

SCHRACK i LFP baterije

Jednostavni Li-Ionski otočni sustavi

U jednom od ranijih nastavaka serije, u Majstoru 7-8 /2015., govorili smo o Li-ion baterijama koje se mogu primijeniti u svim otočnim fotonaponskim sustavima o kojima smo pisali u dosadašnjim nastavcima. Pritom je sasvim svejedno jesu li fotonaponski moduli postavljeni kao nepokretni, na krovu ili tlu, ili su pak na plovilu ili vozilu. Litij ionska baterija je primjenjiva i u fotonaponskim sustavima priključenim na javnu mrežu, za koje je predviđena i mogućnost pohrane energije, primarno radi odgođenog korištenja besplatne energije Sunca ili u područjima gdje je mreža nestabilna i nepouzdana. Dakako, Li-ion baterija je primjenjiva i u sustavima rezervnog (zamjenskog) besprekidnog napajanja, no ti uređaji nemaju izravne veze s fotonaponom...

Komercijalno dostupna litij ionska baterija (LiFePO_4 - litij-željezo-fosfat - skraćeno LFP baterija) ima moćnu gustoću spremljene energije od 120 Wh/kg, dok olovna baterija ima svega 40Wh/kg.

LFP baterija omogućuje od 2 do 4 puta veći broj ciklusa pražnjenja i punjenja u odnosu na olovnu bateriju.

U jednom pražnjenju LFP baterija može predati gotovo svu svoju energiju - bez opasnosti skraćenja životnog vijeka, dok se olovna baterija zbog očuvanja životnog vijeka smije prazniti samo do 50% kapaciteta. Da bi u svom životnom vijeku isporučile jednaku količinu energije kao i LFP baterija, olovne će baterije imati čak 20 puta veću masu!

Ako masa i volumen u nekim oblicima primjene ne predstavljaju veći problem,

onda bi nas od primjene olovnih baterija u novim projektima trebala odvratiti cijena. Jer, unatoč općem uvjerenju, točna usporedba olovnih i LFP baterija otkriva da su LFP baterije - jeftinije!

U spomenutom članku prošlog smo ljeta objavili ilustraciju koja tu tvrdnju čini sasvim razumljivom (DOLJE).

Moglo bi se reći da smo tom slikom razriješili dilemu o ekonomičnosti primjene LFP baterija. Postavlja se pritom i sasvim logično pitanje - jesmo li dovoljno bogati da i dalje kupujemo olovne baterije za naše sustave?

Napon osnovne ćelije LFP baterije je 3,6 V.

Spajanjem 4 ćelije u seriju dobiva se nazivni napon baterija od 12,8 V, a spajanjem 8 ćelija u seriju baterija dobiva nazivnih 25,6 V.

Li-ion baterije su osjetljive na pretjerano pražnjenje i prepunjavanje

Spusti li se napon na ćeliji ispod 2,5 V, što u osnovnoj bateriji s 4 ćelije znači da je napon ispod 10 V, u većini slučajeva to će nepovratno razoriti ćeliju.

Nakon toga može se jedino pokušati „oživljavanje“ takve ćelije punjenjem malom strujom od 0,1C, no ishod nije zajamčen...

Isto će se dogoditi ako napon na ćeliji preraste 4,2 V, što u osnovnoj bateriji daje ukupni napon od 16,8 V. Taj previsoki napon na ćeliji je posebno opasan, jer konačnici može izazvati eksploziju. Važno je znati da se u procesu punjenja ne događa nikakvo automatsko samoujednačavanje ćelija, jer ni ćelije koje izlaze iz proizvodnje nisu međusobno nikad apsolutno jednake. Moguće je da se u nekom nizu jedna ćelija prepuni - pa i uništi - iako je napon punjenja za cijelu bateriju u zadanim granicama.

Stoga LFP baterije **moraju imati nadzor stanja baš svih ćelija**, uz mogućnost ujednačavanja i prilagodbe na svakoj ćeliji posebno.

Time će tijekom punjenja svaka ćelija stalno biti u granicama dozvoljenog napona, a one „brže“ usporit će punjenje i „pričekati“ „sporije“ u procesu punjenja. Na kraju punjenja u svim bi ćelijama morao biti jednaki napon.

Osim pri maksimalnom naponu punjenja, podjednako treba kontrolirati ćelije i u procesu pražnjenja.

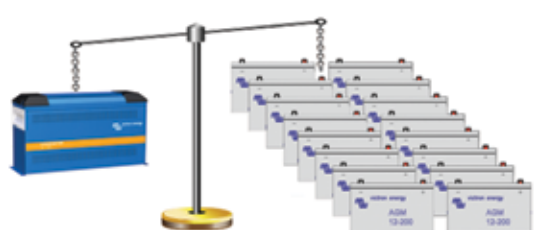
Zaprijeti li opasnost da u nekoj ćeliji napon padne ispod dozvoljenog, trošila se moraju odspojiti. To se može dogoditi i tijekom dugotrajnog priključenja nekog malog i naoko nevažnog trošila.

Zaštita LFP baterija

Kad je riječ o nadzoru ćelija, u praksi se LFP baterije pojavljuju s dvije vrste zaštite, kako ih prikazuje slika 2.

- **Baterija ima ugrađeni uređaj za ujednačavanje stanja ćelija (engl. cell balancing).** To je baterija bez priključka na vanjski sustav za nadzor stanja baterija (engl. battery management system, skraćeno - BMS). Smije se primjenjivati jedino kao samostalni izvor napajanja, pod uvjetom da se tijekom rada ne očekuju duboka pražnjenja, ili ako je za zaštitu od dubokog pražnjenja postavljen dodatni sklop za zaštitu baterije koji u slučaju prejakog pražnjenja trenutno

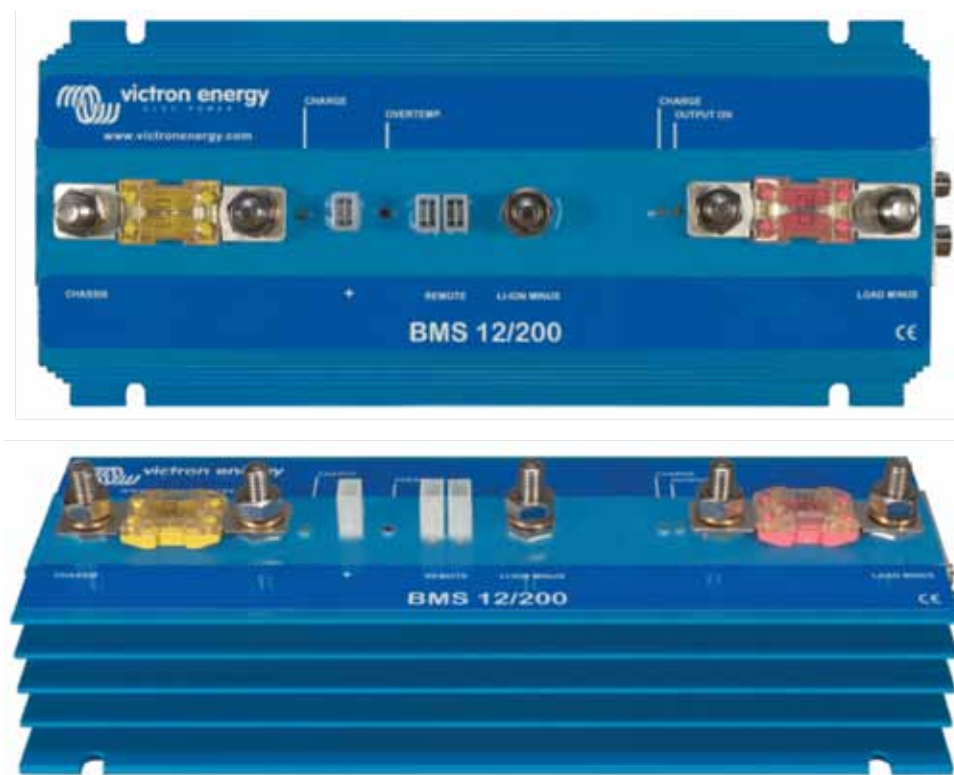
Slika 1.: Usporedba Li-ion baterije i olovne baterije jednakih kapaciteta za pohranu energije koju mogu predati trošilima. Lijevo je Li-ionska baterija, a desno olovne baterije s jednakim brojem ampersati.



Li-ion 24V 180 Ah	Tip	16 x AGM 12 V 180 Ah C20
4,7 kWh	C20 – 0,05C	5,2 kWh
4,7 kWh	C10 – 0,1C	4,0 kWh
4,7 kWh	C1 - 1C	3,4 kWh
55 kg	masa	1040 kg
99%	efikasnost punjenja	75%
>2000	ciklusi	< 2000
€ 5000	cijena	€ 7760



Slika 2.: LFP baterija s ugrađenim uređajem za ujednačavanje stanja u pojedinim ćelijama (lijevo) i baterija s priključkom na dodatni vanjski sustav nadzora baterije (BMS).



Slika 3.: BMS12/200 sustav za nadzor stanja LFP baterija.

odspaja trošila (engl. *battery protect*).

Naime, izmjenjivač koji je spojen na bateriju, kontinuirano i neprimjetno troši bateriju čak i kad radi u pričuvnom modu (engl. *standby*). Bez uređaja za zaštitu od dubokog pražnjenja, takvim kontinuiranim crpljenjem struje na kraju će izmjenjivač bateriju uništiti, što u primjeni Li-lonskih baterija nije bezopasno... Takve baterije nisu podobne za spajanje ni u seriju ni u paralelu!

● Baterija ima ugrađeni uređaj za ujednačavanje stanja ćelija, ali i dodatnu mogućnost za dojavu o naponu i temperaturi svake ćelije prema vanjskom sustavu za nadzor baterije (BMS).

Taj sustav za nadzor stanja baterije

odspojiti će teret čim se neka ćelija ispraznila do 2,5 V, ili pak zaustaviti punjenje čim neka ćelija dosegne 4,2 V. Također, premaši li temperatura u nekoj ćeliji 50°C sustav će zaustaviti bilo punjenje, bilo pražnjenje.

Takve se baterije mogu spajati i u seriju do 4 komada (sustav od 51,2 V), ali i u paralelu do 10 komada.

S njima je moguće oblikovati tzv. *banku* s naponom od 51,2 V i kapacitetom do 2000 Ah. Osim energetske priključke, takve baterije imaju i informacijske priključke za vezu sa sustavom za nadzor baterija (BMS).

Slika 3. prikazuje jedan takav nadzorni sustav, BMS12/200.

Sustav ima dva energetska priključka:

● AB priključak (engl. *alternator-battery*) prikazan na slici 4 i

● LB priključak (engl. *load-battery*) prikazan na slici 5.

AB priključak mora spriječiti pražnjenje starter baterije prema LFP bateriji ili DC i AC trošilima. Tu funkciju upoznali smo već u ranijim dijelovima serije u opisu *Cyrix releja* za povezivanje baterija. Sve je postavljeno tako da struja iz alternatora može teći samo prema LFP bateriji - ali samo u slučaju da je napon na starter bateriji viši od 13 V.

Istodobno, struja iz LFP baterije ne može teći prema starter bateriji, čime se LFP baterija zaštićuje od pražnjenja u starter bateriju.

Previsoki ulazni vrhovi napona u prijelaznim fazama rada alternatora prilagođeni su LFP bateriji spuštanjem na dozvoljenu razinu. Struja punjenja LFP baterije iz alternatora se ograničena je elektronički na razinu od 80% primijenjenog osigurača na AB ulazu.

Pritom osigurač na AB ulazu služi i kao mjerni otpornik!

Osigurač od 50 A ograničit će struju punjenja iz alternatora na 40 A. Maksimalno dozvoljeni osigurač je 100 A, što ograničava struju punjenja LFP baterije na 80 A.

Izbor ispravnog osigurača na AB priključku zaštitit će LFP bateriju od prevelike struje punjenja (što je važno za LFP baterije malog kapaciteta!).

Ako su LFP baterije velikog kapaciteta, osigurač na AB ulazu zaštitit će i alternator od preopterećenja. Jer, rade li duže od 15 minuta na svojoj maksimalnoj struji, većina alternatora će pregorjeti.

Također, osiguračem na AB ulazu štiti se i instalacija od preopterećenja, pregrijavanja i taljenja kabelskog izolatora.

Struja punjenja iz alternatora dodatno se ograničuje na sigurnu razinu i u slučaju neujednačenog stanja ćelija ili previsoke temperature u ćelijama.

Tanki crni vodiči na shemi prikazuju spoj informacijskog kabela preko kojega BMS dobiva informacije o pojedinim ćelijama priključenih baterija.

U paralelu se može spojiti najviše 10 baterija.

Umjesto alternatora, na AB ulaz može se priključiti i poseban punjač baterija.

LB priključak BMS12/200 sustava za nadzor LFP baterija može provoditi do 200 A, trajno i u oba smjera.

To znači da se preko LB priključka LFP baterija može i puniti i prazniti.

Najviša razina struje pražnjenja LFP baterije preko LB priključka elektronički je ograničena na 400 A.

Osigurač na LB priključku (do 200 A)

fotonapon (17)

određuje se prema trošilima, odnosno presjeku priključnog kabela trošila.

Pražnjenje baterije preko trošila obustavlja se u trenutku kada napon najslabije ćelije padne ispod 3 V.

Struja punjenja preko LB priključka održava se na sigurnoj razini čak i u slučaju da premaši očekivanu razinu neujednačenosti ćelija ili u slučaju previsoke temperature u nekoj ćeliji.

Važno je primijetiti da minus pol LFP baterije nije spojen na masu. Ako trošila na 12 V DC koriste masu kao vodič, onda se LFP baterija spaja s DC/DC pretvaračem 12V/12V koji mora imati galvansko odvajanje ulaza od izlaza.

Izlaz DC/DC pretvarača osigurava trošilima stabilan DC napon i njegov minus se smije spojiti na masu (slika 6).

Osim toga, BMS je spojen s masom samo na AB priključku.

U minus polu LFP baterije priključen je i nadzornik baterija koji smo često spominjali.

Također, BMS preko upravljačkog ulaza omogućuje i isklapanje trošila u sustavu. Ako su trošila na LB priključku isključena preko tog upravljačkog ulaza na BMS-u, LFP bateriju se može i dalje puniti preko LB priključka i preko AB priključka. Upravljački ulaz blokira dakle samo smjer struje iz baterije prema trošilima!

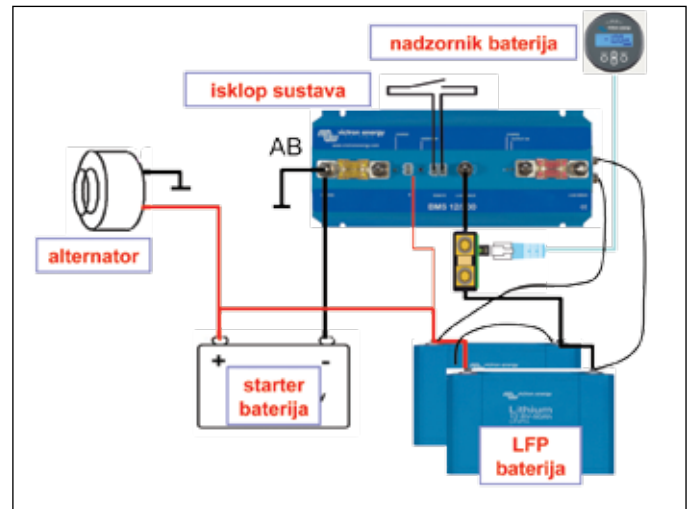
Punjenje LFP baterije je moguće čak i u slučaju da je sustav isključen i preko AB i preko LB priključka. Pritom jedino nije moguće pražnjenje LFP baterije preko trošila na LB priključku.

Na ovaj sustav moguće je priključiti MPPT 75/15 regulator punjenja - opisan ranije u ovoj seriji (sustav Micro 1).

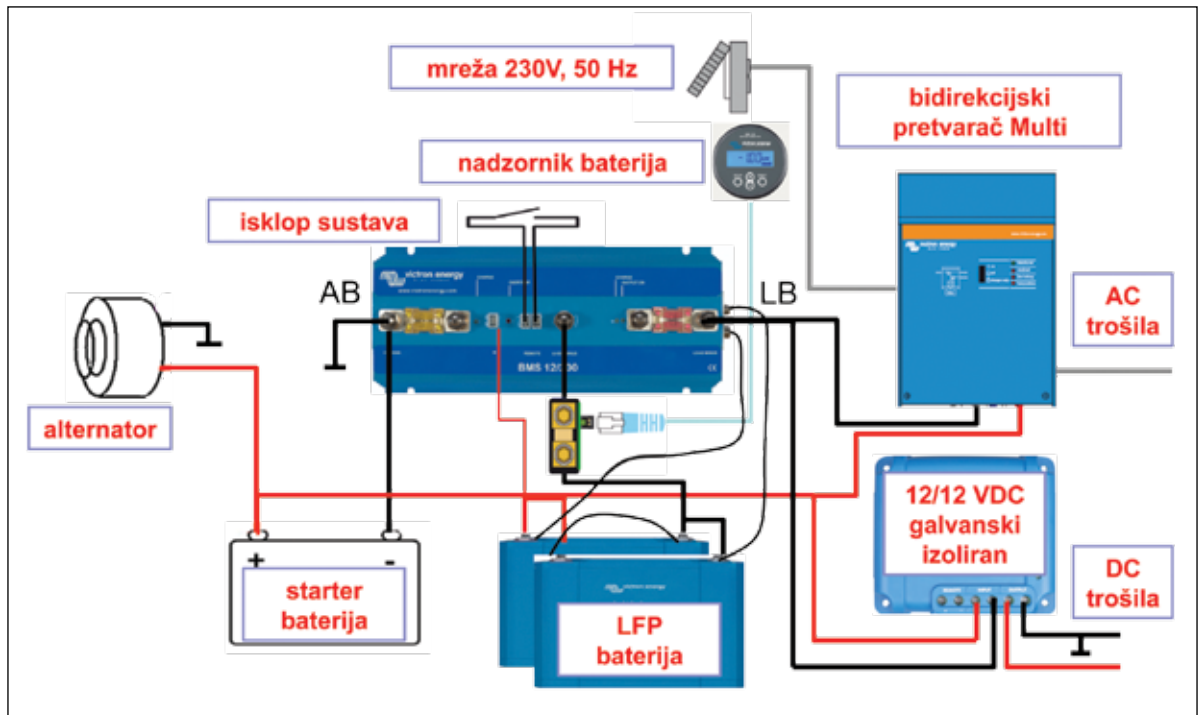
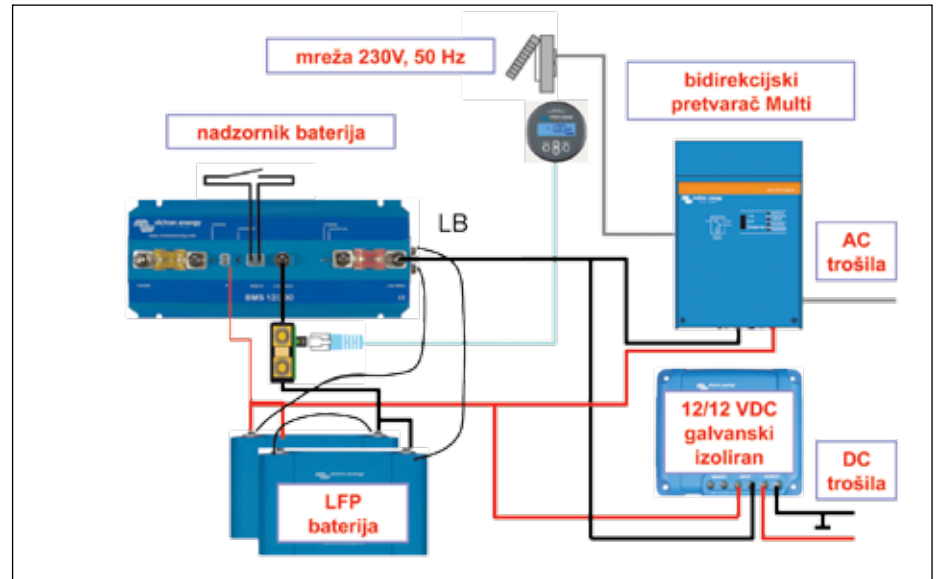
Kako to izgleda vidljivo je na slici 7.

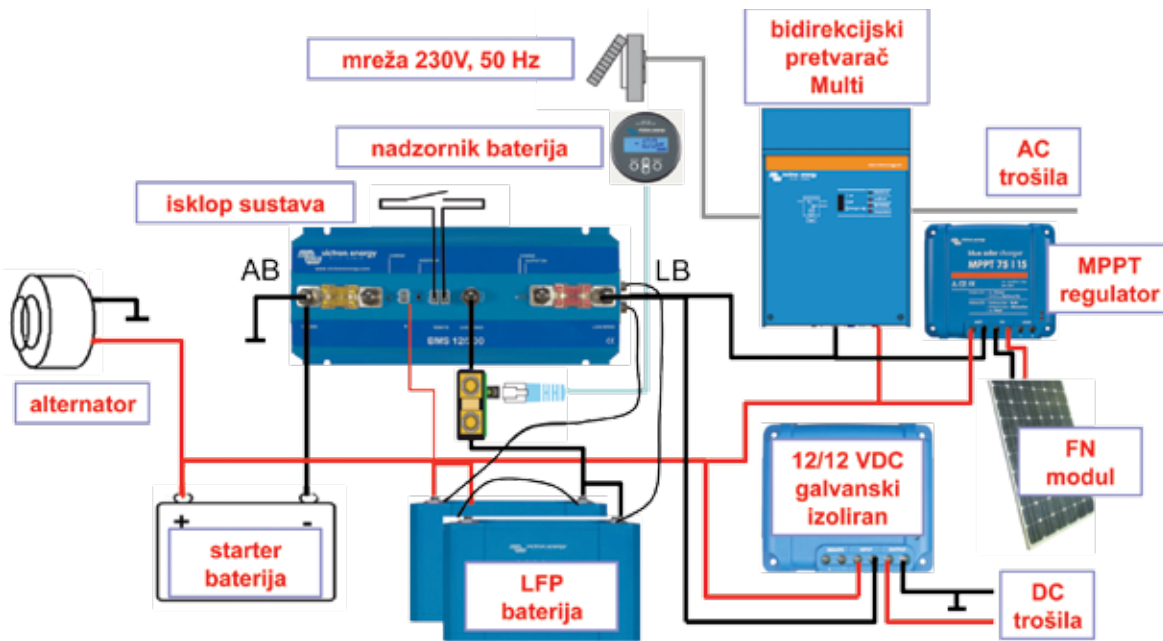
Slika 6.:
BMS12/200 sustav za nadzor stanja LFP baterija spojen s LFP baterijom, alternatorom, starter baterijom, DC trošilima, AC trošilima i mrežom.

Slika 4.:
AB priključak BMS12/200 sustava za nadzor stanja LFP baterija.



Slika 5.
LB priključak sustava BMS12/200 za nadzor stanja LFP baterija.





Slika 7.: Sustav BMS12/200 za nadzor stanja LFP baterija, spojen s LFP baterijom, alternatorom, starter baterijom, DC trošilima, AC trošilima, mrežom, MPPT regulatorom punjenja s fotonaponskim modulom... Regulator punjenja MPPT 75/15 ima ugrađen osigurač prema bateriji i vrlo se jednostavno priključuje.

Što može ovaj sustav? Sa strujom alternatora do maksimalno 80 A može se optimalno puniti baterija od 160 do 200 Ah. Preporučena struja punjenja LFP baterije od 200 Ah pod nadzorom BMS-a je do 100 A (manja je ili jednaka 0,5 C). To znači da se bateriju od 200 Ah može puniti s najviše 100A.

Preporučena struja pražnjenja za bateriju 200 Ah je najviše 200 A (1 C). Slijedom toga, na bateriju od 200 Ah možemo priključiti izmjenjivač snage do (približno) 2000 VA.

Pri dimenzioniranju izmjenjivača to je granična vrijednost snage za ovaj BMS i ona mora biti odgovarajuće manja ako se istodobno očekuje i snaga nekakve DC potrošnje.

LFP baterija od 200 Ah može se pod nadzorom BMS-a prazniti s 500 A vršno, što znači da gotovo i ne moramo voditi računa o trenutnoj struji pražnjenja.

Ipak, moramo voditi računa o kapacitetu baterije te pripaziti koliko će dugo naša trošila dobivati energiju pri projektiranoj trajnoj struji pražnjenja.

Punjenje baterije samo preko fotonaponskog (FN) modula od 250 Wp, u prosječnom će ljetnom danu bateriji dati oko 1 kWh energije.

Ako je u bateriji spremjeno oko 2,4 kWh, ovom bismo sustavu mogli po potrebi priključiti još jedan ili dva regulatora MPPT 75/15, svakog s njegovim FN modulom, čime bismo, teorijski, LFP bateriju mogli puniti gotovo isključivo fotonaponom.

No, taj jednostavni sustav ima i svoja ograničenja. Osnovno mu je ograničenje napon od svega 12,8 V što u ko-

načnom zbiru daje malu snagu cijelog sustava. Za veće sustave treba LFP baterije spojiti u seriju, čime dobivamo viši napon, ili, po potrebi, spojiti paralelno, čime dobivamo viši kapacitet.

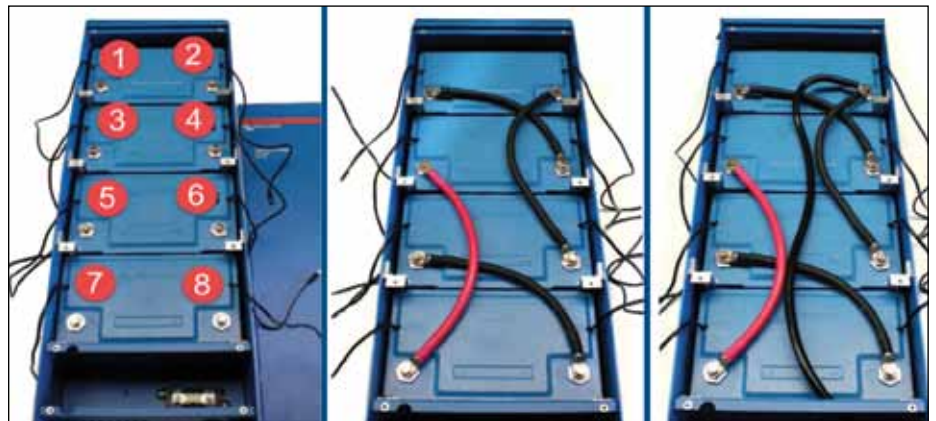
Kako je odluka o tome važna pri oblikovanju većih sustava, na primjeru ćemo upoznati načine spajanja baterija u baterijsku banku.

Na slici 8. je baterijski sustav od 24 V gdje su dvije baterije spojene serijski, a

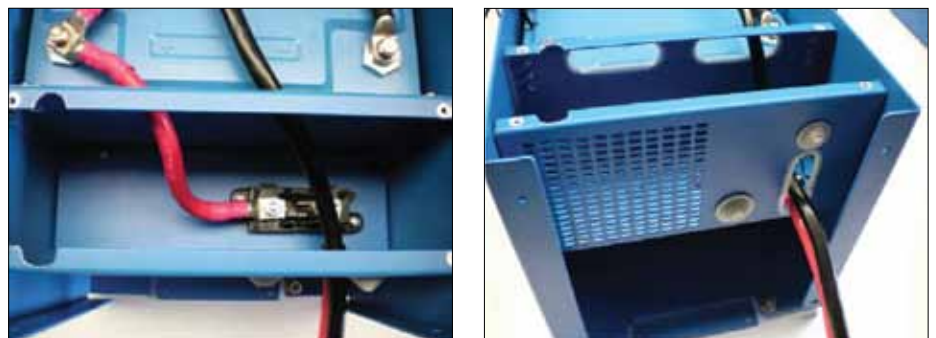
dvije paralelno.

Nakon postavljanja baterija u prikladno izrađenu metalnu kutiju, najprije spajamo energetske kabele (srednja i krajnje desna slika). Potom se tanjim vodovima formira informacijska veza, prema brojčanim oznakama na lijevoj slici.

To znači da ćemo 8 spojiti na 3, 4 na 1, 2 na 5, 6 na 9 i 10 na 7. Spojevi 9 i 10 priključci su na BMS sustavu.



Slika 8.: Spajanje LFP baterija u baterijskoj banci od 24 V.



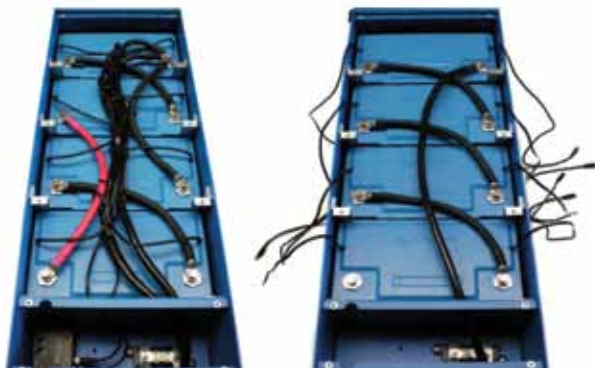
Slika 9.: Spoj plus pola baterijske banke preko osigurača i izlaz kabela iz baterijske banke.

fotonapon (17)

Svaka baterija ima dva različita informacijska konektora, a dva odgovarajuća konektora ima i BMS.

Sve što treba je spajanje informacijskih kabela pojedinih baterija u jedan niz, zajedno s BMS-om, pri čemu nije bitno kako su one spojene u baterijskoj grupi.

Ipak, BMS treba postaviti blizu baterija jer njegovi se originalni informacijski kabeli ne smiju produljivati ni skraćivati. Priključak plus pola spaja se preko odgovarajućeg taljivog osigurača na ostatak instalacije (Slika 9.).



Slika 10.: Detalji izvedbe baterijske banke.

Jednaku izvebu s dva kabela treba primijeniti i na plus polu priključka baterijske banke.

Na slici 10. desno je baterijska banka za 48 V. Tu se jasno vidi kako su sve baterije spojene u seriju.

Veći i složeniji sustavi

U takvim sustavima treba nam djelotvorni uređaj koji može odspojiti trošila i automatski zaštititi bateriju od predubokog pražnjenja. Naime, BMS koji nadzire stanje u ćelijama samo će primijetiti i izmjeriti da je baterija u opasnom naponskom području i potom poslati digitalni signal za isključenje trošila. Uređaj za zaštitu baterija (engl. *battery protect*) zapravo je obična elektronička sklopka koja prima taj signal i odspaja bateriju... Pritom nema neugodnog iskrenja ni trošenja kontakata. Razina na kojoj se

bi i dalje praznila, a nakon određenog vremena i samu sebe uništila.

Izaberete li podešenje za LFP bateriju, tada će uređaj za zaštitu u svemu pratiti upravljački signal BMSa. Trošila će se trenutno isključiti po nalogu BMS-a, a spojit će se 30 sekundi nakon suprotnog naloga BMS-a.

Ako je uključivanje i isključivanje učestalo onda će se ovaj interval produžiti na 3 minute. Pri tom podešenju alarmni izlaz nije u funkciji. Uređaj za zaštitu baterija automatski prepoznaje napon od 12 V ili 24 V, a proizvodi se za trajne



Slika 11.: Uređaji za zaštitu baterije od pretjeranog pražnjenja.

aktivira zaštita (*prag prorade*) određuje se tipikalom, a odabrana vrijednost prikazuje se na vidljivom pokazivaču.

Jedno podešenje je posebno prilagođeno za rad s LFP baterijama i prihvata upravljačkog signala iz BMS-a.

Ostala podešenja su namijenjena olovnim baterijama.

To proširuje primjenu ovog uređaja za zaštitu baterija od prekomjerne potrošnje trošila i u sustavima opisanim u prethodnim nastavcima ove serije.

Kad uređaj isključuje trošila, njegova vlastita potrošnja je svega 0,6 mA, što je izuzetno važno da se LFP baterija ne

DC struje od 50 A, 100 A i 220 A. Na bateriju se priključuje preko odgovarajućeg osigurača. Slika 11. prikazuje takav uređaj za zaštitu baterije. Spojeni zaštitni sustav vidi se na slici 12.

To bi bio opis jednog, recimo, početničkog i jednostavnijeg sustava minimalne snage koji energiju pohranjuje u LFP baterije opremljene zaštitnim BMS sustavom. Sve zajedno može se primijeniti i kao otočni fotonaponski sustav, ali i kao sustav u brodu ili plovilu s običnom olovnom starter baterijom.

Željeli smo upozoriti da propisnu izvedbu ne čine samoobične debeli kabeli, baterije, pretvarač i pomoćni izvor napajanja. Takve sustave treba kontrolirati i zaštititi od mogućih havarija.

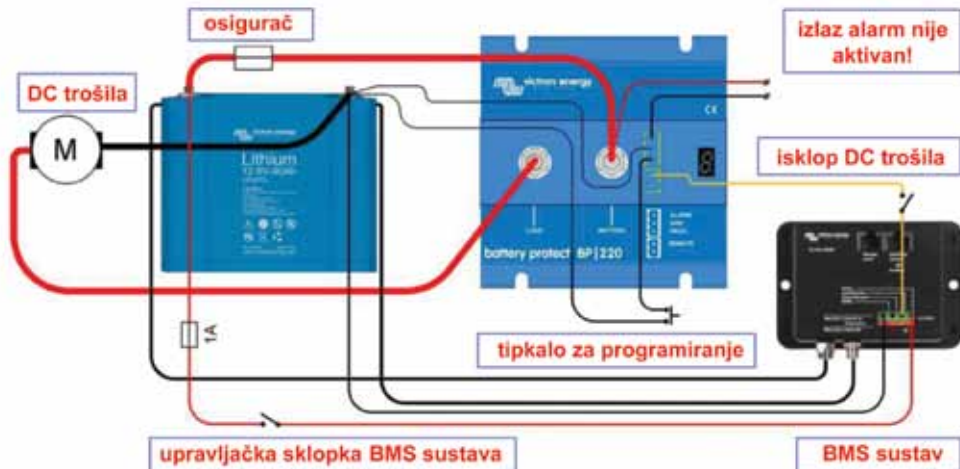
Zato smo opisali i povezivanja informacijskih kabela s LFP baterijama u složenijoj baterijskoj banci. Nakraju, pokazali smo i uređaj za zaštitu baterije od trošila - na koji mnogi prečesto zaboravljaju.

U slijedećem broju opisat ćemo jedinstveni BMS koji podržava sve ostale veće sustave.

Bit će tu mnogo shema i detalja, poneka iznenađujuća novosti - no u svakom slučaju zanimljivo!

Kao i uvijek, tim SCHRACK TECHNIK vam je na raspolaganju za sva moguća pitanja!

Josip Zdenković



Slika 12.: Uređaj za zaštitu od pretjeranog pražnjenja spojen s LFP baterijom i BMS sustavom.