

# SAMOGRADNJA ELEKTRIČNOG BIKIKLA

Mislav Selec

dipl.ing.elektrotehnike

## Sažetak

U ovom je radu opisan postupak samogradnje električnog bicikla, pri čemu je posebna pažnja posvećena pronalasku najpovoljnijeg rješenja koristeći lokalno dostupne komponente. Uz analizu potreba za brzinama i dometom korisnika provedeno je i ispitivanje pojedinih komponenata, te je sve zajedno ugrađeno i testirano u realnim uvjetima.

## Uvod

Iako su cijene baterija i dijelova za električna vozila unazad nekoliko godina drastično pale, komercijalni modeli koji imaju ugrađene litij ionske baterije su još uvijek relativno skupi. Zbog toga, ali i zbog osobnog zadovoljstva brojni se elektroničari hobisti odlučuju na izgradnju vlastitih električnih vozila. Prednost u ovakvom pristupu je da izrađeno vozilo ima ugrađene komponente koje zadovoljavaju dnevne potrebe, te su unutar financijskih mogućnosti investitora. U procesu projektiranja ovakvog vozila, potrebno je poznavati konfiguraciju terena, potreban domet po jednom punjenju, masu vozila i željenu brzinu kretanja.

Kod odabira pogonskog stroja u slučaju električnog bicikla, najčešće se koriste 2 izvedbe: tzv. Mid-drive motor i Hub motor prikazani na Slici 1. Mid-drive konfiguracija se ugrađuje na osovinu pedala, te se snaga zajedno sa snagom vozača preko lanca prenosi na zadnji kotač. Elektromotori koji se koriste u ovakvim pogonima mogu biti istosmjerni kolektorski ili beskolektorski sinkroni strojevi. Prednost ovakvog pogona je veći moment na nižim brzinama zbog korištenja prijenosa bicikla i niže težište, dok je nedostatak nemogućnost regenerativnog kočenja.

Hub motor je izvedba u kojoj se električni stroj ugrađuje u kotač (prednji ili stražnji), te se moment prenosi izravno na podlogu. Hub motori su najčešće beskolektorski istosmjerni motori s ugrađenim Hall-

ovim sondama za određivanje pozicije rotora. Prednost ovakvih pogona je ušteda prostora i mogućnost regenerativnog kočenja. Problem nastaje kod hub motora veće snage jer ukupna masa motora opterećuje samo zadnji kotač, te kod uspona gdje može doći do povećanog zagrijavanja.



Slika 1 Usporedba Mid drive i Hub drive pogona [1]

Najčešće korištene baterije su litij ionske ili litij željezo fosfatne (LiFePO4), koje za razliku od rjeđe korištenih olovnih baterija karakterizira velika gustoća energije po jedinici mase i volumena te mali unutarnji otpor koji dolazi do izražaja kod velikih struja pražnjenja. Baterija je građena od ćelija koje se povezuju u serijske i paralelne kombinacije radi dobivanja željenih napona i kapaciteta.

Pretvarači (tzv. kontroleri) koji istosmjerni napon baterije pretvaraju u trofazni izmjenični napon u slučaju beskolektorski motora mogu imati sinusni ili trapezni valni oblik napona. Također, mogu

podržavati regenerativno kočenje (dvosmjerni tok energije), tempomat, podnaponsku i nadstrujnu zaštitu i više stupnjeva ograničenja izlazne snage.

## Proračun i odabir komponenata

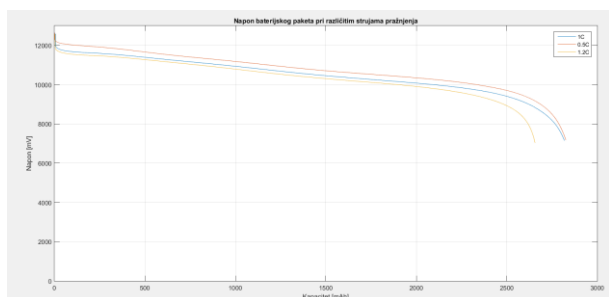
Kod odabira komponenti se kreće od zahtjeva korisnika, tj. željenog dometa i brzine uz određenu konfiguraciju terena. U ovom primjeru, željene karakteristike su domet od 30 km pri brzinama do 40 km/h uz nizinsku konfiguraciju terena.

Korištenjem online alata za proračun potrebne snage [2], dobiveni su potrebni iznosi snaga za željene brzine, kao i potreban kapacitet baterije za željeni domet prikazani u Tablici 1.

Tablica 1 Potrebna snaga i kapacitet baterije za željenu brzinu i domet

Brzina [km/h]	Željeni domet [km]	Potrebna snaga [W]	Kapacitet baterije [Wh]
15	30	99	197
25	30	233	280
35	30	472	404
40	30	644	483

Zbog jednostavnosti ugradnje i mogućnosti regenerativnog kočenja, odabran je hub motor snage 1kW ugrađen u stražnji kotač. S ovom snagom je moguće savladavati 3% uzbrdicu brzinom 40 km/h ili uzbrdicu nagiba 10% brzinom 23 km/h. Tip motora je BLDC (engl. Brushless DC) s ugrađenim Hall-ovim sondama za mjerenje kuta rotora.

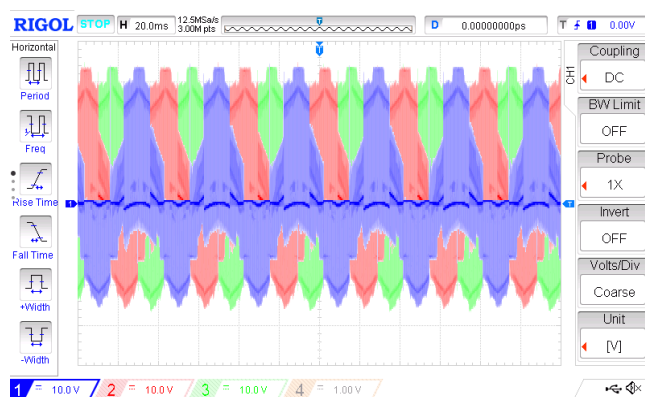


Slika 2 Snimljena krivulja pražnjenja 3 serijski spojene Panasonic NCR18650PF ćelije različitim strujama

Preporučeni napon baterije za elektromotor snage 1kW je 48V, pri čemu je struja motora 22A. Za pohranu izračunatih 483Wh energije je potrebno minimalno 10 Ah. Na temelju potrebne struje se odabire model ćelije, koji je u ovom slučaju

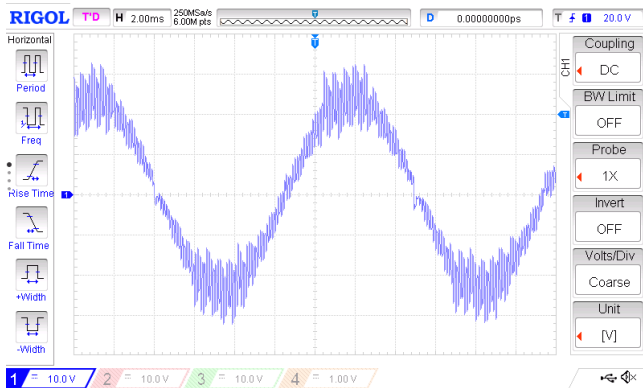
Panasonic NCR18650PF nazivnog kapaciteta 2800 mAh (približno 10Wh energije) i maksimalne struje 10A. Korišteno je ukupno 52 ćelije u konfiguraciji 13S4P (13 ćelija spojeno serijski, te 4 takve serije u paralelu) čime je ostvaren nazivni napon od 46.8V te kapacitet od 11.2 Ah, čime je ostvareno pohranjivanje 524 Wh energije. Kako se radi o litij ionskim baterijama koje su jako osjetljive na previsoke i preniske radne napone, potrebno je ugraditi sustav za zaštitu baterije (engl. Battery Management System, BMS) koji će osigurati da prilikom punjenja napon pojedine ćelije ne pređe 4.2V, niti kod pražnjenja ne padne ispod 2.5V. Korištenjem naprednijih sustava je moguće mijenjati napone praga punjenja i pražnjenja, pa je moguće uz smanjenje kapaciteta od 10% (4.1V do 3V) udvostručiti životni vijek baterije (Slika 2).

Korišten pretvarač ima maksimalnu struju baterije od 22A. Iako je bio namijenjen za 36V sistem, promjenom otpornika naponskog dijelila podnaponske zaštite je podešen za rad s 48V baterijom, pri čemu su ulazni kondenzatori i MOSFET-i ostali nepromijenjeni jer podržavaju napone do 60V. Uz opciju regenerativnog kočenja pri čemu je moguće dio energije vratiti u baterije i pritom smanjiti potrošnju kočnica, kontroler posjeduje opciju tempomata i ograničenja snage.

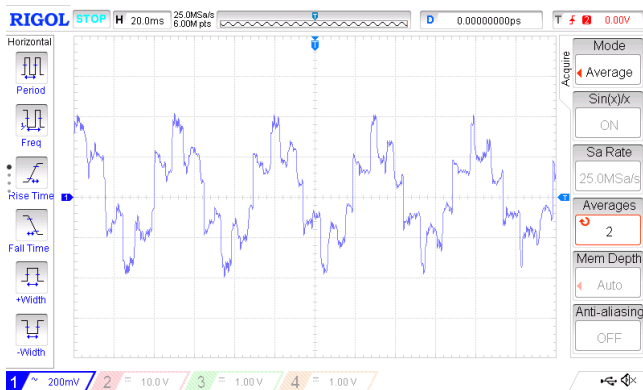


Slika 3 Snimljeni valni oblici napona na izlazu iz pretvarača

## Postupak ugradnje dijelova na bicikl



Slika 4 Filtrirani valni oblik napona jedne faze



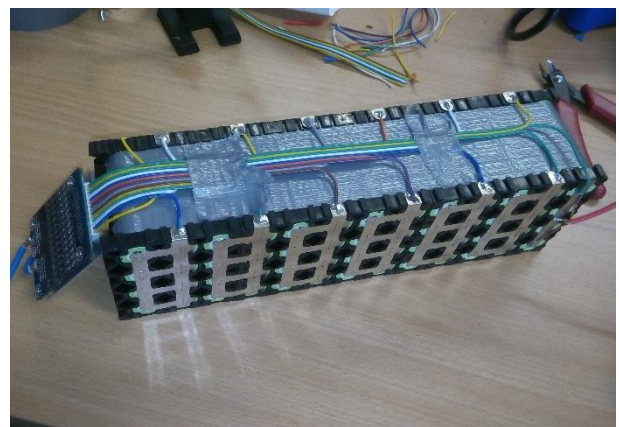
Slika 5 Valni oblik struje jedne faze u praznom hodu,  $R_S=0.1\Omega$



Slika 6 Hub motor 1kW, masa 6kg

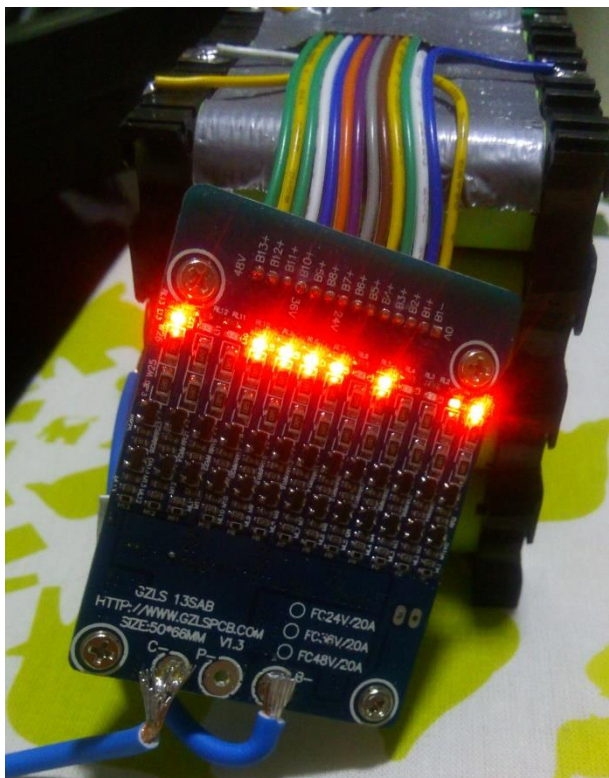


Slika 7 Ugradnja hub motora u kotač



Slika 8 Čelije povezane u baterijski paket s ugrađenim BMS-om





Slika 9 Završna faza punjenja - balansiranje (sve ćelije dostižu 4.2V)



Slika 12 Novi pretvarač, modificirani R10 i R11 za rad na 48V



Slika 10 Prva verzija bicikla s pretvaračem od 17A bez regenerativnog kočenja



Slika 11 Metalna kutija za bateriju



Slika 13 Tipke za aktivaciju tempomata i regenerativnog kočenja



Slika 14 Konačan izgled električnog bicikla (48V, 22A, 520Wh)

## Zaključak

Samogradnja električnog bicikla je veoma izazovan i poučan projekt. Uz osnovna znanja iz elektrotehnike kao što su proračuni potrebne snage i kapaciteta te prednosti pojedinih električnih strojeva i pretvarača, važno je i posjedovanje praktičnih vještina lemljenja, ugradnje i centriranja kotača za bicikl i rada s električnim alatima.

Treba voditi računa da se pravilno dimenzioniraju energetske kablove koji povezuju pretvarač s motorom i baterijama kako ne bi došlo do pregrijavanja i uništavanja izolacije istih, kao i o zaštitnim sustavima kojima je moguće prekinuti strujni krug između baterije i ostatka bicikla.

Bicikl na koji se ugrađuje elektromotorni pogon treba imati čvrstu konstrukciju, dobar ovjes (poželjno je korištenje rame s obje suspenzije) i disk kočnice većih promjera, jer se uslijed povećane mase samog vozila (dodatnih 10kg) narušava upravljivost.

## Literatura

- [1] <https://www.ebikingnow.com/articles/mid-drive-vs-hub-drive>
- [2] <http://www.apk.electricbikesimulator.com/index,en.html>
- [3] <http://e-vozila.com/forum/>