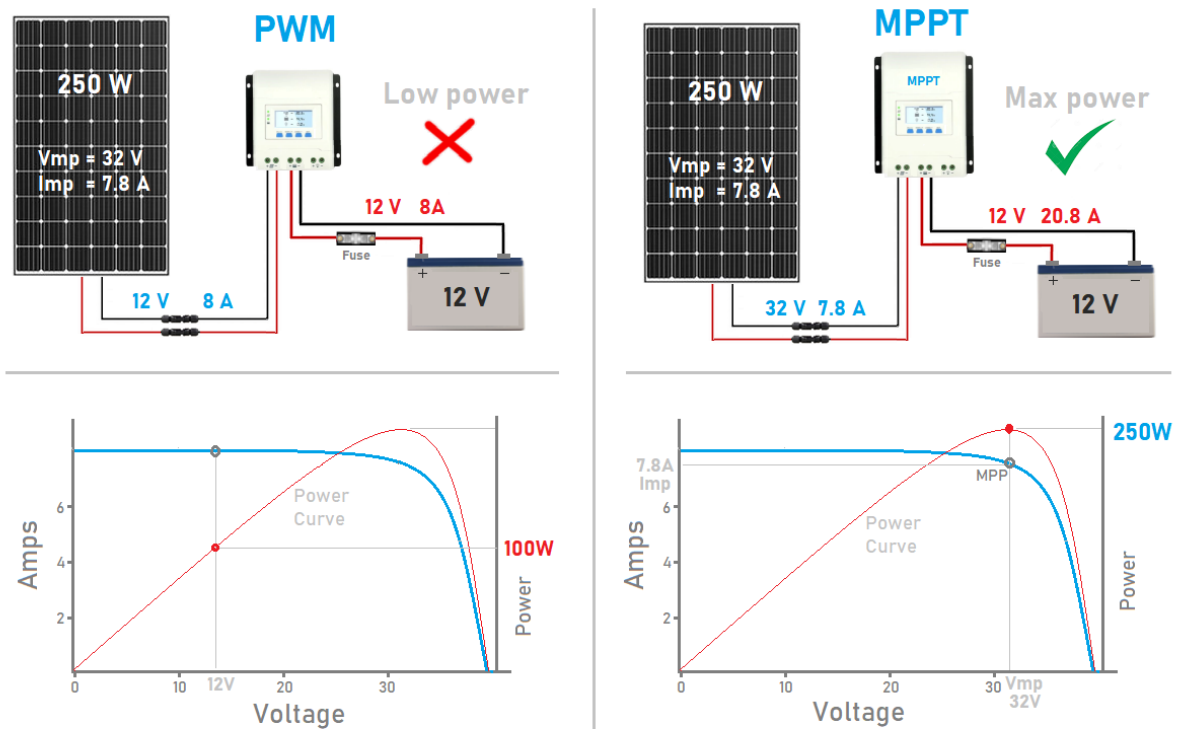
Općenito samo vrhunski MPPT kontroleri mogu otkriti djelomično zasjenjenje ili mogu pratiti više točaka napajanja. Korištenjem ove pametne tehnologije povećava se učinkovitost solarne ploče, a količina proizvedene energije može biti i do 30% veća od PWM solarnog regulatora punjenja. [33]



Slika 27. MPPT regulator punjenja u radu [34]

U primjeru dolje, uobičajena 60-ćelijska (24V) solarna ploča s radnim naponom od 32V (V_{mp}) povezana je na 12[V] bateriju pomoću PWM-a i MPPT kontrolera punjenja. Korištenjem PWM regulatora napon ploče mora pasti kako bi odgovarao naponu baterije, tako da se izlazna snaga dramatično smanjuje. S MPPT kontrolerom punjenja, ploča može raditi na svojoj maksimalnoj točki napajanja, a zauzvrat može generirati puno više energije. Analogijski gledano možemo MPPT tehnologiju gledat kao jednu vrstu automatskog mjenjača koja sama određuje kada smo na uzbrdici

sa autom u koju će brzinu ubacit kako bi ostvario što bolju iskoristivost okretnog momenta kojeg generiraju klipovi na radilici. [35]



This comparison highlights the problem with using a higher voltage solar panel on a 12V battery without MPPT

Slika 28. Usporedba dvaju vrsta regulatora solarnog punjenja [36]

2.2.2. MPT-7210A solarni regulator (DC-DC boost converter)



Slika 29. MPT-7210A solarni regulator [37]

Odabrani solarni regulator imena MPT-7210A od strane JUNTEK kineske firme. Sam naziv solarnog regulatora tvrdi da je riječ o MPPT (maximum power point tracking) tehnologiji što je u principu samo napola istina. Detaljnijim pregledom samog regulatora u radu ustanovljeno je da je riječ o solarnom regulatoru koji imitira na neki način MPPT tehnologiju, ali ne u potpunosti. Ispostavilo se da je to riječ o nekoj vrsti imitacije pomoću DC-DC uzlaznog pretvarača (eng. boost converter) tako nešto je ustanovljeno već na prvoj probi gdje je isprobano punjenje sa konfiguracijom 3 solarna panela u seriji (36[V] nominalno), bezuspješno. Nakon prespajanja solarnih ploča u samo jednu, punjenje je započeto, pri tome regulator nije sam mogao odrediti MPPT već smo najbolju vrijednost solarnog ulaza sami ručno unijeli pomoću tipki za namještanje programa punjenja. Kod ovog solarnog regulatora MPPT efekt najbolje dolazi do izražaja sa baterijama viših napona (poput 36 i 48 [V]).

Dakle ne može puniti bateriju sa izvorom većeg napona od baterije koju punimo, što za ovaj projekat i nije toliko bitno s obzirom da će bit baterijski sustav uparen sa samo jednom 40 [W] solarnom pločom. Za nabavnu cijenu od 35 € sasvim zadovoljavajuće. Dobra stvar je svakako ta da se pomoću ovakvog regulatora može baterija puniti i sa običnim punjačem za laptop, pošto je ovo DC-DC uzlazni pretvarač svejedno mu je dobiva li snagu sa solarnog panela ili bilo kojeg drugog DC izvora, sve dok je taj izvor nižeg napona od vršnog napona baterije.

Karakteristike MPT 7210 navedene u korisničkim uputama :

1. Ulazni napon 12- 60[V]
2. Izlazni napon 24-72[V]
3. Izlazna struja 0-10[A]
4. Maksimalna izlazna snaga 600[W]
5. LCD displej u boji prikazuje napon, struju, snagu i stanje napunjenosti baterije
6. DC-DC uzlazni pretvarač ulaza regulatora ili MPPT način punjenja
7. 20 pozicija sa spremanje modova punjenja (memorija programa punjenja)



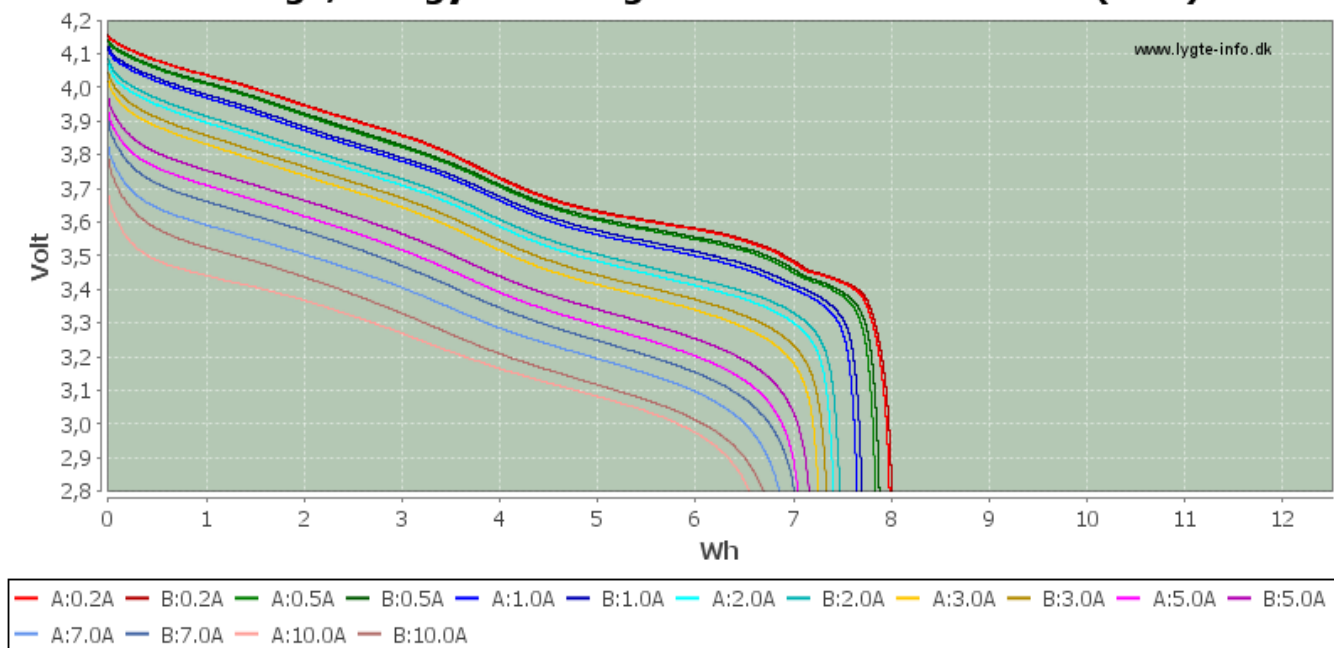
Slika 30. Fizički gabariti solarnog regulatora [38]

2.3. Stanje napunjenosti (eng. State of charge / SOC)

Za „stanje napunjenost“ (eng. State of charge) koristim rudimentarnu metodu, a to je vrijednost napona cijelog paketa. Takav pristup mjerenju stanja napunjenosti je dovoljno točan za naše potrebe no u ozbiljnijim primjenama postoje programski algoritmi unutar mikro kontrolera koji upravlja cijelim baterijskim sustavom koje koriste metodu brojanja coulomba (bilo koje električno vozilo), te zajedno sa voltažom baterijskog paketa daju kompletniju i točniju sliku „stanja napunjenosti“ (SOC).

Web adresa lygate-info.dk specijalizirana je za recenziranje baterija i punjača dostupnih na tržištu, njihova detaljna recenzija ćelije koju koristim „ICR18650-22P“ je najpouzdaniji izvor na internetu.

Discharge, energy: Samsung ICR18650-22P 2200mAh (Blue)



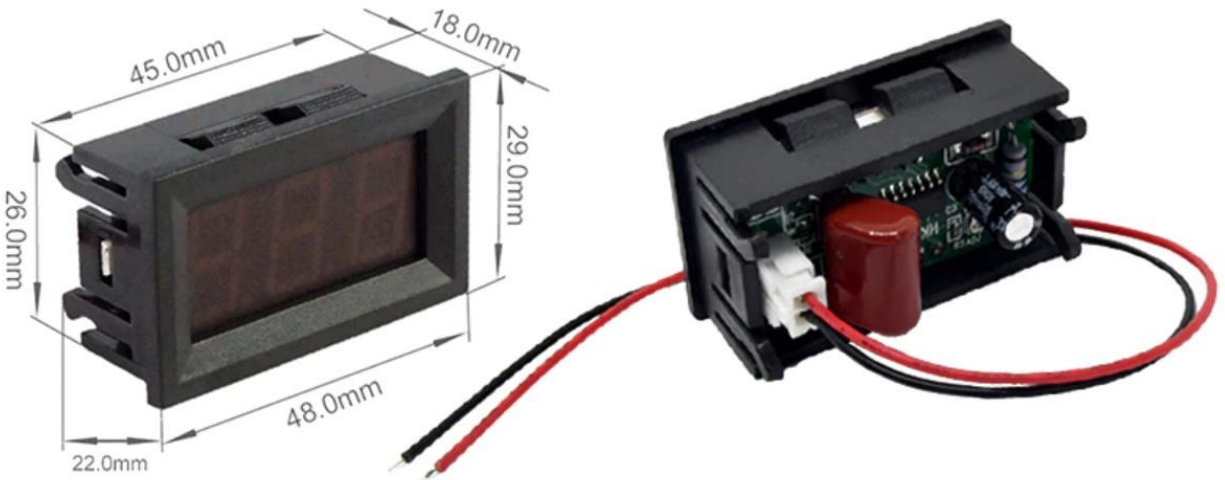
Slika 31. Količina energije u odnosu na napon ICR18650-22P članka [39]

Vidljivo na grafu energija dostupna u ćeliji pleše ovisno o snazi koju izvlačimo iz ćelije. Cijeli baterijski sustav efektivno ima 12 ćelija u paraleli. Najviša snaga od 600 [W] koja će se izvlačit zahtjeva od jedne ćelije 2[A] ($2[A] \times 12 = 24[A]$; $24A \times 25.2V$ nom. napon = 604.8[W]). U tom slučaju graf kaže da je dostupna energija 7.4[Wh] ili 2.044[Ah]. U takvom scenariju 4.2[V] je 100% SOC dok 3.65[V] je već nekih 50% SOC (stanje napunjenosti) a 3.3[V] uzimamo kao donju granicu i određujemo ju za 0% SOC.

Sustav se sastoji od 7 članaka u seriji te 100% SOC-a iznosi 29.4[V], 75% je 27[V], 25.3[V] uzimamo kao naponsku razinu 50% SOC-a, dok 24.5[V] je granica nakon koje računamo da nam je preostala četvrtina dostupne energije baterijskog sustav.

Voltmetar koji sam odabrao je u malenom PVC kućištu. Elektronika se nalazi na poleđini sa žicama plusa i minusa, također posjeduje mali potencijometar za kalibraciju vrijednosti.

Naličje uređaja je LED 7 segmentni troznamenasti zaslon. Na plus žici je zalemljeno tipkalo iz starog miša i zalijepljeno na kućište zaslona, to je dodano kao prekidač da LED display nije stalno upaljen, već po potrebi. Voltmetar je spojen direktno na glavni napon sustava (25.2[V]) preko osigurača, DC-DC 19.5[V] pretvarača za laptop pošto je to najbliži osigurač u kutiji.



Slika 32. Izgled LCD voltmetra [40]

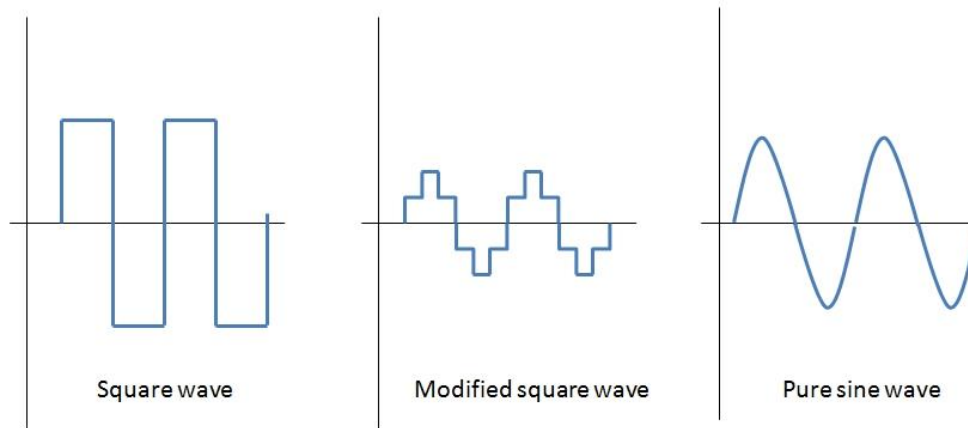
2.4. DC-AC Pretvarač (eng. Inverter)

Kućanski uređaji u našim domovima su dizajnirani za rad na izmjeničnoj struji (AC). Nasuprot električna energija dostupna od uređaja poput solarnih panela i baterija nudi samo istosmjerni napon, Stoga ako želimo napajati električne uređaje iz obnovljivih izvora dapače auta i kamiona potreban nam je pretvarač.

Pretvarač (eng. Inverter) je energetska elektronička uređaj ili sklop koji mijenja istosmjerni na izmjenični napon. Dobivena izmjenična frekvencija ovisi o određenom uređaju koji se koristi. Pretvarači rade suprotno od ispravljača, elektroničkih uređaja koji pretvaraju izmjenični u istosmjerni napon (punjači razne potrošačke elektronike).

Ulazni napon, izlazni napon i frekvencija i općenito upravljanje snagom ovise o dizajnu određenog uređaja ili sklopa. Primjerice 12[V] pretvarač u ponudi za osobne automobile, 24[V] za kamione te ostali višeg napona inverteri za solarne sustave. Pretvarač ne proizvodi nikakvu snagu već je istosmjerni izvor taj koji osigurava napon.

2.4.1. Vrste pretvarača



Slika 33. Prikaz signala tri podskupine pretvarača [41]

Na tržištu potrošačke elektronike postoje tri vrste pretvarača.

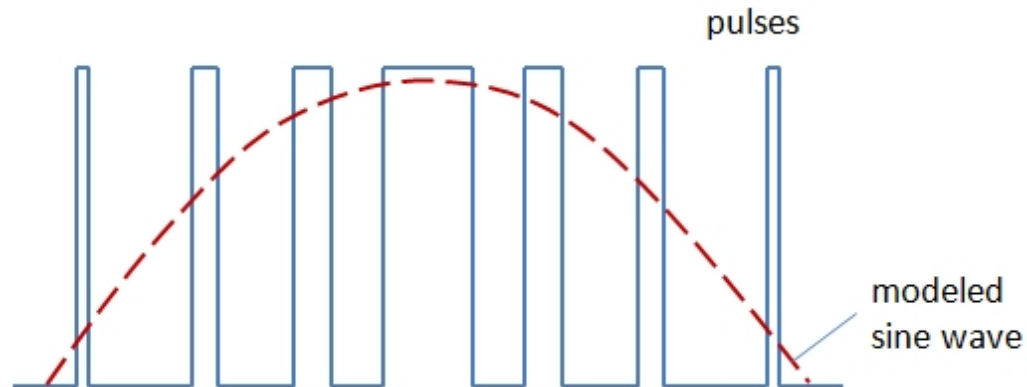
Najjednostavniji dizajn je svakako pretvarač kvadratnog vala (eng. Square wave), koji se koristi isključivo za neke omske potrošače/trošila. Ova vrsta izmjeničnog naponskog izvora nije vrlo učinkovita i može čak biti štetna za neka trošila (pogotovo induktivna trošila). Dakle, kvadratni val može se dalje modificirati pomoću sofisticiranijih pretvarača za proizvodnju modificiranog kvadratnog vala ili sinusnog vala.

Da bi se dobio modificirani izlaz sinusnog vala, u pretvaraču se može koristiti regulacija valnog oblika niske frekvencije. Ova značajka omogućuje podešavanje trajanja izmjeničnih kvadratnih impulsa, također postoje mjesta između pozitivnih i negativnih polu ciklusa na izlazu. Isto tako, ovdje se koriste transformatori za promjenu izlaznog napona. Kombinacija impulsa različite duljine i napona rezultira više stupanjskim modificiranim kvadratnim valom, koji se usko podudara s oblikom sinusnog vala.

Sadašnje tržište pretvarača prolazi kroz prelazak s tradicionalnog modificiranog pretvarača sinusnog vala na pretvarač čistog sinusnog vala zbog prednosti koje ovi pretvarači nude.

Za proizvodnju čistog sinusnog naponskog izlaza (vala) koriste se visokofrekventni pretvarači. Ovi pretvarači koriste metodu modifikacije širine impulsa (eng. Pulse width modulation) što je prebacivanje struje na visokoj frekvenciji i za različita vremenska razdoblja. Na primjer, vrlo uski (kratki) impulsi simuliraju situaciju s niskim naponom, a široki (dugi impulsi) simuliraju visoki napon.

Također, ova metoda omogućuje variranje impulsa u razmaku (razmicanjem uskih impulsa jednih od drugih simulira se niski napon).[42]



Slika 34. Prikaz PWM (pulse width modulation) metode [43]

2.4.2 Odabrani pretvarač čistog sinusa 800[W] (RBP-800S-LED)



Slika 35. Izgled odabranog pretvarača čistog sinusa [44]

Odabran je pretvarač snage 800[W] od proizvođača „Yueqing Reliable electric Company,LTD.“, naziv modela „RBP-800S“. U odabir je dolazio samo čisti sinus (eng. Pure sine wave) što je ovaj model pretvarača zadovoljavao. Nazivna snaga pretvarača od 800[W] pretežno je odabrana zbog snižene cijene u trenutku kupovine, tako da se kupovina 500[W] modela nije činila kao dobra kupnja zbog marginalno povoljnije cijene. S obzirom da je pravilo kod pretvarača da se ne eksploatira više

od 80% nazivne snage samog pretvarača to nas ostavlja sa približno 650[W], što je i više nego dovoljno za ovaj projekt, te nam daje dosta komfora kod eksploatacije ovog baterijskog sustava.

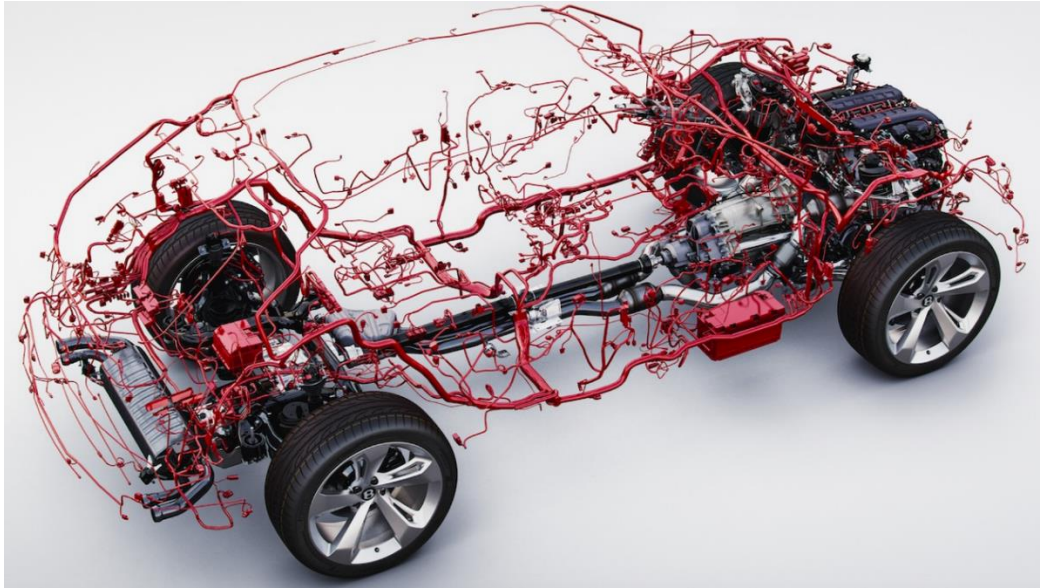
Specifikacije pretvarača: [45]

1. Veličina 240*175*95[mm]
2. Masa 2.38[kg]
3. Radni napon 21-30[V]
4. Izlazni napon i frekvencija 230[V], 50[Hz]
5. Deklarirana učinkovitost > 90%
6. Kontinuirana eksploatacija 800[W]
7. Visokonaponska zaštita 30.5[V], niskonaponska zaštita 19.5[V]
8. Aktivno hlađenje ventilatorom nakon 45 celzijusa
9. Zaštita od preopterećivanja (gašenje izlaza)
10. Ugrađena 2x osigurača (20[A]) ulaza
11. Ukupno harmonijsko izobličenje manje od 5%

2.5. DC naponski regulator

Sva elektronika u upotrebi ima u svojim specifikacijama zadani napon rada, većinom je to uski raspon napona. U slučaju izmjenične struje napon kućanstva u Europi je 230[V] no ono nije isti napon na kojem se ta energija doprema do stambenih jedinica. Ona je u „transportu“ daleko veća, to se radi zbog povećanja efikasnosti u transportu električne energije. Naravno pri konzumaciji u kućanstvima ona se spušta transformatorskim stanicama na 230[V]. Takva ista logika vrijedi i za istosmjernu struju kao i za elektroničke sklopove koji koriste istu za svoj izvor energije. Dakle zbog efikasnosti želimo imat sustav sa razumno visokim naponom.

Da je automobilska industrija dogovorila standard od 24[V] umjesto od 12[V] koje se trenutno koriste u osobnim automobilima mogli bi srezati troškove na bakru potrebnom za kabliranje i ožičenje automobila gotovo za duplo (sadašnji prosjek je negdje oko 65 [kg]) . Svijet nije idealan pa tako ni implementacija novih tehnologija u primjeni pogotovo elektronicu. Zbog raznih standarda sigurnosti što opravdanih a što zbog ustaljenih normi koje se nedovoljno brzo prilagođavaju novim promjenama imamo široku lepezu raznih standarda napona za različite uređaje/tehnologije koji koriste DC napon.



Slika 36. Količina kabliranja u prosječnom automobilu može iznositi i preko 60 [kg] [46]

Ono što je u ovome radu određeno kao poseban izvor je izlaz od 19.5[V] za laptop, 12[V] utičnica (2x) za većinu automobilske elektronike već prisutne na tržištu te „Quick charge 3.0“ USB A izlazi za direktno punjenje (4x). Izlaz za laptop (19.5 V) je odabran iz razloga što je zamišljeno da će se većinu vremena pored punjenja mobitela baterija koristiti i za napajanje laptopa. Isto tako ima i dosta monitora i televizora koji se napajaju sa istosmjernim 19[V] naponom.

Implementacijom DC-DC pretvornika izbačena je potreba za nošenjem invertera koji je poprilično glomazan, izostavljen je iz kućišta baterijskog sustava te se može dograditi naknadno kao vanjski segment. Isto tako važno za napomenuti je da su DC-DC pretvornici korišteni u prijenosnim elektroničkim uređajima kao što su laptopi, mobiteli te slični uređaji napajani baterijama. Takvi prijenosni uređaji u sebi sadrže razne naponske razine pojedinih modula (segmenti) od kojih su sačinjeni.

Ti moduli su gotovo uvijek manji od naponskih izvora bilo da su napajani utičnicom ili baterijom. Većina silaznih ili uzlaznih DC-DC pretvornika regulira izlazni napon te ga drži stabilnim neovisno o svom baterijskom fluktuirajućem naponu. Uzet ćemo za primjer procesor osobnog računala. Napon na konektoru za procesor koje napajanje pruža je 12[V] no sam procesor radi na naponu od 1.1[V] pa sve do 1.5 [V], razlog tome je što bi 12[V] bilo previše za tako sitnu elektroniku gdje se veličine tranzistora kreću do čak 7[nm]. DC-DC prekidački silazni pretvornik (eng. DC-DC switching buck converter) se brine za dovod stabilnog i čistog napona samom procesoru. Takva regulacija dobave snage procesorima se zove VRM (eng. Voltage regulator module). Općenito DC-DC prekidački pretvarači bilo da su silazni ili uzlazni su u osnovi sačinjeni od MOSFET-a, zavojnice (prigušnice), kondenzatora i diode te se razlikuju jedino u rasporedu istih. [47]



Slika 37. Raspored VRM-a kod matične ploče osobnog računala (eng. Choke = hrv. zavojnica) [48]

2.5.1. 24 [V] u 12 [V] DC-DC prekidački silazni pretvarač

12 [V] napon zbog auto industrije i olovne sekundarne baterije je vjerojatno najrasprostranjeniji što se tiče upotrebe . Na stotine različitih električnih uređaja postoji sa upaljač utikačem za korištenje u osobnim automobilima. Zbog tolike sveprisutnosti ona je morala biti dio i ovog baterijskog sustava. Pošto baterija u sustavu dostavlja energiju između 29.4 – 23 [V] takav napon bi oštetio uređaje dizajnirane za rad na naponu do 14 [V] koliko otprilike još mogu tolerirat uređaji dizajnirani za 12[V].

Za spuštanje napona nije dolazio u obzir linearni regulator napona iz razloga što su poznati po svojoj velikoj neučinkovitosti, znaju bit učinkoviti do nekih 45% u najgorem slučaju što u ovakvoj primjeni nema smisla pošto se radi o bateriji i želimo razbacivanje nepotrebne energije na toplinu svesti na minimum.

Izabran je jedino logičan kandidat. „Switching“ DC-DC silazni pretvarač (eng. Buck converter/step down regulator). Već spomenut ranije ovakav tip pretvarača u svojoj osnovi koristi kombinaciju prekidača (MOSFET-a), zavojnice, kondenzatora i diode (ispravljački stupanj) te ostalih komponenti koji sačinjavaju „regulacijski dio“ (to je povratna veza koja komparira izlazni napon sa ulaznim) da bi ostavrio što efikasniju pretvorbu višeg DC napona u niži DC napon.

Silazni DC regulator proizvela je kineska kompanija „Daygreen“, ista nudi dobar omjer uloženog i dobivenog. Ima više od 20 godina dugu tradiciju izrade naponskih regulatora i pretvornika.

Sam silazno naponski modul je težine 45 [g], širine 41[mm], duljine 75[mm] i debljine 18[mm].



Slika 38. Izgled „DN121“ DC-DC silaznog naponskog regulatora

Specifikacija proizvođača nalaže da je raspon ulaznog napona za „DN121“ silazni naponski regulator 35[V] maksimalno i 15[V] minimalno. U takav širok radni ulazni napon savršeno odgovara napon baterije moga sustava 23-29.4[V]. DC naponski regulator ima deklariranu maksimalnu izlaznu struju od 10[A] što u slučaju odabranih 12[V] napona daje snagu do 120 [W], za potrebe auto-upaljač utičnice i više nego dovoljno!

Ulazna struja na 24[V] napona je maksimalno ($120/24$) približno 5[A] (ovisno o naponu baterije koja fluktuiru od 23-29.4 [V]). S tom spoznajom odabir žice za dovod napona u regulator je jednostavan jer na korištenoj žici od 3.3 [mm²] (žica kojom je spajana gornja polovica kućišta baterije gdje se nalazi DN121) pad napona na 30 [cm] udaljenosti od paralelnog baterijskog „mosta“ iznosi 0.016 %, što je dakako zanemarivo.

Zbog sigurnosti samog regulatora postavljen je jedan auto osigurač od 10[A] na ulazni + pol regulatora.

Efikasnost DC silaznih regulatora (eng. DC buck converter) je odličnih 90% i više, iako specifikacija proizvođača deklarira 95%, sama efikasnost ovisi i o struji koju „vučemo“ iz regulatora gdje je najslabija efikasnost kod nižih snaga koje vučemo iz silaznog DC regulatora. No svakako ovakva tehnologija je višestruko efikasnija od korištenja linearnog naponskog regulatora.



Slika 39. Utičnica automobil upaljača spojena na izlazu DN121 silaznog naponskog regulatora

2.5.2. 24[V] na 19.5[V] „XL4016“ DC-DC PWM prekidački silazni naponski regulator (eng. Buck converter)

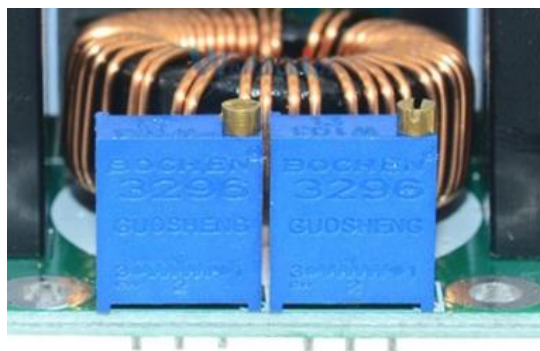
Kako bi napajali laptop koji radi na 19.5[V] naponu opet odabiremo DC-DC prekidački konverter silaznog tipa (eng. „Buck converter“). Ovaj puta pri ruci smo imali promjenjivi tip silaznog naponskog regulatora. Cijeli elektronički sklop je izgrađen oko „XL4016“ silaznog regulatora, promjenjivost izlaznog napona mu omogućuje varijabilni otpornik „3296W-103-ND“. Efikasnost prekidačkog silaznog regulatora iznosi između 90-96%, što ovisi o jakosti snage koju vučemo iz njega. Najefikasniji je kod eksploatacije od 80% svoga maksimuma. Frekvencija prekidačkog sklopa iznosi 180 [khz]. Ugrađena je termalna zaštita koja odspaja regulator iz rada nakon premašenih 80 stupnjeva, također implementirana je i zaštita od kratkog spoja izlaza.



Slika 40. Izgled DC-DC silaznog prekidačkog naponskog regulatora [49]

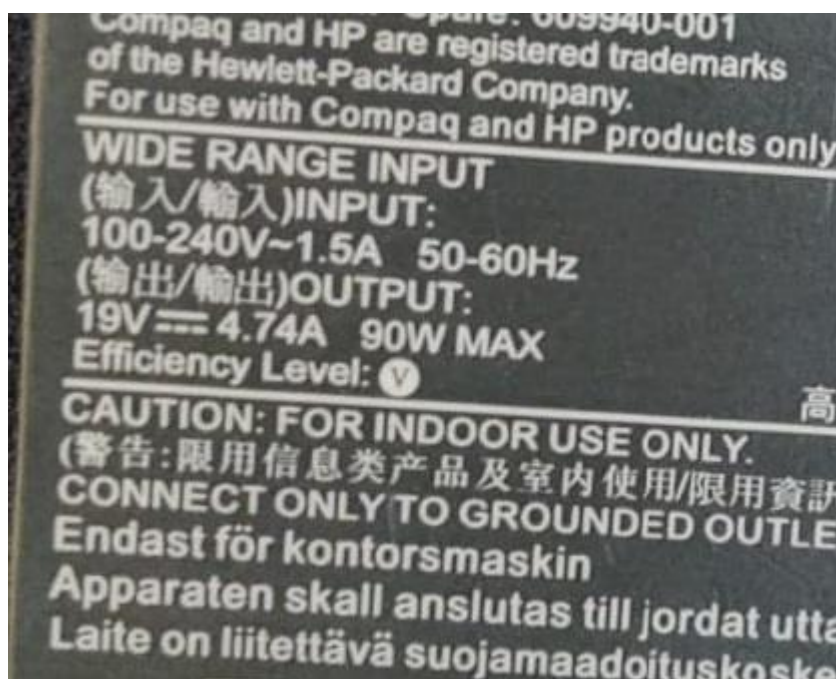
Gabariti su $45[mm] \times 65[mm] \times 24[mm]$, masa oko $100 [g]$.

Radni ulazni napon DC silaznog regulatora je $5-40[V]$, kojeg spušta do $1.2-35[V]$, skoro pa idealno za potrebe ovog baterijskog sustava. Izlazni napon smo namjestili okretanjem varijabilnog otpornika u smjeru suprotnom od kazaljke na satu dok nismo dobili željenu voltažu od $19.6[V]$ (namjerno je ostavljeno malo više od potrebne). DC regulator posjeduje takva dva varijabilna otpornika, jedan za izlazni napon a drugi za ograničavanje maksimalne izlazne struje regulatora (konačne snage). [50]



Slika 41. Varijabilni otpornici DC-DC silaznog regulatora [51]

Prijenosna računala ne vuku više snage nego što njihov pretvarač izmjeničnog napona iz mreže može dostaviti. Obično je to oko 5[A] maksimalno, češće i manje baš zbog toga drugi varijabilni otpornik je namješten da može dati maksimalno 5[A] na izlazu.



Slika 42. Deklaracija laptop punjača snage 90 [W]

Ono što je bitno napomenuti je da se sam silazni prekidački regulator do 100[W] grije umjereno i da su mu za hlađenje dovoljni pasivni hladnjaci koji dolaze sa njim. Za jače od 100 [W] snage potrebno je ugraditi ventilator koji bi aktivno hladio sam regulator.

2.5.3. „USB A“ Quick charge 3.0 modul

Teško je zamisliti jednu prijenosnu bateriju bez mogućnosti punjenja osobnih pametnih telefona. Sveopća raširenost ovakve „USB A“ vrste konektora za punjenje elektroničkih uređaja ostavlja ovaj dio baterijskog sustava u radu kao onim i najbitnijim, s obzirom da je primarna svrha zamišljena tako da opskrbi jedno društvo na kampiranju više dana odvojenih od električne mreže. Za ovaj prijenosni baterijski sustav zamišljeno je 4 USB utora, svaki do maksimalnih 24 [W] snage te je za taj posao odabran prekidački silazni konverter „MH-KC24“.



Slika 43. Izgled jednog MH-KC24 modula [52]

Ovakav jedan „USB A“ modul podržava 6 raznih protokola „brzog punjenja“ raznih proizvođača pametnih telefona. Što nam daje odličnu kompatibilnost. Među njima svakako najučestalije implementirana tehnologija brzog punjenja, „Quick charge 3.0“ protokol.

Specifikacije „MH-KC24“ modula: [53]

Bazni napon utora 5[V]

Izlazna snaga: 24[W] (5V/3.4A, 9V/2.5A, 12V/2A, i slično)

Efikasnost spuštanja napona: 90% - 97%

Radni ulazni napon 6-32[V]

Zaštita od visokog ili niskog napona na ulazu

Implementirana termalna zaštita

2.6. Solarni panel

Postoji više tipova tehnologije solarnih ćelija, no najučestalije te one najdostupnije potrošačima su monokristalni i polikristalni tip. Razlikuju se u efikasnosti gdje je monokristalna efikasnija a samim time i skuplja. Za ovaj rad odabran je solarni panel monokristalnog tipa, maksimalne snage 40[W], tvrtke „SOLE“. Zbog omjera cijene i snage bio je najprikladniji za svrhu nadopunjavanja baterijskog sustava. Sve i da ne daje deklariranih 40[W] bit će dosta da se kroz 5-6 sati napuni dovoljno energije za gledanje filma na LCD TV-u ili nadopunu potrošene energije tokom dana. Panel je širine 40 [cm] i duljine 80 [cm], mase približno 2 [kg].



Sole® Was die Welt Braucht. **JETZT**

Module SL 40AA 36

Leerlaufspannung (V_{oc}): 23.4V
Kurzschlussstrom (I_{sc}): 2.18A
Spannung bei Maximalleistung (V_{mpp}): 19.4V
Strom bei Maximalleistung (I_{mpp}): 2.07A
Max. Systemspannung: DC1000V

- Deutsche Qualitätsstandards
- Sole Plus - Sortierung
- IEC 61215 - IEC 61730

25 - Jahre lineare Leistungsgarantie und auf
10 - Jahre erweiterte Produktgewährleistung

 **Warnung vor Stromschlag**

   www.sole-energy.eu

△ STC(AM1.5, 1000W/m², 25°C)

Slika 44. Specifikacije solarnog panela

2.7. Punjač snage 90[W], AC-DC ispravljač

Za potrebe punjenja baterije odabran je obični svakidašnji AC-DC prekidački ispravljač korišten originalno za napajanje laptopa HP proizvodnje, na čiji je kraj zalemljen „XT60“ konektor. Obzirom na to da imamo solarni regulator koji ne radi razliku između stabilnog DC ulaza i varijabilnog DC izvora/ulaza iz solarnog panela (varijabilnost su padovi i usponi uzrokovani prisustvom oblaka i sjena) bilo je logično i iskoristiti tu odličnu pogodnost. Iako primarna uloga cijelog baterijskog sustava jest dulja autonomija koja je produljena sunčevom energijom što odlično dođe u slučajevima kampinga udaljenim od infrastrukture, isto tako poželjna je mogućnost punjenja i doma.

Specifikacije: 19[V], 4.74[A], 90[W], razred djelotvornosti V (iznad 85%)

Jako je bitno da se kod programiranja solarnog regulatora namjesti vrijednost ulaza kao što je izlazna vrijednost punjača korištenog za punjenje. Sam AC-DC ispravljač koristi tehnologiju „prekidanja“,tzv. prekidačka napajanja. Takva napajanja za razliku od linearnih koji koriste pasivne komponente, transformator, greatzov spoj i ostale popratne pasivne komponente, koriste MOSFET-e koji visokom frekvencijom prekidaju ulazni napon i na taj način zamjenjuju transformator. Takva vrsta ispravljanja se zove „PWM“ (pulse width modulation) i te je to najrasprostranjenija metoda korištena u ispravljačima današnjice. Isto tako vrlo je efikasna pa lako prelazi preko 80% efikasnosti ispravljanja napona.



Slika 45. Izgled punjača korištenog za punjenje baterije

3. Konstrukcija

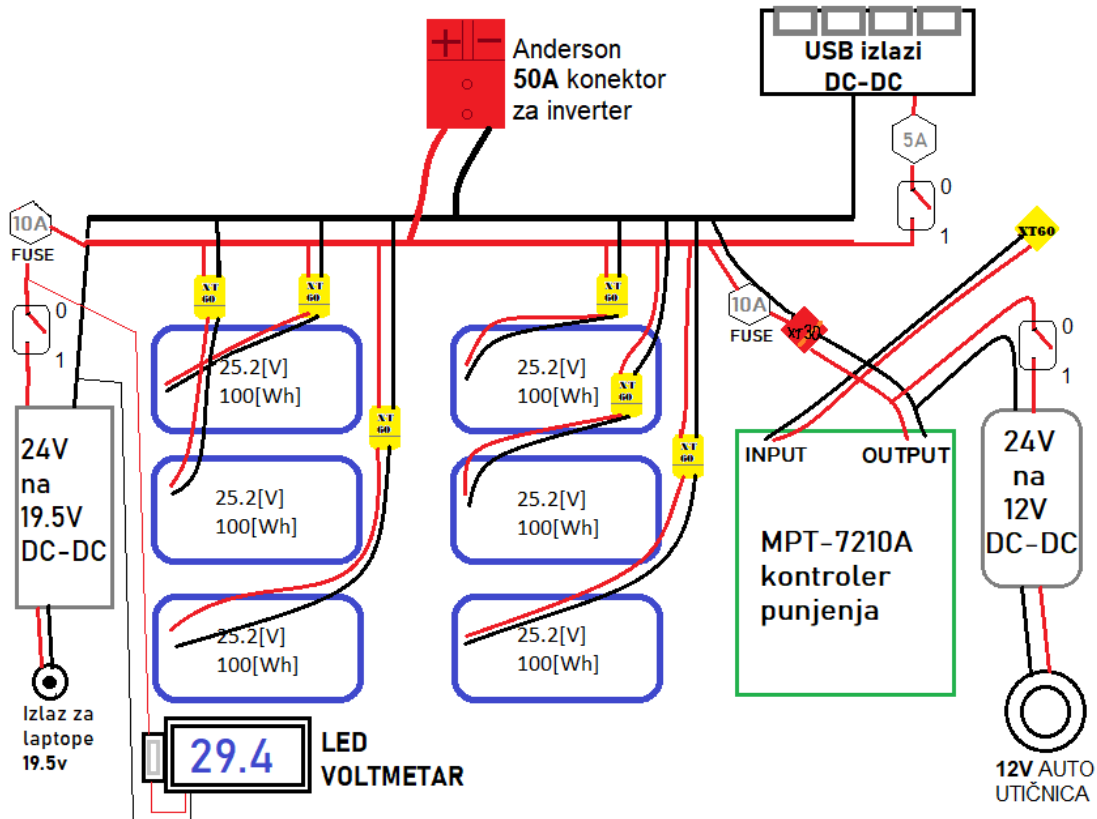
Za kućište sustava sam odabrao PVC ambalažno kućište brusilice. Posjeduje točne dimenzije koje mogu zaprimiti sve potrebne dijelove baterijskog sustava te ima dršku za nošenje i čvrste dvije kopče. Dimenzije kutije 35x25x10[cm]. Masa cijelog sustava je 4.8 [kg]. Za sve vanjske priključke potrebno je bilo izbušiti rupe a za prostor unutar kutije sam odrezao svu nepotrebnu geometriju koja je bila u otisku brusilice.



Slika 48. Kućište baterijskog sustava



Slika 49. Pogled unutar kućišta



Slika 46. Unutarnja shema spojeva baterijskog sustava

Stavljeni su osigurači na sve DC-DC pretvarače, kao i prekidači. LED voltmetar se aktivira pritiskom na tipkalo zalijepljeno na njega. Ulaz u kontroler punjenja je ženski „XT60“ konektor dok su muški krajevi na izlazu solarnog panela i AC-DC pretvarača (punjač od laptopa). Silazni DC-DC pretvarač za laptop napon 19.5 [V] ima lagan pristup odvijačem na potencijometar zadužen za namještanje izlaznog napona, to je zgodno ako naiđem na potrošač koji je manji od trenutno spomenutih napona. MPT-7210A kontroler punjenja je spojen „XT30“ konektorom radi lakšeg odvajanja sustava na dijelove. Anderson utikač je zalemljen na sredini paralelnog mosta baterijskog sustava kako bi se struja ravnomjerno rasporedila kod izvlačenja više ampera pomoću vanjskog invertera. Inverter je odabran kao vanjska jedinica baš iz razloga jer bi cijeli sustav sa njim integriranim bio preglomazan za prenošenje a već svi najčešće korišteni naponi su integrirani u samo kućište baterijskog sustava. Mnogo je pažnje posvećeno kvalitetnom lemljenju žica kako bi se izbjegli gubici.

4. MJERENJA

4.1. Mjerenje karakteristika ICR18650-22P ćelije

Pošto samo na raspolaganju imali 7 baterijskih modula jedan je „žrtvovan“ te rastavljen da bi mogli izvršiti mjerenja na dva nasumična uzorka „18650“ članka. Pomoću uređaja za „punjenje-pražnjenje“ više vrsta sekundarnih baterija, uređaja imena „IMAX B6 Mini“. Često korišten među hobistima, operatorima dronova, autića na daljinsku kontrolu. Ima pregršt opcija no najkorisnija je punjenje i pražnjenje te točno iščitavanje kapaciteta ćelije kao i dovoljno precizno očitavanje unutarnjeg otpora (impedancije) testnog uzorka.



Slika 47. Imax B6 mini, balansni punjač do 6 članaka u seriji

Pražnjenje prve ćelije pri struji od 1[A] je trajalo 2h i 15 min. Ćelija je pražnjena od početnih 4.19 [V] sve do 3.1[V]. Nakon što smo ćeliju pustili da se „dobije“ prikazivala je vrijednost napona od 3.29 [V] što se smatra krajnjim granicama nekog korisnog kapaciteta za ovu kemiju koju koristimo. Izmjereni unutarnji otpor iznosi 58 [mΩ]. Rezultat od 2.145 [Ah] je svakako dobar znak, on govori da ćelija sadrži 99,8 % deklariranog kapaciteta, za prvu ćeliju jako dobro!



Slika 48. Vrijeme pražnjenja i vrijednost izmjerenog kapaciteta prvog uzorka



Slika 49. Preostali napon u ćeliji nakon pražnjenja

Druga ćelija također pri struji od 1[A] pražnjenja, trajalo je 2h 14min. Početna voltaža 4.17 [V]. Krajnja voltaža kod prekida testa 3.1[V]. Nakon testa izmjerena voltaža ćelije 3.28[V]. Unutarnji otpor iznosi 68 [mΩ]. Izmjereni kapacitet od 2.092 [Ah] nije kao u prvom slučaju ali 97.3 % izvornog kapaciteta je svakako i više nego prihvatljivo.



Slika 50. Vrijeme pražnjenja i vrijednost izmjerenog kapaciteta drugog uzorka

Kao što je i pretpostavljeno iako su ćelije stajale nekorištene više od 5 godina na njihov kapacitet nije previše utjecalo vrijeme. U drugu ruku unutarnji otpor je nažalost porastao, te premašuje 35 [mΩ] tvornički zadanih za ovu bateriju.

Što to znači ? To znači da iako imamo deklariranu vrijednost maksimalne struje pražnjenja ove “ICR 18650-22P” ćelije od 10 [A] kontinuirano, ona neće više dati isti kapacitet.

Dogodit će se to da će zbog skoro duplog povećanja unutarnjeg otpora biti smanjen kapacitet pri većim strujama pražnjenja poput deklariranih 10 [A] zbog disipacije snage u toplinu već u samom tijelu baterijskog članka/ćelije. U takvim slučajevima kapacitet opada za do čak 10 % od deklariranog pri struji pražnjenja od 10[A].

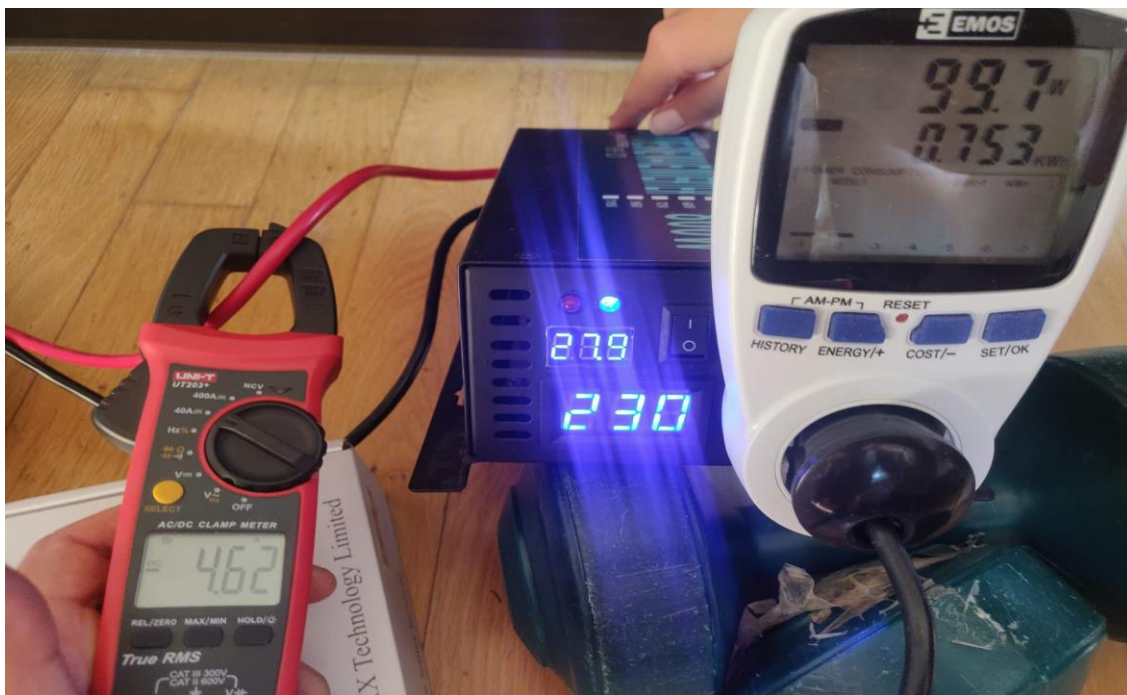
Zbog spoznaje da je moja konfiguracija efektivno sa 12 članaka u paraleli, 7 u seriji. Za maksimalnu snagu od 800[W] koliko treba inverter, $800 [w] / 25.2 [V] = 31,74 [A]$. Što znači da cijeli sustav od 12 članaka u paraleli mora dat 31.74 [A] a svaki članak $31,74 / 12 = 2.64 [A]$. Pri takvoj struji pražnjenja baterija će dati svojih 95 % kapaciteta, a to je približno 2050 [mAh].

Kalkulacija je izvršena za slučaj da su ćelije 68 [mΩ]. Što nije sigurno slučaj kod svih. No daje nam uvid u činjenicu da prolaskom vremena pri jačim napreznjima baterije imamo manji kapacitet.

Zaključak bi bio da će baterija imati najveći kapacitet kod najslabijih snaga/struja pražnjenja, a da će prilikom eksploatacije inverterom koji može povući i do 800 [W] snage taj kapacitet bit bliži 600 [Wh] i to sve u najgoroj pretpostavci da su sve ćelije poduplale svoj unutarnji otpor sa deklariranih 35 [mΩ].

4.2. Mjerenje djelotvornost invertera

Iako u specifikacijama proizvođača stoji djelotvornost od preko 90% u praksi to dosta ovisi o teretu koji je spojen na izlaz invertera. Uz pomoć mjerača snage za šuko utičnicu koji na LCD ekranu prikazuje trenutnu snagu koja se čupa iz utičnice, strujnih kliješta i voltmetra ugrađenog u inverteru možemo dovoljno precizno izračunati djelotvornost invertera ovisno o stupnju opterećenosti. Za ovo



Slika 51. Mjerenje djelotvornosti invertera, 100[W] tereta

mjerenje koristio sam isključivo omske (rezistivne) otpore poput: lemilice, pegle za kosu, tostera, plazma televizora te naposljetku štedne ploče za kuhanje. Pošto na taj način imam konstantan otpor koji ne fluktuiru (sitna fluktuacija snage kod televizora ovisno o sceni koja se prikazuje, svjetlija scena više troši, tamnija manje).

Tablica 2. Izmjerena djelotvornost invertera

Izlazna snaga[W] prikazana na mjeraču spojenom na izlaz pretvarača	Napon ulaza u pretvarač[V]	Struja izvora [A]	Djelotvornost η
54	28.3	2.389	0.798
99.7	27.9	4.62	0.773
155	27.8	5.575	0.813
213	27.6	9.19	0.844
381	27.3	15.989	0.872
482	27.1	19.98	0.894
614	26.9	25.05	0.913

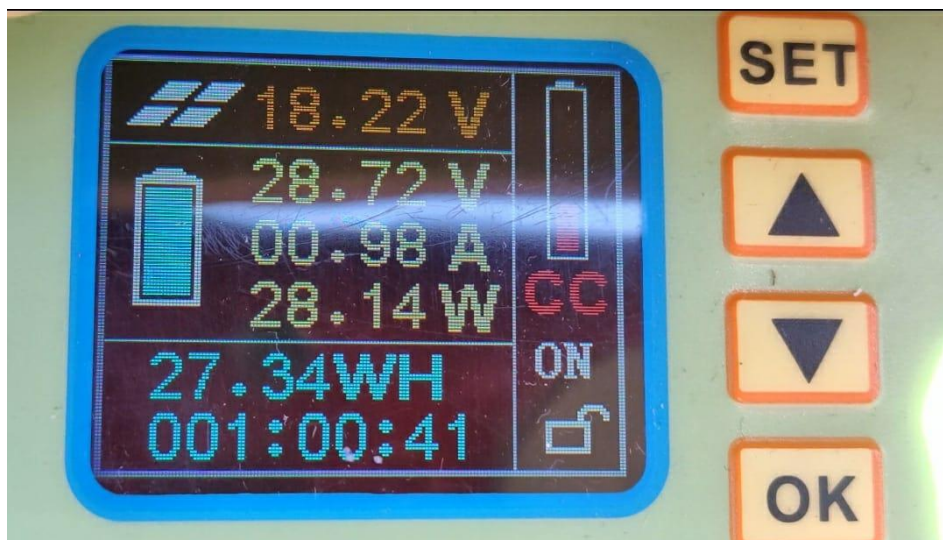
Mjerenje je pokazalo da nije za vjerovat deklaracijama ne renomiranih proizvođača, no s obzirom da je „Reliable electric 800[W] pure sine wave inverter“ koštao 89 € zajedno sa poštarinom dok takvih specifikacija od primjerice „Victron“ proizvođača koji se smatra jednim od kvalitetnijih proizvođača, inverter imena „Phoenix 24|800VA“ košta 230 € bez poštarine. Naravno da je riječ o drugim karakteristikama koje su bolje, poput kvalitetnijih rješenja u slučaju kratkog spoja potrošača, djelotvornost s obzirom na cijenu jako dobra, uz činjenicu da je inverter čistog sinusnog valnog oblika.

4.3. Mjerenje izlazne snage solarnog panela

Mjerenje je izvršeno u prvom tjednu Rujna od 11:30 do 12:30. Solarni panel je bio namješten okomito na zrake sunca pomoću sjene drvene olovke oslonjene bazom na površinu panela te je nakon 30 minuta punjenja lagano zamaknut prema zapadu. Kako je Sunce odmicalo tako je i pokrivena baterija kartonom da ne biva nepotrebno grijana.



Slika 52. Pozicija cijelog sustava na livadi

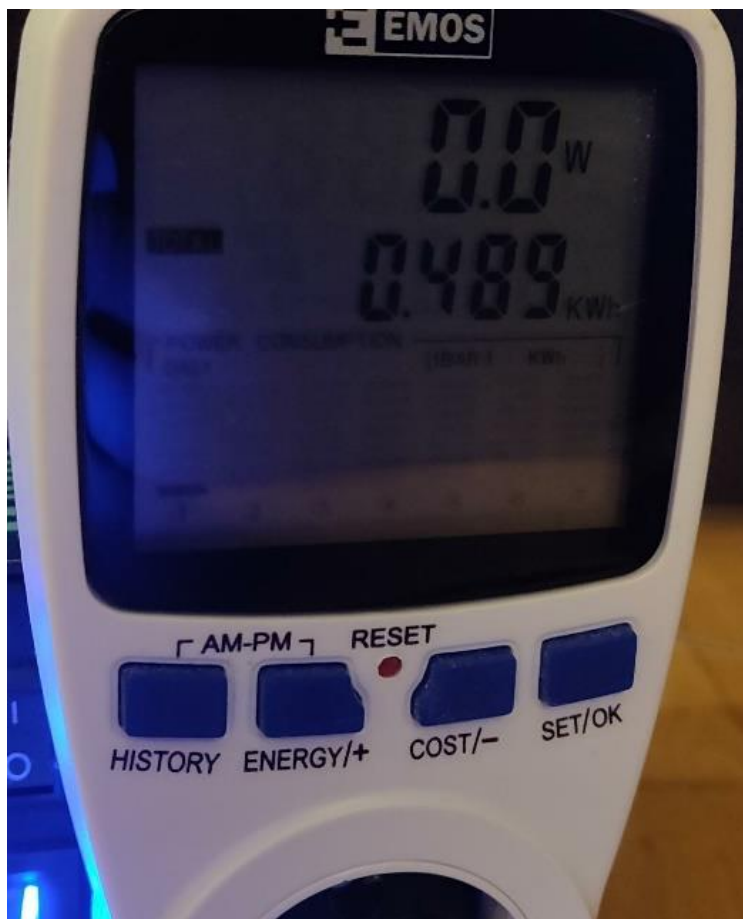


Slika 53. Vrijednosti solarnog punjenja na LCD-u kontrolera

Unatoč više pokušaja namještanja ploče okomito na sunčeve zrake, snaga punjenja nije prelazila 29 [W]. Što ispada da je 72% deklarirane vrijednosti. Nakon što su namješteni svi parametri na kontroleru za solarni panel i spremljeni isti u memoriju, test punjenja je počeo. Kroz 60 minuta punjenja u bateriju je ušlo 27.34 [Wh]. Vođeni tom spoznajom zaključujemo da kroz 5 sati punjenja baterija može zaprimiti i više od 120[Wh] energije, što bi u svakom slučaju jednoj grupi na kampiranju bilo i više nego dosta. Svakako ne bi bilo loše imat automatizirani sustav koji imitira suncokret na kojem bi bila pričvršćena solarna ploča, kako ne bi trebalo s vremena na vrijeme intervenirat radi hvatanja okomice na solarni panel, što je jedna od mogućnosti poboljšanja sustava.

4.4. Mjerenje kapaciteta baterijskog sustava

S obzirom da smo izmjerili djelotvornost invertera raznim potrošačima, odlučeno je iskoristiti baš inverter čistog sinusa kao posrednika u mjerenju kapaciteta cijelog sustava. Na njega se spojio mjerač potrošnje/snage iz jednofazne utičnice koji uredno bilježi količinu izvučenih [kWh] te ih prikazuje na svom LCD zaslonu. Za potrošač sam odabrao plazma TV od 82 [cm] koji je potraživao od 138-162 [W] snage. Potražnja snage je ovisila o sceni koja se prikazivala na televizijskom programu. Baterija je napunjena na 29.3[V] sa AC-DC pretvaračem iz mreže. Nakon cca 3.5[h] spojenog televizora, inverter je zapištao i isključio se. To je indiciralo da je ukupan napon sustava pao ispod 19.5[V] granice nakon koje se inverter gasi. Nakon prestanka tereta baterijski sustav se „povratio“ na razinu iznad 2.8[V] po ćelijama, što je više od 19.5[V] u ukupnom zbroju „7s“ sustava te se inverter upalio. Točnije kad se teret odspojio nakon 5 minuta od prestanka pražnjenja napon sustava je iznosio 22.2[V]. Da se opet televizor upalio on bi se zasigurno ugasio jer bi teret opet spustio razinu napona sustava ispod 19.5[V]. Taj povrat napona je bio dovoljan da uspijemo upaliti pretvarač te uslikati potrošenu energiju na LCD zaslonu mjeritelja potrošnje iz utičnice. Djelotvornost invertera na teretu od cca 150[W] je iznosila 0.813. Aproximaciju kapaciteta bat. sustava dobivamo dijeljenjem zabilježene potrošene energije sa faktorom djelotvornosti, $489[\text{Wh}] / 0.813 = 601.47 [\text{Wh}]$.



Slika 54. Količina energije od 489[Wh] nakon jednog ciklusa pražnjenja baterijskog sustava kroz inverter istosmjernog napona

5. Zaključak

Iako je test uzoraka (ćelija) izvađenih iz modula pokazao da je energija jednog članka oko **7.6[Wh]** ($3.62V \cdot 2.1Ah$), pomnoživši to sa brojem članaka u paraleli kao i sa brojem serijskih spojeva dolazimo do brojke od **638.4 [Wh]** ($7.6 \cdot 12 \cdot 7 = 638.4$), što je **36[Wh]** više od onog što smo mi izmjerili na ukupnom sustavu (**601.47 [Wh]**).

To nam govori da je dovoljno da je jedna ćelija u cijelom sustavu manja od ostalih, te će sustav za zaštitu od prekomjernog pražnjenja odspojiti cijeli baterijski modul. Time se još više ističe pravilo da bilo koji sustav je onoliko jak koliko mu je to najslabija karika. Unatoč tome ovaj rezultat kapaciteta je vrlo dobar. Finaliziranjem ovog rada i uređaja ostvareni su prvotno zamišljeni planovi, gdje će se moći gledat utakmice, filmovi te općenito napojit relativno slabiji električni potrošač u mjestima gdje nema električne mreže.

Izrada ovog rada mi je znatno povećala znanje o baterijama i načinu dobivanja električne energije, te njenom skladištenju za upotrebu kasnije. Isto tako smatram da solarna energija svakako nudi ogroman potencijal u energetskej opskrbi. Također sam postao više svjestan o uređajima koje koristim, koliko troše, koliko su djelotvorni, možemo čak reći da je „wat sat“ [Wh] odlična „energetska valuta“ s kojom možemo kvantificirat naš ugljični otisak o kojem se toliko priča zbog žalosne činjenice da smo i dalje jako oslonjeni na fosilna goriva na bazi ugljikovodika.

LITERATURA

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Voltaic_pile#/media/File:VoltaBattery.JPG
- [2] [How Batteries Work - Battery electricity working principle - The Engineering Mindset - YouTube](#)
- [3] <https://industry.panasonic.eu/energy-building/batteries/battery-cells/primary-batteries>
- [4] <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/cnj-img/images/PN/PNmBQEP5iziN>
- [5] [What are the Different Types of Batteries? Primary, Rechargeable, Li-Ion \(electronicshub.org\)](#)
- [6] [nobel-640x400.jpg \(640×400\) \(timesofisrael.com\)](#) autor Niklas Elmehed
- [8] [10] [12] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/press-release/> © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences
- [9] [7] [11] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/press-release/>
- [13] https://www.smallbattery.company.org.uk/sbc_lip4wm.jpg
- [14] <https://siliconlightworks.com/li-ion-voltage>
- [15]-[23] [BU-205: Types of Lithium-ion - Battery University](#)
- [24] <https://www.amazon.com/ExpertPower-Rechargeable-2500-7000-lifetime-Applications/dp/B07X4Z8FML>
- [25] https://www.ednasia.com/wp-content/uploads/sites/3/2020/04/Lithium_fig3_1200x833.jpg
- [26] <https://xtremepowerusa.com/products/xtremepowerus-electric-self-balancing-hoverboard-scooter-24-volt>
- [27] <https://www.pcboard.ca/image/cache/catalog/products/connectors/xt60-regular/XT60-Male-Female-800x800.jpg>
- [28] <https://www.calculator.net/voltage-drop-calculator.html>
- [29] –[36] <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/mppt-solar-charge-controllers>
- [37] <https://ae01.alicdn.com/kf/H3a9904093f524016ad966b3245d72ce5E.jpg> AliExpress

- [38] <https://www.aliexpress.com/item/32658828823.html?spm=a2g0s.12269583.0.0.381c592ag3upFd>
- [39] [https://lygte-info.dk/review/batteries2012/Samsung ICR18650-22P 2200mAh %28Blue%29 UK.html](https://lygte-info.dk/review/batteries2012/Samsung%20ICR18650-22P%202200mAh%20%28Blue%29%20UK.html)
- [40] <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB17O1Bdrus3KVjSZKbq6xqkFXaw.jpg>
- [41] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/711> Mark Fedkin modified after Dunlop
- [41][42][43] [6.4. Inverters: principle of operation and parameters | EME 812: Utility Solar Power and Concentration \(psu.edu\)](#)
- [44][45] [800W Solar Inverter 24V 220V Pure Sine Wave Inverter Power Supply Transformer 12V/48V DC to 120V/230V/240V AC Voltage Converter|Inverters & Converters| - AliExpress](#)
- [46] <https://www.wirafe.com/global-auto-wiring-harness-market-outlook/>
- [47] [48] <https://www.maketecheasier.com/what-is-VRM/>
- [49] [50] [51] [300W XL4016 DC DC Max 9A Step Down Buck Converter 5 40V To 1.2 35V Adjustable Power Supply Module LED Driver for Arduino|buck converter|converter buckstep down dc-dc - AliExpress](#)
- [52] [53] [USB QC3.0 QC2.0 DC DC Buck Converter Charging Step Down Module 6 32V 9V 12V 24V to Fast Quick Charger Circuit Board 3V 5V 12V|Integrated Circuits| - AliExpress](#)

POPIS SLIKA

Slika 1. Voltin elektrostatički stup 1800. Godina [1]	3
Slika 2. Primjeri primarnih baterija na komercijalnom tržištu [3]	4
Slika 3. Olovni akumulator	5
Slika 4. NiMH Baterije za potrošačku elektroniku [4].....	5
Slika 5. John B Goodenough, M. Stanley Whittingham i Akira Yoshino (fot. Niklas Elmehed) [6]	6
Slika 6. Stanley Whittingham izvedba Li-ion baterije [8].....	6
Slika 7. John B. Goodenough verzija Li-ion baterije [10].....	7
Slika 8. Finalna izvedba od strane Akira Yoshina [12].....	7
Slika 9. Prva komercijalna Li-ion baterija za Sony mini-disc player 1991. godine [13]	8
Slika 12. Dva najčešća fizička formata litij ion baterije.....	9
<i>Slika 13. Performanse LCO katode [16]</i>	<i>10</i>
Slika 14. Performanse NMC katode [18]	10
Slika 15. Performanse NCA katode [20].....	11
Slika 17. Litij-ferit-fosfat ion baterija u formatu automobilske baterije [24].....	11
Slika 16. Performanse Litij fosfat katode[22]	11
Slika 18. Specifična energetska gustoća raznih vrsta katoda Li-iona kao i drugih sekundarnih baterija [25] 12	
Slika 19. 24[V] 350[W] Hoverboard čija je baterija korištena u ovom radu [26].....	13
Slika 20. Prikaz baterijskog modula korištenog u ovom radu.....	14
Slika 21. "ICR18650-22P" ćelija od koje je sačinjen baterijski modul.....	15
Slika 22. prikaz tiskane pločice korištenog sustava za upravljanje baterijskim modulom korištenim u radu..	17
Slika 23. Ženski i muški XT60 konektor [27]	19
Slika 24. 16 AWG oznaka na žici baterijskog modula.....	20
Slika 25. Žica korištena za izradu paralelnog mosta	20
Slika 26. Screenshot " Voltage Drop Calculatora za 800[W] eksploatacije baterijskog sustava [28].....	21
Slika 27. Osnovi "izvanmrežni" sustav koristi regulator solarnog punjenja [29].....	22
Slika 28. Primjer rada PWM solarnog regulatora [32].....	23
Slika 29. MPPT regulator punjenja u radu [34]	24
Slika 30. Usporedba dvaju vrsta regulatora solarnog punjenja [36].....	25
Slika 31. MPT-7210A solarni regulator [37]	26
Slika 32. Fizički gabariti solarnog regulatora [38].....	27
Slika 33. Količina energije u odnosu na napon ICR18650-22P članka [39].....	28
Slika 34. Izgled LCD voltmetra [40].....	29
Slika 35. Prikaz signala tri podskupine pretvarača [41]	30
Slika 36. Prikaz PWM (pulse width modulation) metode [43]	31
Slika 37. Izgled odabranog pretvarača čistog sinusa [44]	31
Slika 38. Količina kabliranja u prosječnom automobilu može iznositi i preko 60 [kg] [46].....	33
Slika 39. Raspored VRM-a kod matične ploče osobnog računala (eng. Choke = hrv. zavojnica) [48]	34
Slika 40. Izgled „DN121“ DC-DC silaznog naponskog regulatora	35
Slika 41. Utičnica automobil upaljača spojena na izlazu DN121 silaznog naponskog regulatora.....	36
Slika 42. Izgled DC-DC silaznog prekidačkog naponskog regulatora [49]	37
Slika 43. Varijabilni otpornici DC-DC silaznog regulatora [51].....	37
Slika 44. Deklaracija laptop punjača snage 90 [W]	38
Slika 45. Izgled jednog MH-KC24 modula [52].....	39
Slika 46. Specifikacije solarnog panela.....	40

Slika 47. Izgled punjača korištenog za punjenje baterije	41
Slika 50. Unutarnja shema spojeva baterijskog sustava	43
Slika 51. Imax B6 mini, balansni punjač do 6 članaka u seriji.....	44
Slika 52. Vrijeme pražnjenja i vrijednost izmjerenog kapaciteta prvog uzorka.....	44
Slika 53. Preostali napon u ćeliji nakon pražnjenja.....	45
Slika 54. Vrijeme pražnjenja i vrijednost izmjerenog kapaciteta drugog uzorka.....	45
Slika 55. Mjerenje djelotvornosti invertera, 100[W] tereta.....	46
Slika 56. Pozicija cijelog sustava na livadi	48
<i>Slika 57. Vrijednosti solarnog punjenja na LCD-u kontrolera</i>	<i>48</i>
Slika 58. Količina energije od 489[Wh] nakon jednog ciklusa pražnjenja baterijskog sustava kroz inverter istosmjernog napona.....	50

POPIS TABLICA

Tablica 1 Karakteristike ICR18650-22P članka	16
Tablica 2 Izmjerena djelotvornost invertera	47