

fotonapon na brodu

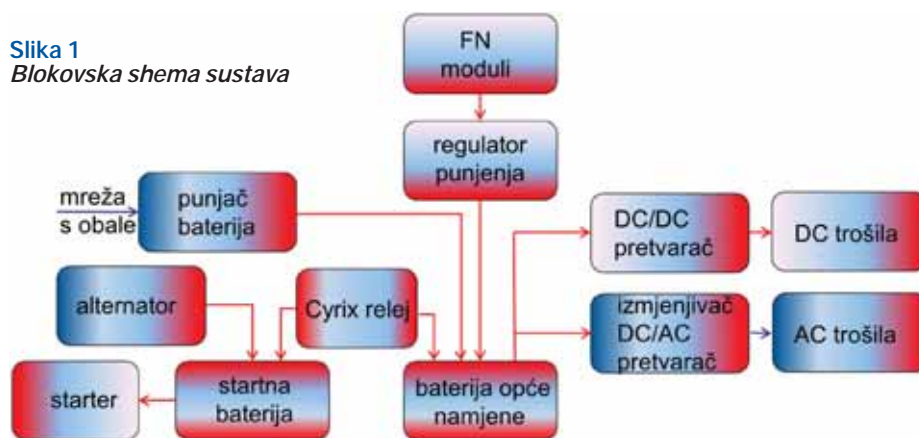
Izmjenična struja

AUTONOMNI IZMJENJIVAČ



Pri osmišljavanju fotonaponskog sustava za napajanje brodskih trošila u prošlim smo nastavcima polazeći od tri baterijska sloga došli do usklađenih sustava koji mogu napajati brodska trošila puneći se samo iz FN modula. No zbog premalog raspoloživog prostora za montažu, reducirali smo sustave po broju FN modula, ali smo osigurali dodatno punjenje baterije preko punjača priključenog na obalnu mrežu. Naučili smo i kako povezati u sustav startnu bateriju, ali i njezin najčešći punjač - alternator. Tako našu bateriju opće namjene punimo svim raspoloživim punjačima brinući se o njezinom životnom vijeku. Naučili smo kako u instalaciju spojiti i koristiti DC/DC pretvarač za napajanje DC trošila. Sljedeći ključni element u našem sustavu koji gradimo korak-po-korak je izmjenjivač. Dio ovog članka objavili smo još u Majstoru 1-2/2014. godine pa ćemo ga ponoviti, koncentrirajući se na tri konkretna baterijska sloga oko kojih razvijamo brodski sustav za napajanje električnom energijom.

Slika 1
Blokovska shema sustava



Izmjenjivač je uređaj učinske elektro-nike koji povezuje istosmjerni i izmjenični električni sustav. Pritom je smjer energije iz istosmjernog sustava prema izmjeničnom. Pri pretvorbi istosmjernog napona u izmjenični izmjenjivač može proizvesti napon točno određenog iznosa i frekvencije. Tako stvara vlastitu autonomnu izmjeničnu mrežu 230 V, 50 Hz pa se naziva i autonomni izmjenjivač. Ponekad može biti spojen i na postojeću javnu mrežu no tada mora biti opremljen sklopovima za sinkronizaciju

s javnom mrežom i sklopovima za automatsko odvajanje od mreže dođe li do ispada javne mreže. Tada izmjenjivač više nije autonoman već postaje mrežni ili mrežom vođeni izmjenjivač.

Sad ćemo se zadržati samo na jednofaznim autonomnim izmjenjivačima, dakle onima koji sami tvore novu, vlastitu jednofaznu izmjeničnu mrežu 230 V, 50 Hz. Tako nastala mreža odgovara svim izmjeničnim trošilima koje danas uobičajeno koristimo, kako u kući tako i na brodu.

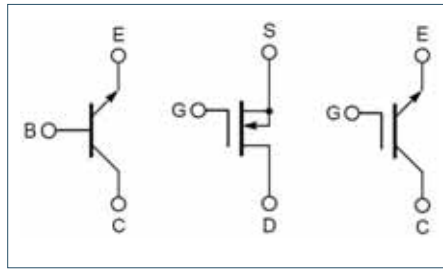
Poluvodičke sklopke

Na slici 2 su tri najčešće poluvodičke sklopke u izmjenjivačima: bipolarni tranzistor, MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) i IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).

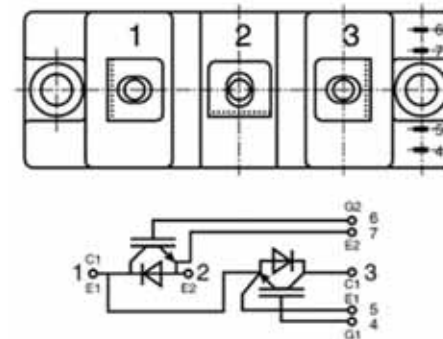
Sve tri poluvodičke sklopke imaju tri električna izvoda - jedan je upravljački, a druga dva su u funkciji sklopke, odnosno provođenja struje trošila. Poželjno je da sklopka u zatvorenom stanju, dok vodi struju, ima što niži pad napona. Kada je pak u otvorenom stanju zapiranja i ne vodi struju mora izdržati napon izvora na svojim priključcima. U idealnom slučaju vođenja, odnosno zapiranja, na sklopki se ne razvija nepoželjna toplina, jer je napon ili struja nula, a ono što razvija toplinu je snaga, tj. umnožak napona i struje. Razvijanje topline u samoj sklopki je nepoželjno, jer prekomjerna toplina razara poluvodičku strukturu. Toplinu treba odvesti preko sustava hlađenja.

Bipolarni tranzistor je povijesno najstarija poluvodička sklopka. Dok vodi struju ima izuzetno nizak pad napona, a to znači i malu vlastitu potrošnju, tj. malu proizvodnju topline. On je strujno upravljani element pa je spor i zapravo ne odgovara zahtjevima koji se postavljaju u izmjenjivačima. Naime, u procesu isklapanja i uklapanja struje tranzistor mora proći kroz aktivno područje i u njemu se zbog dugotrajne prisutnosti i napona i struje tijekom isklopa odnosno uklopa, razvija toplina. U pravilu visoka frekvencija rada sklopke (uklop i isklop) tražena u izmjenjivačima je neugodna, jer se pri prolazima kroz aktivno područje u tranzistoru proizvodi značajna toplina. Povećanje dimenzija i složenost sustava hlađenja danas je zapreka za primjenu bipolarnog tranzistora u izmjenjivačima.

MOSFET je poluvodička sklopka upravljana naponom i po tome savršeno odgovara za visoke frekvencije uklapanja i isklapanja (do 20 kHz). MOSFET sklopke mogu izuzetno brzo uklopiti i iskllopiti struju pa u procesu uklapanja



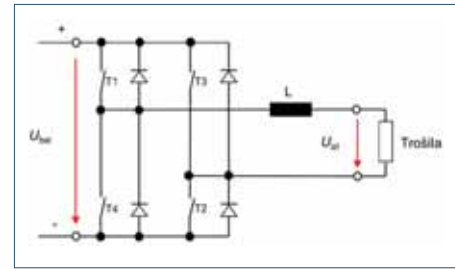
Slika 2 Tri najčešće poluvodičke sklopke: Bipolarni tranzistor, MOSFET, IGBT.



Slika 3 Grana izmjenjivača s dvije IGBT poluvodičke sklopke (Foto Semikron).

i isklapanja, zbog brzine promjene, razvijaju značajno manju toplinu negoli bipolarni tranzistori. No MOSFET sklopke u stanju vođenja imaju malo viši napon pa ni MOSFET u usporedbi s bipolarnim tranzistorima, pogotovo na većim strujama, nije prikladan za primjenu u izmjenjivačima. S MOSFET sklopkama u izmjenjivaču je na kraju zadatak sličan kao i kod bipolarnog tranzistora - odvesti toplinu koja se razvija u stanju vođenja struje preko sustava hlađenja.

IGBT je poluvodička sklopka koja objedinjuje dobre osobine bipolarnog tranzistora i MOSFETA. U stanju vođenja ima mali pad napona, baš kao i bipolarni tranzistor. Istodobno upravljanje sklopkom je naponsko kao kod MOSFETA, dakle moguće je vrlo brzo uklopiti i iskllopiti sklopku preko upravljačkog ulaza (za samo 20 do 30 ns!). IGBT je brzo upravljiva komponenta s malim gubicima i u stanju vođenja i u procesu



Slika 4 Jednofazni autonomni izmjenjivač.



uklapanja i isklapanja te je idealna za primjenu u izmjenjivačima. Na slici 3 je prikazano jedno rješenje integriranja dvije sklopke u kućište.

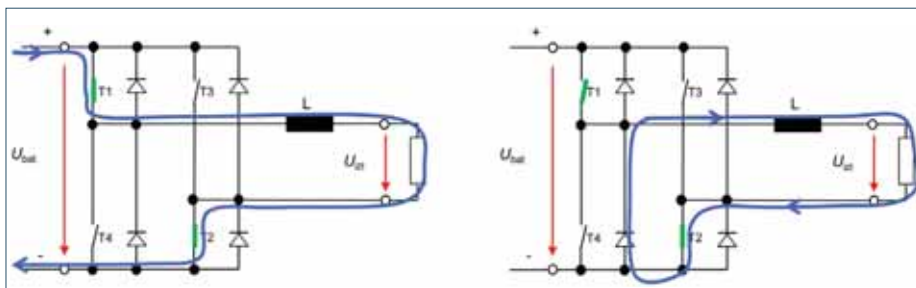
Kako djeluje izmjenjivač?

Na slici 4 je struktura izmjenjivača. Sastoji se od 4 sklopke: T1, T2, T3, i T4. Sklopke T1 i T4 tvore jednu granu izmjenjivača, a sklopke T3 i T2 tvore drugu granu izmjenjivača. Trošila su spojena između te dvije grane. Jasno je da se ne smije istovremeno zatvoriti sklopke T1 i T2, kao ni T3 i T4 jer bi to proizvelo kratki spoj baterije. Svako sklopki u izmjenjivaču je pridružena povratna dioda.

Što ako se želi na trošilu dobiti izmjenični napon, a na raspolaganju je istosmjerni izvor? Kako to ostvariti? To se radi postupkom modulacije širine impulsa (*Pulse Width Modulation*). Pokušajmo to objasniti!

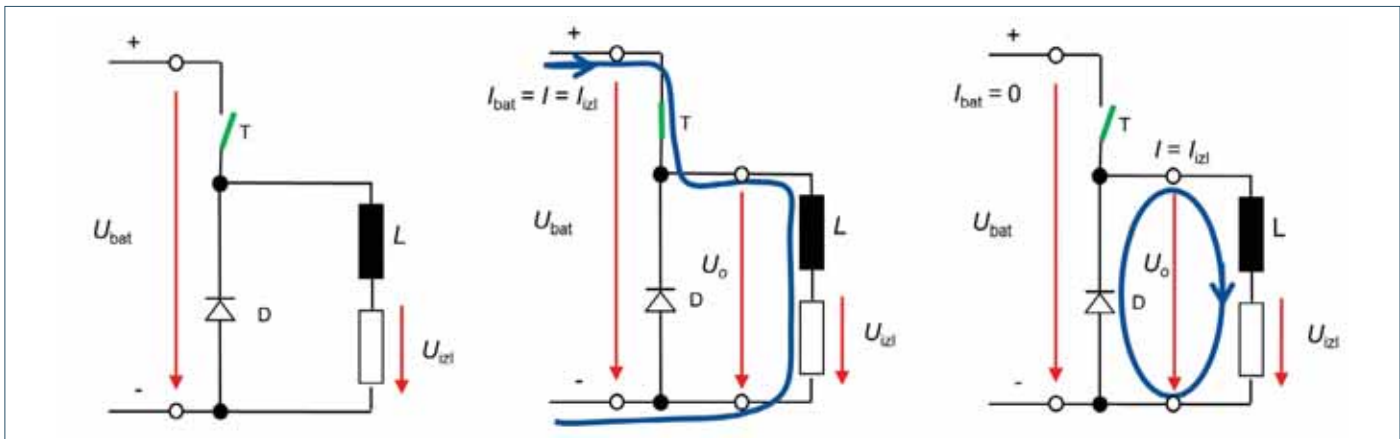
Na slici 5 je prikazano jedno stanje kada vode sklopke T1 i T2 (T3 i T4 su otvorene). Po zatvaranju sklopke T1 struja raste (lijeva slika), po otvaranju sklopke T1 (desna slika) struja nastavlja teći zbog prisutnosti induktiviteta kroz jedini put koji joj preostaje tj. kroz povratnu diodu sklopke T4. No kako nema aktivnog izvora, struja razinom opada.

Na slici 6 su iz slike 5 uklonjeni svi elementi koji ne sudjeluju u prolazu struje. Tako dolazimo do uklopa/isklopa otporno-induktivnog (R-L) tereta na



Slika 5 Propuštanje struje u trošilo.

fotonapon na brodu



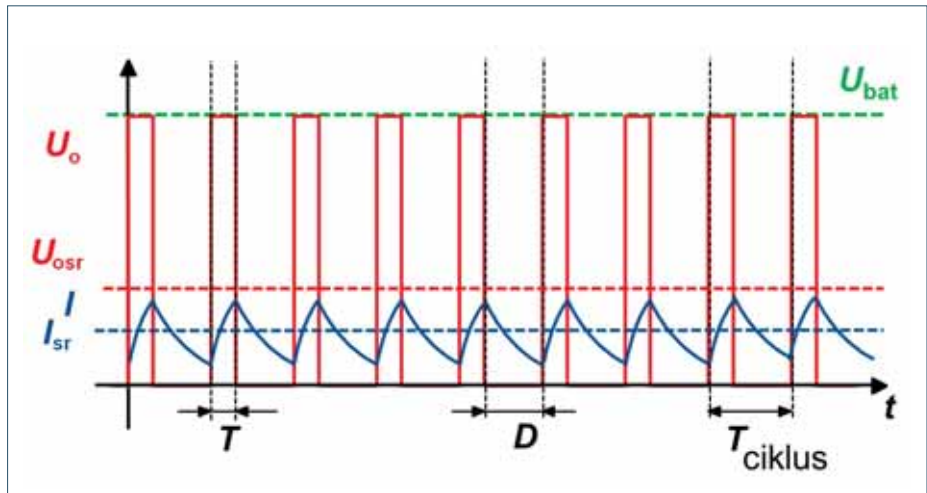
Slika 6 Pojednostavljen prikaz sa slike 5.

izvoru istosmjernog napona. Naponsko-strujne karakteristike za vrijeme uklopa i isklopa sklopke T prikazane su na slici 7.

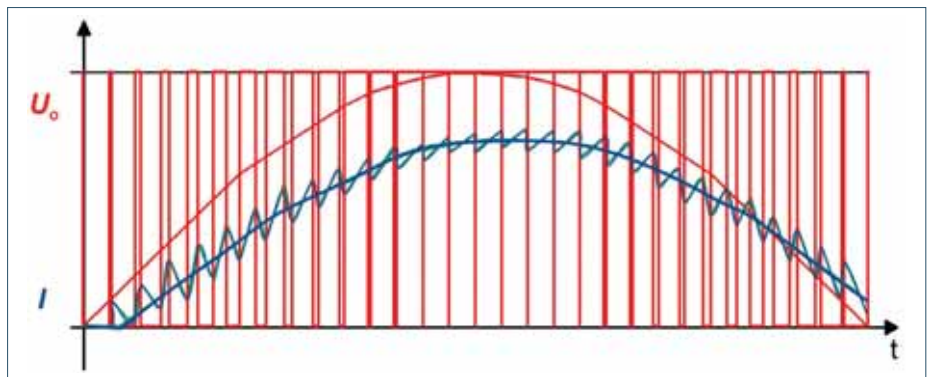
Dok je sklopka T uklopljena napon na izlazu sklopa, - napon U_o zapravo je napon baterije; struja raste. Kada je sklopka T otvorena, struja prolazi diodom D pa je napon U_o napon na diodi u stanju vođenja, a to je približno 0 V; zato struja pada prema nuli. Jasno se može uočiti da je srednji napon U_{osr} ovisan o trajanju stanja uklopa sklopke u jednom ciklusu njenog rada. Ako je sklopka T tijekom T_{ciklus} uključena sto posto onda je srednji napon tijekom T_{ciklus} jednak naponu baterije - $U_{osr} = U_{bat}$, a ako je uključena nula posto onda je $U_{osr} = 0$ V. Trajanjem stanja uključenosti sklopke T u odnosu na period rada sklopke T_{ciklus} može se upravljati srednjim naponom U_{osr} . Na slici 7 je prikazan slučaj uz konstantan odnos uključenosti sklopke T u odnosu na period rada sklopke T_{ciklus} . Uz tako ustaljen odnos uključenosti sklopke T unutar perioda rada sklopke i struja kroz trošilo I poprima neku srednju vrijednost I_{sr} u periodu rada sklopke.

Sada je vrlo blizu ideja mijenjati po nekom zakonu, ovisno o vremenu, naprimjer sinusnom, stanje uključenosti tranzistora T. Što se tada dobiva vidi se na slici 8.

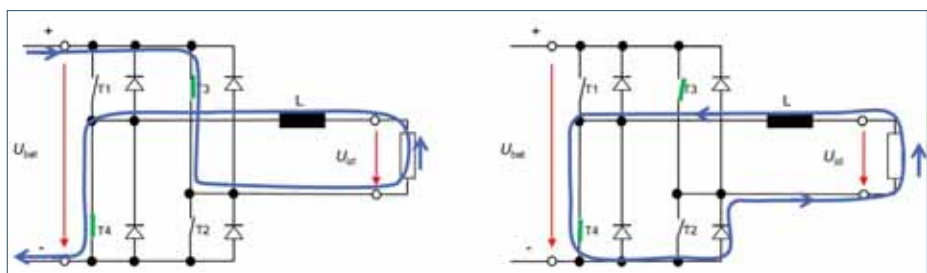
Period rada sklopke T_{ciklus} je uvijek konstantan, ali se mijenja trajanje uključenosti sklopke T. Mijenjanjem, modulacijom širine impulsa napona U_o unutar perioda T_{ciklus} prema trošilu se šalje po odsječcima promjenjivi srednji napon i to tako da srednji napon u konačnici prati sinusni oblik. Prema obliku napona i struja će dakako poprimiti sinusni oblik, ali će zbog prisutnosti induktivnosti nešto kasniti za naponom, i imat će karakterističan čupavi valni oblik.



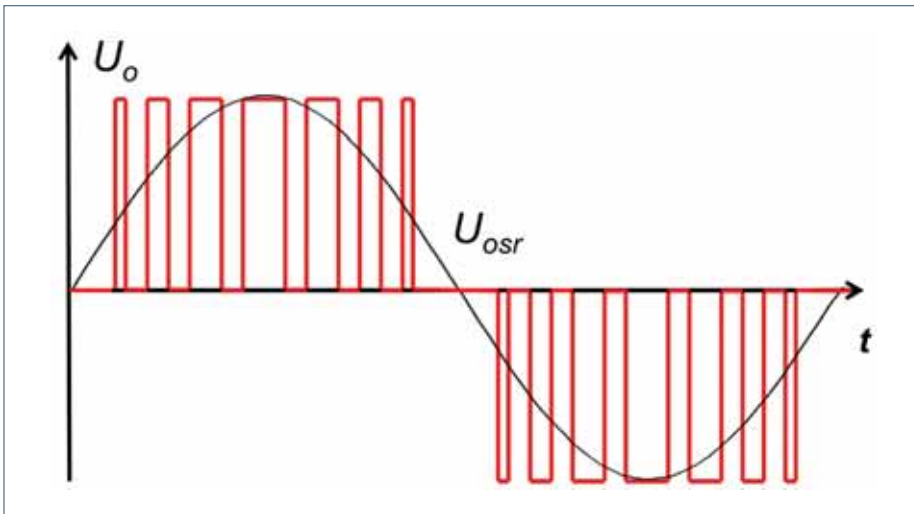
Slika 7 Napon i struja uz konstantan iznos trajanja stanja uklopa i isklopa sklopke.



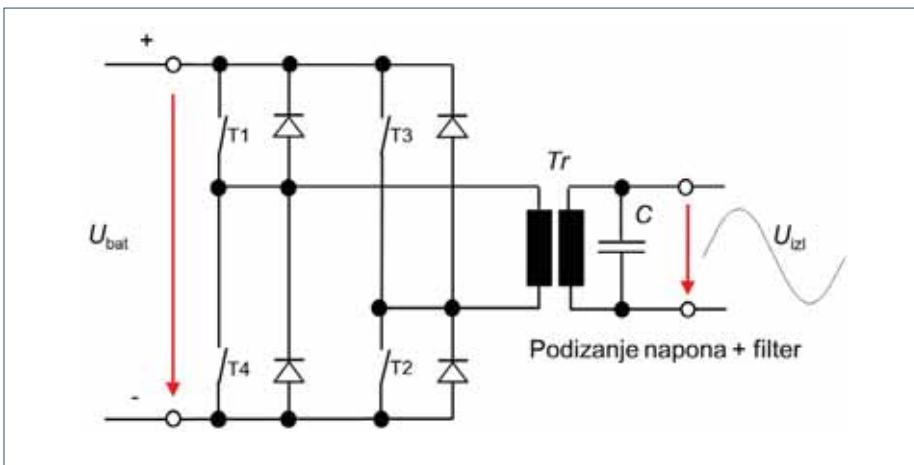
Slika 8 Modulacija širine impulsa - pozitivna poluperioda.



Slika 9 Propuštanje struje u trošilo u negativnom smjeru.



Slika 10 Napon U_o kao rezultat širinsko-impulsne modulacije.



Slika 11 Autonomni izmjenjivač sa sinusnim valnim oblikom izlaznog napona.

Dosad smo objasnili kako nastaje pozitivna poluperioda napona. Vrlo slično se dobiva i negativna poluperioda, a koje sklopke vode pritom struju prikazano je na slici 9.

Ako se želi da trošilu postaviti negativan napon onda se upravlja sklopkom T3. Tada se struja zatvara preko sklopke T3 i sklopke T4. U trenutku isklapanja sklopke T3, struja nastavlja teći preko povratne diode sklopke T2. Iako sad i napon i struja na trošilu imaju negativan predznak, primjećuje se da je struja iz baterije zadržala isti smjer! I u ovom se slučaju energija iz baterije predaje u trošilo. Na slici 10 je prikazana i pozitivna i negativna poluperioda napona U_o .

Konačno, napon U_o kao na slici 10, još nije pogodan za napajanje trošila. Kako bi se dobio uistinu sinusni valni oblik napona, na izlazu treba postaviti filter koji će ispeglati naponske impulse dobivene postupkom širinsko-impulsne modulacije. Konačni izgled izmjenjivača prikazan je na slici 11. Dodatno, i napon treba podignuti na razinu 230 V kakav očekujemo za napajanja trošila. To se radi tako da se na izlazu izmjenjivača postavlja transformator Tr i kondenzator C . Transformator djeluje u kombinaciji s kondenzatorom kao filter i osigurava sinusni valni oblik i ujedno prilagođuje naponsku razinu izlaza izmjenjivača. Prednost tog transformatora jest što osigurava i galvansko odvajanje DC i AC strane izmjenjivača.

Na slici 12 prikazani su neki tipični primjeri izmjenjivača.



Slika 12 Tipični primjeri autonomnih izmjenjivača.



Slika 13 Usklađivanje baterije i izmjenjivača: odnos energije u bateriji i snage izmjenjivača.

Usklađivanje baterije i izmjenjivača

Dosad smo naučili kako se u sustavima s olovnim baterijama u jednom ciklusu pražnjenja ne bi trebalo preuzeti više energije od 50 % nazivnog kapaciteta baterije, zbog njenog što dužeg životnog vijeka. Podsjetimo se - iz baterije 220 Ah/24 V u jednom se ciklusu pražnjenja se ne želi iscrpiti više od 110 Ah. To znači $110 \text{ Ah} \times 24 \text{ V} = 2640 \text{ Wh}$. Dakle, naša trošila ne bi smjela u jednom ciklusu pražnjenja preuzeti iz baterije više od 2640 Wh. Ali, koju snagu izmjenjivača izabrati? Bilo bi poželjno da izmjenjivač može svojom snagom pokriti kratkotrajne vršne snage, udare potrošnje brodskih AC trošila. No, jasno je kako nije ekonomski opravdano primijeniti tako snažan izmjenjivač koji bi pokrio svaku vršnu snagu koja se pojavi kratkotrajno i možda jednokratno. Na brodu valja pristati na ponašanje da velika trošila ne uključujemo zajedno i istodobno. Sam izmjenjivač može osigurati kroz 30 sekundi i dvostruku nazivnu snagu (što uz isti napon zapravo znači i dvostruku struju).

Na slici 13 je prikazano nekoliko mogućih slučajeva odnosa baterije i izmjenjivača. Prvi slučaj je bezopasan za bateriju, dakle priključenje malog izmjenjivača na moćnu bateriju ne može na nju loše djelovati i u tom smislu je

dozvoljeno, ali sigurno nije realan i učestali slučaj. Priključenje velikog izmjenjivača na malu bateriju je česta želja, ali zbog karaktera struje koja se povlači iz baterije ona ubrzano stari. A ubrzano starenje baterije kao najskupljeg dijela ne može biti tehnički opravdano ni financijski inteligentno.

Usklađivanje baterija i izmjenjivača svodi se na pitanje kolika je maksimalno dozvoljena snaga izmjenjivača koji se smije priključiti na konkretnu bateriju s konkretno pohranjenom energijom.

Naprimjer, imate li izmjenjivač 150 W, onda se iz baterije 220 Ah/24 V u jednom pražnjenju može povlačiti 150 W kroz 17,6 h ($2640 \text{ Wh} / 150 \text{ W} = 17,6 \text{ h}$). To je slučaj kad je baterijska banka velika, a izmjenjivač mali. No, što se dobiva primjenom većeg izmjenjivača? Imate li izmjenjivač 2000 W, onda će se iz baterije u jednom pražnjenju moći povlačiti 2000 W kroz svega 1,32 h ($2640 \text{ Wh} / 2000 \text{ W} = 1,32 \text{ h}$). To je možda potrebno u nekom konkretnom slučaju, no je li dozvoljeno primijeniti izmjenjivač od 2000 W na bateriju 220 Ah/24 V?

Istina, valja primijetiti da struja iz baterije teče uvijek u istom smjeru, ali konačno prati sinusni ritam - smanjuje se i povećava. Takav valni oblik struje iz baterije koji uzrokuje izmjenjivač svojim radom dodatno opterećuje bateriju i skraćuje joj životni vijek.

U praksi se za određivanje odnosa maksimalne snage izmjenjivača kojom se prazni baterija i baterijskog kapaciteta - imajući u vidu nenarušavanje životnog vijeka baterije zbog valnog oblika struje koju izmjenjivač povlači iz baterije - koristi sljedeća jednostavna relacija: snaga izmjenjivača < energija pohranjena u baterijama / 5 h.

To se može reći i na drugi način, baterija se od punog do praznog stanja ne smije isprazniti za kraće od 5 h!

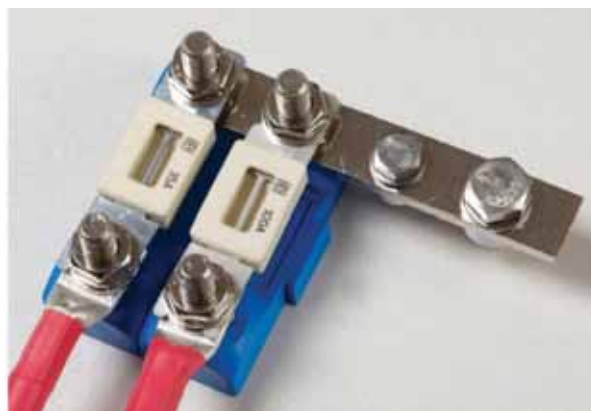
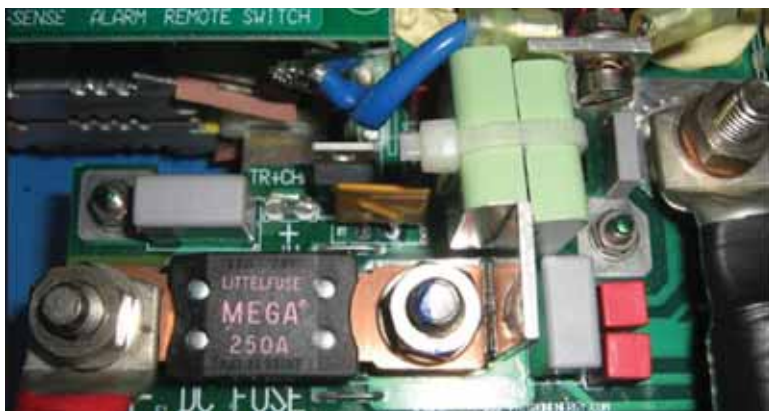
U konkretnom slučaju baterija 220 Ah/24 V ima pohranjenu energiju $220 \text{ Ah} \times 24 \text{ V} = 5280 \text{ Wh}$. Stoga vrijedi: snaga izmjenjivača < $5280 \text{ Wh} / 5 \text{ h}$, tj. snaga izmjenjivača < 1056 W.

Zaključimo! U konkretnom slučaju iz baterije 220 Ah/24 V smije se iscrpiti 50 % njezinog kapaciteta, dakle 2640 Wh i to s izmjenjivačem ne većim od 1000 W u ustaljenom radu.

Važno je reći i ovo - moguće je na bateriju spojiti i snažniji izmjenjivač no ta povećana snaga koja se predaje trošilima ne smije se koristiti trajno i ustaljeno. Konkretnoj bateriji 220 Ah/24 V ništa neće biti od jednog kratkotrajnog zaleta motora i preko izmjenjivača 3000 W, ali ako snaga u ustaljenom trajnom radu ne prelazi 1000 W! Trajni ustaljeni rad podrazumijeva pražnjenje baterije priključenim trošilom neke konstantne snage - recimo 1000 W pri čemu se

Sustav	Baterija	Energija u bateriji (kapacitet x Ubat)	Za dugovječnost baterije ista se smije prazniti do 50%	Maksimalno dozvoljena trajna snaga AC trošila je ona koja bi punu bateriju "potrošila" za 5h.	Snaga izabranog izmjenjivača (izmjenjivač može biti i snažniji, ali trošila ne smiju trajno uzimati više snage nego što je dao proračun!)	Trajanje autonomije uz maks. dozvoljenu trajnu snagu trošila: 100% kapaciteta za 5 sati, 50% kapaciteta za 2,5 sati!
Micro 1/12/220	12 V, 220 Ah, C20	2640 VAh	1320 VAh	528 W	500 VA	2,5 h
Mini 2/24/220	24 V, 220 Ah, C20	5280 VAh	2640 VAh	1056 W	1000 VA	2,5 h
Mini 2/24/440	24 V, 440 Ah, C20	10560 VAh	5280 VAh	2112 W	2000 VA	2,5 h

Tablica 1 - Određivanje nazivne snage izmjenjivača za tri tipične brodske baterijske banke.



Slika 14 Neki uređaji imaju DC osigurač već u sebi, a za neke ga treba predvidjeti u razvodu.

snaga trošila ne mijenja tijekom praznjenja baterije.

Spajanje izmjenjivača

Izmjenjivač se spaja na baterije kabelom. Pritom treba čitati upute proizvođača, ali i tu vrijedi jednostavno pravilo: Za ukupnu duljinu kabela u plus i minus polu od izmjenjivača do baterija ne veću od 5 m dovoljno je predvidjeti kabel presjeka $2A/mm^2$. To konkretno znači da će izmjenjivač 1000 VA na 24 V povlačiti iz baterije struju od $1000 VA/24 V = 42 A$. Dakle, priključni kabeli moraju biti najmanje $21 mm^2$. Uzima se prvi veći standardni presjek: $25 mm^2$. Priključenje izmjenjivača na bateriju pomoću kabela neodgovarajućeg presjeka je opasno, jer pri trajnom radu s jakim trošilom može se na kabelu rastopiti izolacija i zapaliti instalacije na plovilu. U nekim slučajevima za povećanje presjeka koristi se i fizički dvostruki kabel. Tada treba izuzetno paziti da paralelni kabeli budu potpuno iste duljine kako bi imali isti otpor i kako bi se struja raspodijelila ravnomjerno.

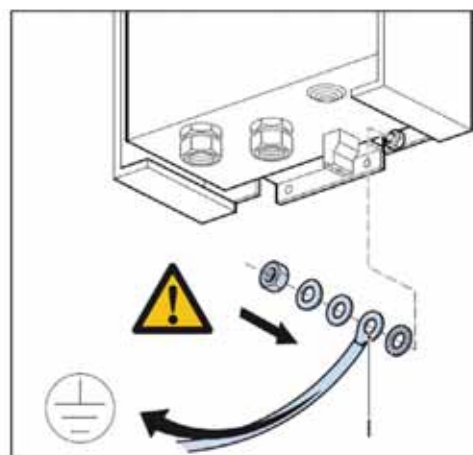
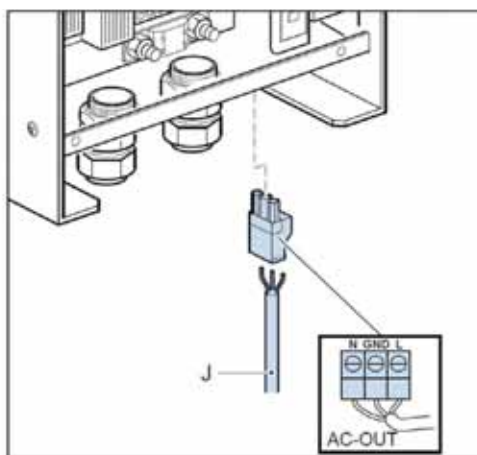
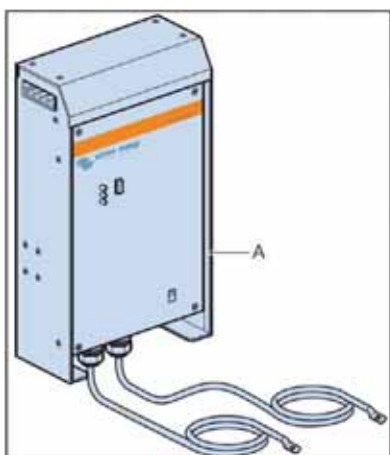
U priključni kabel između izmjenjivača i plus pola baterije postavlja se osigurač (slika 14). I tu treba čitati upute proizvođača. Izmjenjivači mogu kroz 30 sekundi davati dvostruku snagu pa i povlačiti dvostruku struju iz baterija. Tu struju mora osigurač moći podržati bez izgaranja. U našem konkretnom slučaju 1000 VA izmjenjivač na 24 V davat će pri preopterećenju maksimalno 2000 VA kroz 30 sekundi, a to znači da će uzimati iz baterije 84 A. Stoga se u kabelu prema plus polu baterije mora uključiti 100 A osigurač koji ne štiti brze elektroničke sklopove u izmjenjivaču već primarno isključuje kratki spoj na DC strani. Kratki spoj u instalaciji i slijedno nastali električni luk pri istosmjernoj struji ne isključuje se sam već traje toliko dok luk ne progori toliko materijala na mjestu kratkog spoja da se više ne može održati. Ta pojava je zapravo razvoj požara. Zato je potreban osigurač da se u slučaju preopterećenja ili kratkog spoja električni luk upravo stvori i ugasi na namjerno oslabljenom mjestu

u samom tijelu osigurača i time pouzda-no otvori strujni krug.

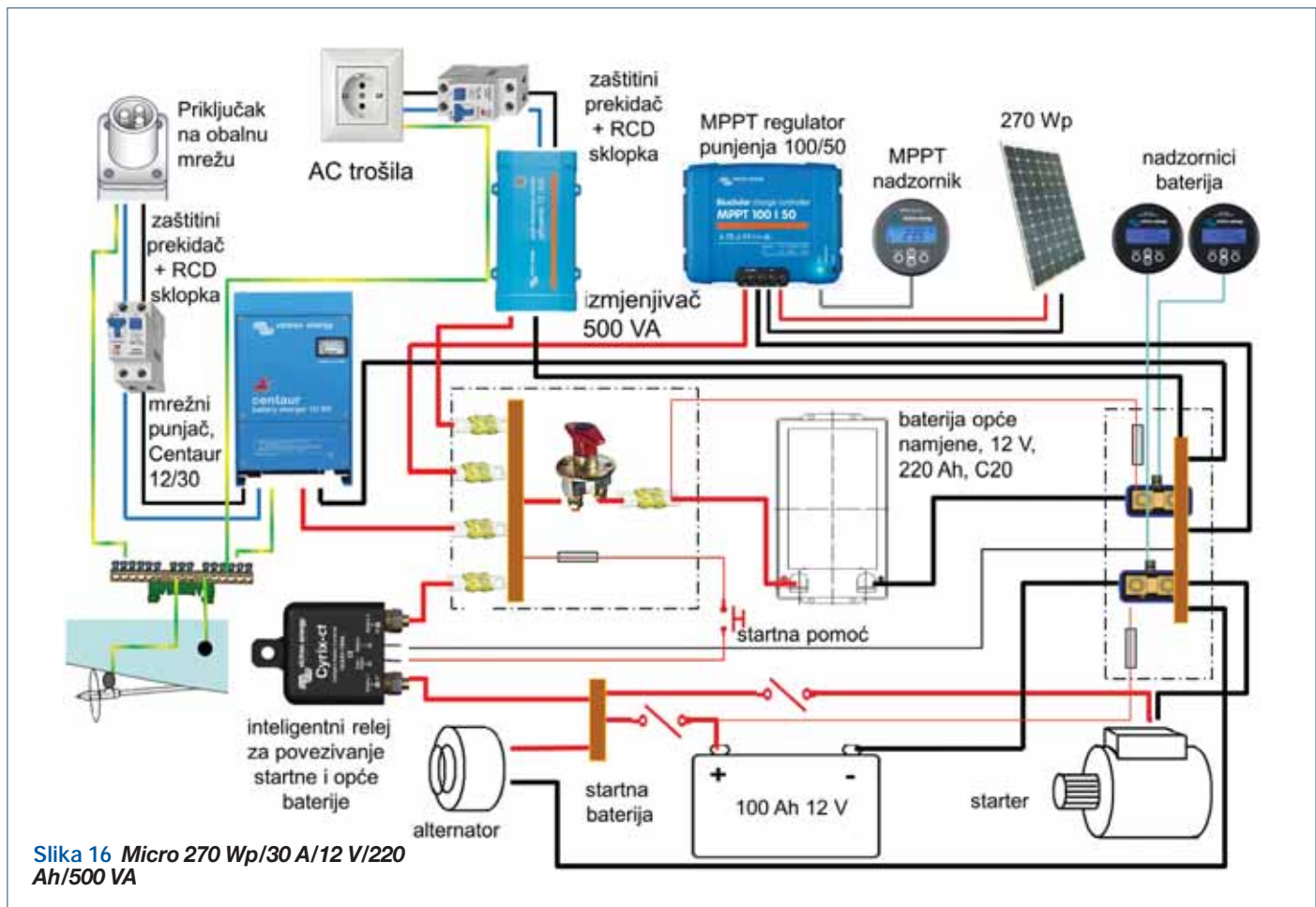
Na izmjeničnoj strani je obvezna primjena RCD sklopke s diferencijalnom strujom 30 mA (popularna fidovka). Toj komponenti ćemo posvetiti cijeli jedan nastavak, stoga je ovdje tek napominjemo da se ne zaboravi. Pri spajanju izmjenjivača obvezno je povezati metalno kućište uređaja sa zaštitnim vodičem (slika 15).

Na slici 16 je izmjenjivač 500 VA uključen u shemu našeg najmanjeg u serijalu razrađivanog sustava Micro 1 s jednim modulom 270 Wp, mrežnim punjačem 30 A, najmanjom baterijom 12 V/220 Ah. Na isti način izmjenjivači se uključuju i u preostala dva sustava iz serijala.

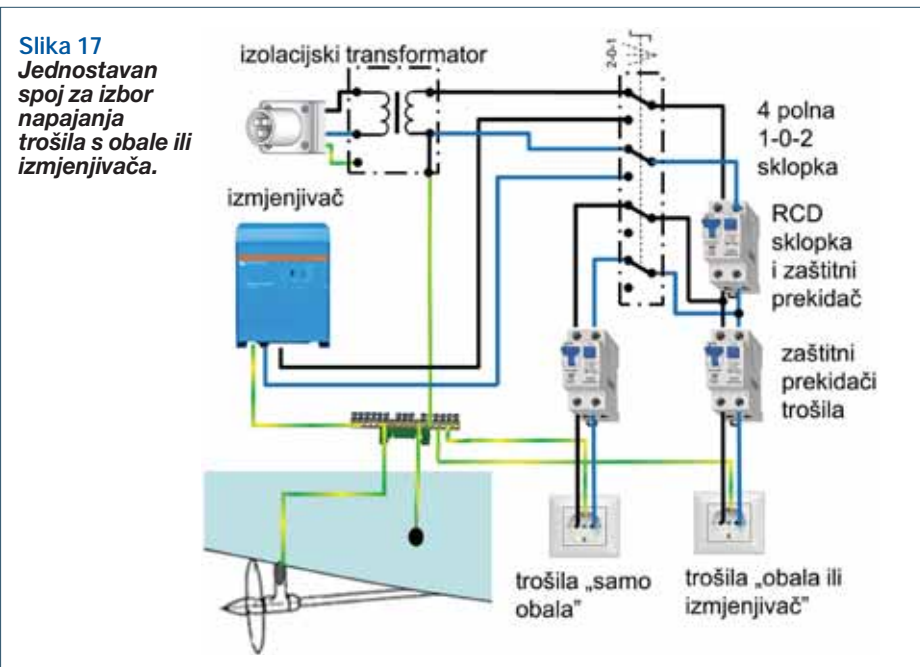
Na slici 16. vidi se da obalna mreža služi samo za dopunjavanje baterije. No, kada je plovilo spojeno na obalno napajanje, ovisno o njegovoj namjeni, vjerojatno će ponetko na obalnu mrežu priključiti i neko dodatno trošilo. I to tako da crpi potrebnu energiju iz obale, a ne iz baterije opće namjene. S druge stra-



Slika 15 - Spajanje izmjenjivača - DC i AC strana uz obvezno uzemljenje uređaja.

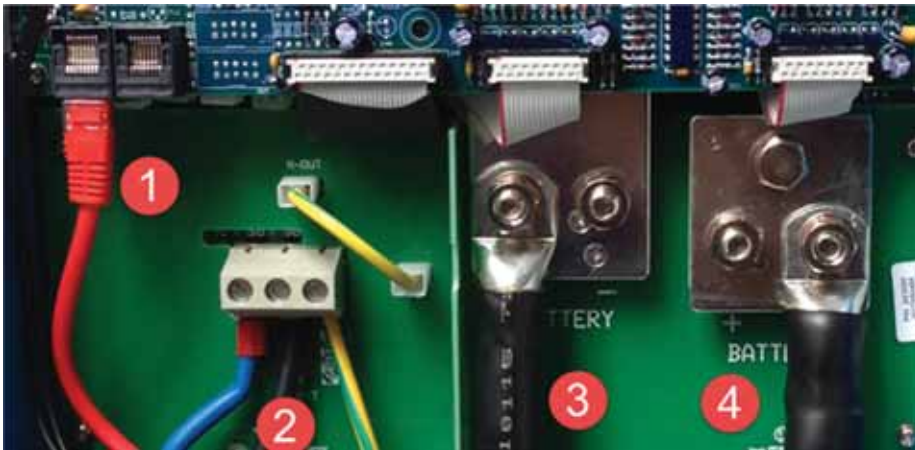


ne nije dozvoljeno istodobno napajanje brodskih instalacije iz baterije preko izmjenjivača i preko priključka s obale. Mreža iz izmjenjivača nije sinkronizirana s obalnom mrežom i običan izmjenjivač se ne smije priključiti izlazom izravno na trošila koja su napajana obalnom mrežom. Jednostavno nije za to predviđen i ako to napravite sigurno će se uništiti. No ima još jedan razlog zašto trošila na plovilu ne smiju imati istodobno napajanje s obale i iz izmjenjivača. Zamislite da na obali nestane napajanje, recimo, zbog radova na priključnom ormariću. Tada plovilo povratno napaja priključni ormarić i serviser koji radi na priključnom ormariću na obali može stradati od strujnog udara, jer vjeruje da je ormarić isključen. Stoga treba osigurati izbor izvora napajanja na brodu tako da je uvijek aktivan samo jedan izvor - priključak s obale ili napajanje iz izmjenjivača na brodu. Jedno takvo rješenje prikazano je na [slici 17](#). Ovaj spoj omogućuje da u slučaju napajanja s obale budu priključena i neka trošila, odnosno da su uključeni i neki strujni krugovi koji inače nisu pod naponom dok je napajanje samo iz izmjenjivača. Logično je



da recimo električni grijač vode bude priključen samo dok je prisutno napajanje s obale, a ne i dok baterije napajaju brod u plovidbi. Logično je i da punjač baterija bude priključen samo na dio

instalacije koja se napaja s obale! Na slici je vidljiv i izolacijski transformator, a o njemu smo već pisali u prošlim nastavcima pa koga zanima neka zaviri u ranije brojeve!



Slika 18 Priključci izmjenjivača potrebni za realizaciju trofaznog sustava.

Raspon snaga

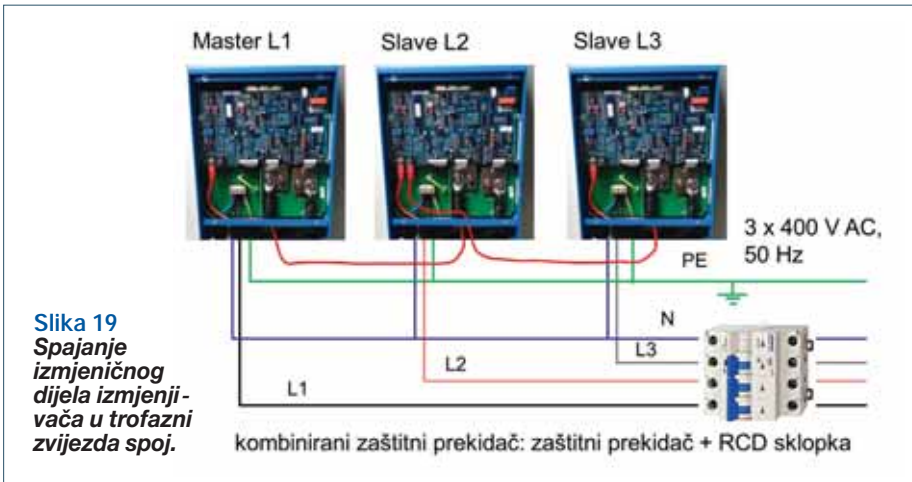
Autonomni izmjenjivači Phoenix proizvode se u sljedećem rasponu snaga:

- Za 12 V, 24 V i 48 V baterije: 250 VA, 375 VA, 500 VA, 800 VA, 1200 VA, 3000 VA,
- Za 12 V i 24 V baterije: 1600 VA, 2000 VA,
- Za 24 V i 48 V baterije: 5000 VA.

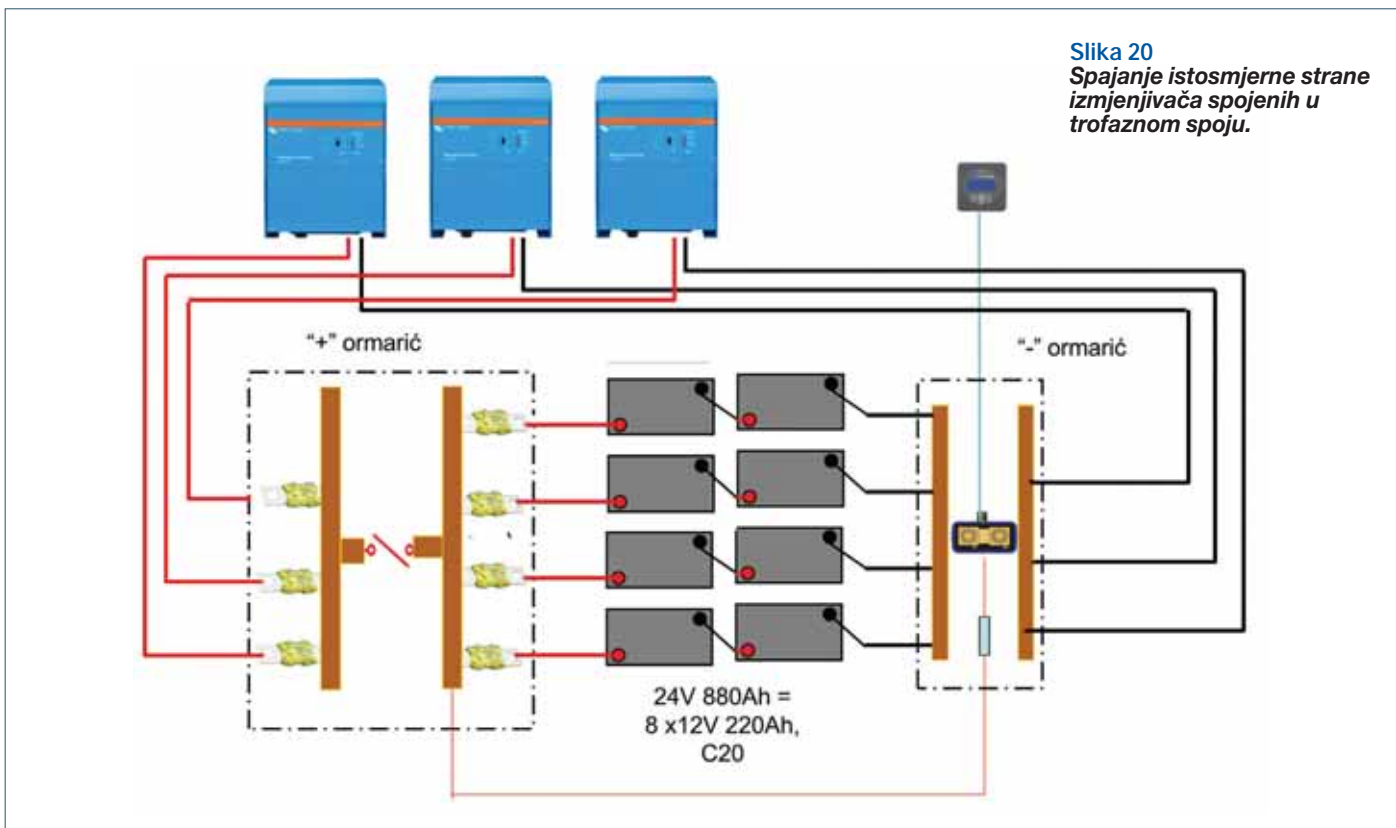
Primijetit ćete da je 3000 VA granica na kojoj bi se trebala pojaviti 24 V baterija, a da je 5000 VA granica u kojoj se očekuje 48 V baterija ($5000 \text{ VA}/48 \text{ V} = \text{cca } 100 \text{ A}$; $3000 \text{ VA}/24 \text{ V} = \text{cca } 125 \text{ A}$). Što je veća snaga izmjenjivača veće su i struje iz baterije. Povišenjem napona struja iz baterije se smanjuje uz istu snagu izmjenjivača. Cilj je da se struja iz baterije održi što manja. Što manja struja znači i manje presjeka vodiča na instalaciji. Ne zaboravite na pravilo da $2 \text{ A}/\text{mm}^2$. Što manja struja iz baterije znači i manji pad napona na unutrašnjem otporu baterije.

Stvaranje trofaznog sustava

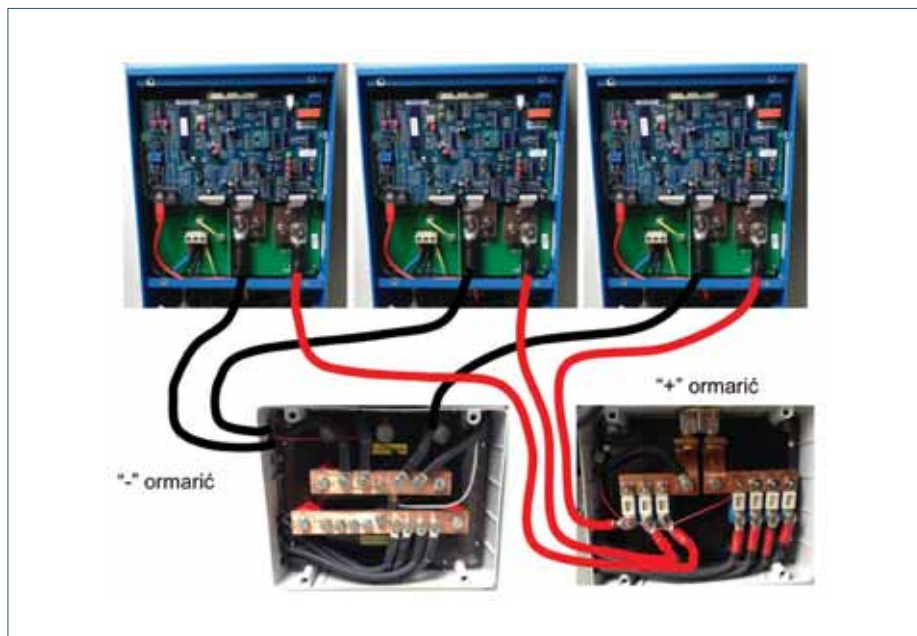
Kako poneka trošila zahtijevaju trofazno napajanje istovrsni izmjenjivači mogu se spojiti u trofazni spoj. Pritom je važno uočiti kako se spaja izmjenični dio koji stvara trofazni sustav, a kako istosmjerni dio. Na slici 18 prikazan je priključni dio jednog izmjenjivača. Informacijski priključak (1) služi za ostvare-



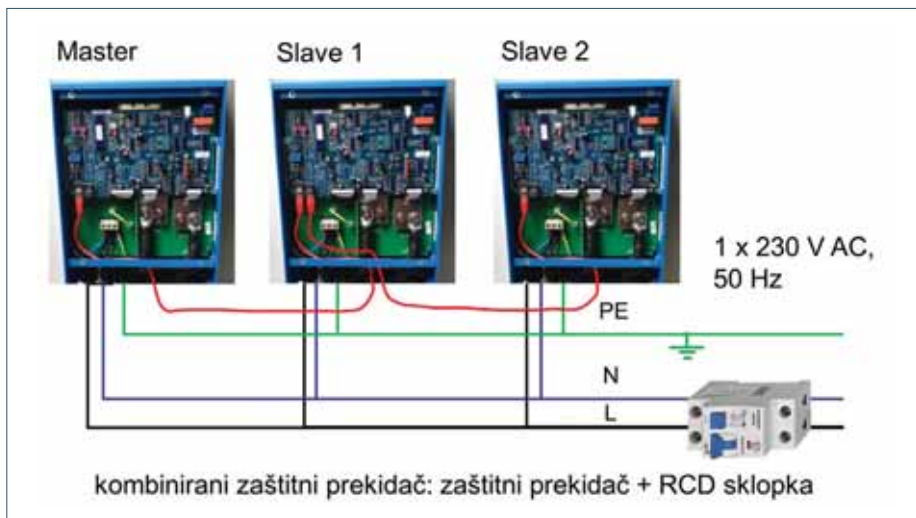
Slika 19 Spajanje izmjeničnog dijela izmjenjivača u trofazni zvijezda spoj.



Slika 20 Spajanje istosmjerne strane izmjenjivača spojenih u trofaznom spoju.



Slika 21
Izvedba spoja istosmjerne strane izmjenjivača u trofaznom spoju.



Slika 22 Paralelno spajanje izmjenjivača zbog postizanja veće snage.

nje vremenskog pomaka faznih napona. Izmjenični priključak (2) je zapravo izlaz jedne faze izmjenjivača, a priključci (3) i (4) služe za spoj s baterijom.

Na slici 18. je prikazano kako se spaja izmjenični dio izmjenjivača. Zapravo riječ je o spajanju izmjenjivača u zvijezdu, zajedno se spajaju nule izlaza, a faze postaju linijski priključci. Dodatno informacijski se povezuju tako da jedan postaje voditelj (*master*), a ostala dva izmjenjivača sljednici (*slave*). Definiranje koji izmjenjivač je voditelj, a koji izmjenjivači su sljednici provodi se pomoću računala pri puštanju u pogon.

Na slikama 20 i 21 prikazano je kako se spaja istosmjerni dio sustava na jednu konkretnu baterijsku banku. Za naša tri sustava nismo posebno razrađivali konkretan spoj, ali vjerujemo da će ovaj

kratki prikaz biti dovoljan onima kojima zatreba trofazno napajanje.

I za kraj na slici 22 pokazujemo kako se istovrsni pretvarači mogu spajati i u paralelu. To radimo onda kada nam je potrebna veća ukupna snaga izmjenjivača. Paralelno se može spojiti do šest jedinica, ali samo one iste snage, vodeći pritom računa o kapacitetu baterije kao što smo već objasnili. Kabeli za spajanje istosmjernog dijela moraju biti iste duljine i presjeka za sve paralelno spojene izmjenjivače kako bi se istosmjerna struja raspodijelila ravnomjerno. Izmjenjivači se fizički smještaju jedan blizu drugoga, no vodite računa o potrebnom ventilacijskom razmaku od minimalno 10 cm oko uređaja. Informacijski kabeli moraju ići od jednog do drugog, kako je prikazano, ne smije se upotrebljavati

informacijski prespojnik ili usmjernik. Iako je informacijski kabel običan UTP koji se koristi u informacijskim mrežama, tu među pretvaračima je riječ o namjenskom protokolu pa sloboda na koju smo navikli pri spajanju računala u mrežama ipak nije dozvoljena.

Moguća je kombinacija paralelnog spajanja i u trofaznom sustavu - u svakoj fazi može se spojiti paralelno šest izmjenjivača, što bi dalo spoj od ukupno 18 izmjenjivača... No, to su ipak složeniji sustavi pa se posavjetujte sa stručnjacima SCHRACK TECHNIK d.o.o..

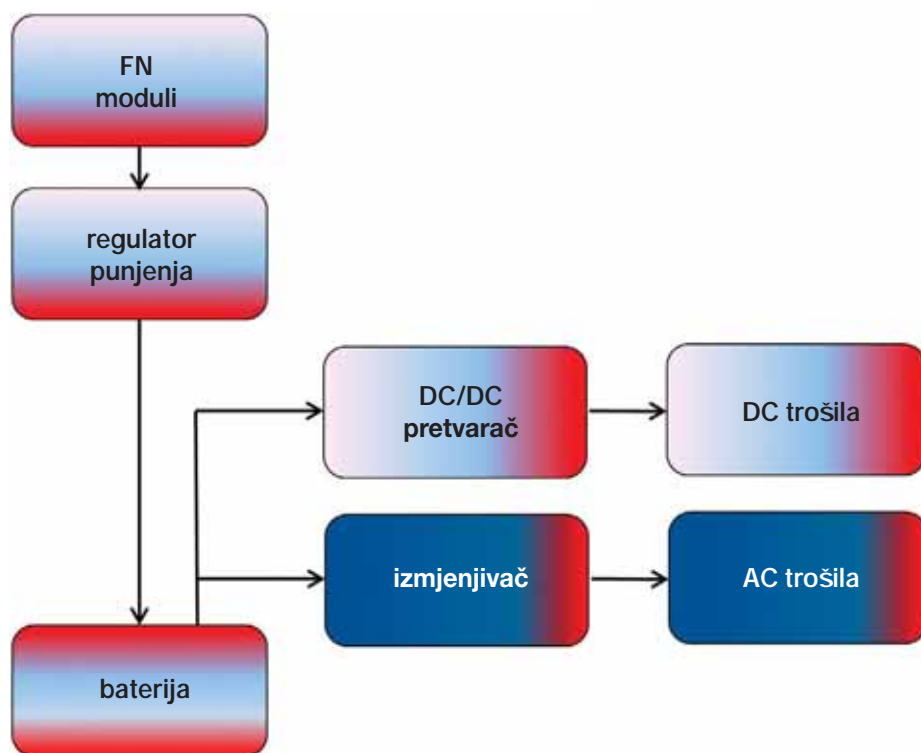
Zaključak

Ponovili smo objašnjenje principa djelovanja autonomnog izmjenjivača. Proveli smo izbor izmjenjivača za naše tri tipične baterijske banke, pokazali kao ih uvesti u shemu i na što treba pripaziti pri montaži. Za one jako zainteresirane opisali smo i osnove spajanja izmjenjivača u trofazni i paralelni spoj. U sljedećem nastavku upoznat ćemo i bidirekcijske pretvarače. To su uređaji koji osim stvaranja izmjenične mreže mogu preko sebe preuzeti i punjenje baterija, ako se na njih priključi pomoćni izvor energije - bilo generator ili uobičajena mreža. Također omogućavaju zajednički i istodobni rad pomoćnog izvora energije i izmjenjivača koji crpi energiju iz baterija. No, o svemu tome u sljedećem broju!

josip.zdenkovic@schrack.hr

Izvedba otočnog sustava

TRI AUTONOMNA IZMJENJIVAČA U TROFAZNOM SPOJU



Slika 1 Otočni fotonaponski sustav s izmjeničnim i istosmjernim trošilima.

U prethodnom članku ponovili smo objašnjenje principa djelovanja autonomnog izmjenjivača. Izabrali smo izmjenjivače za naše tri tipične baterijske banke i pokazali kako ih uvesti u shemu i na što treba pripaziti pri montaži. Opisali smo i osnove spajanja izmjenjivača u trofazni i paralelni spoj. To je bila teorija, a sad ćemo objasniti izvedbu jednog konkretnog sustava s autonomnim izmjenjivačima spojenim u trofazni spoj. No upozoravamo, ovo su sustavi koje treba dobro promisliti, naponi u njima su opasni po život. Ne radite ništa na svoju ruku bez pomoći ovlaštenog projektanta ni bez onoga koji se dokazano razumije u izvedbe takvih sustava. Ne mogu se opisati sve situacije, zato još jednom oprez! Ne radite ono za što niste osposobljeni.

Ovaj sustav projektirala je i realizirala tvrtka Controlmatik iz Šibenika. I nije nastao u jedno popodne kupnjom i odlaskom u obližnju trgovinu... Slika 1 prikazuje sustav bez pomoćnog izvora energije koji se u cijelosti oslanja na Sunce.

fotonapon na brodu

Nećemo krenuti od izrade energetske bilance trošila, što je bio projektantski put, samo ćemo reći što ovako usklađeni sustav može ostvariti. Tvrdnje i opise koji slijede već smo iscrpno objašnjavali pa ćemo ovaj put tek rutinski provjeriti usklađenost sustavnih elemenata i uštedjeti prostor za slike i izvedbene detalje.

Osnovna provjera

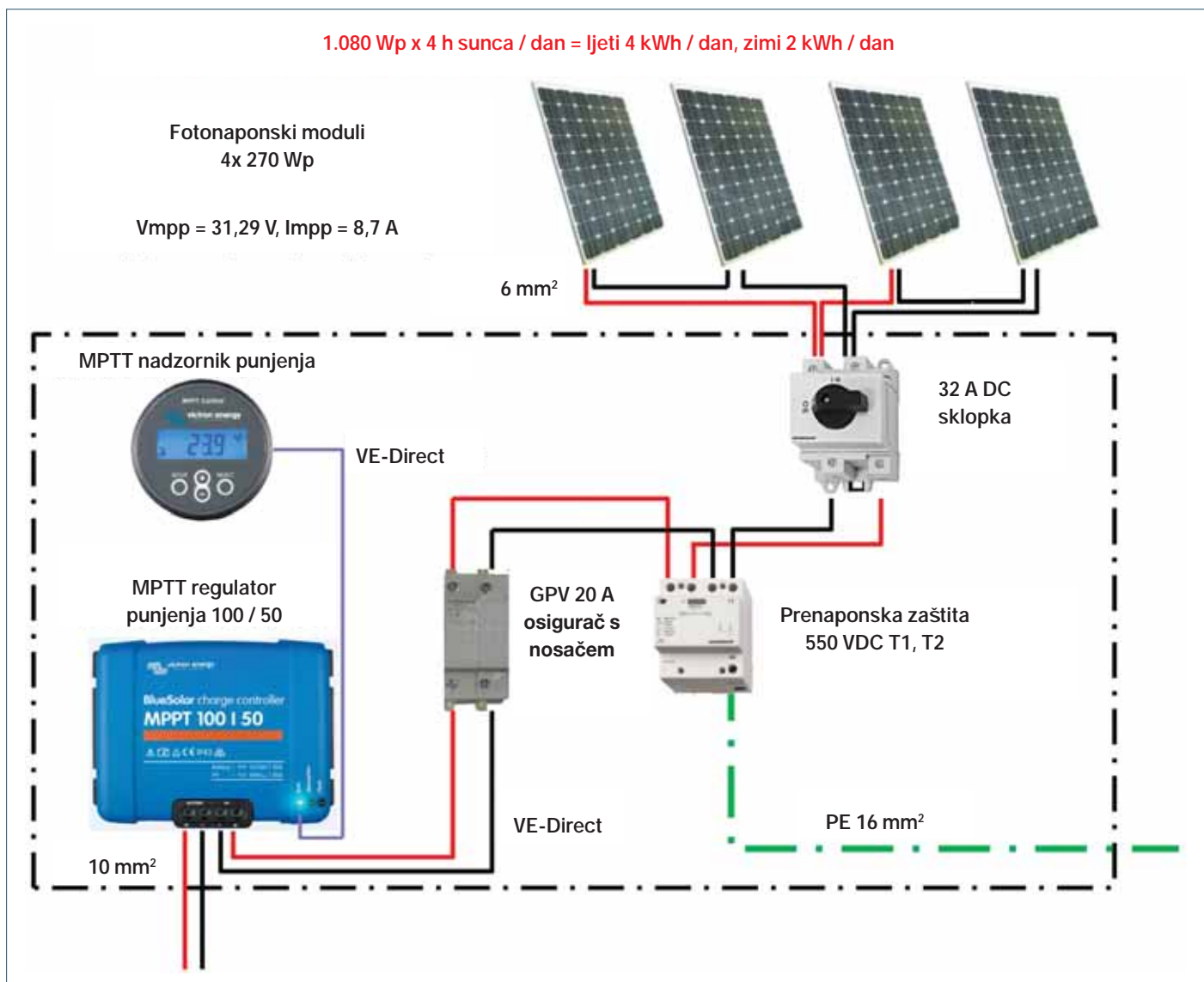
Sustav ima četiri fotonaponska modula po 270 Wp koji mogu prikupiti oko 4 h x 1080 W što daje približno 4000 Wh po ljetnom odnosno 2000 Wh po zimskom danu. To je energija koja se može iz modula usmjeriti prema bateriji, a usklađenost četiri modula, baterija i regulatora punjenja objasnili smo u ranijim nastavcima. Sustav ima četiri baterije 110 Ah C20, spojene u baterijsku banku 24 V, 220 Ah, C20. Snaga četiri modula može osigurati maksimalnu struju punjenja približno 40 A (1080 Wp / 24 V). Znamo

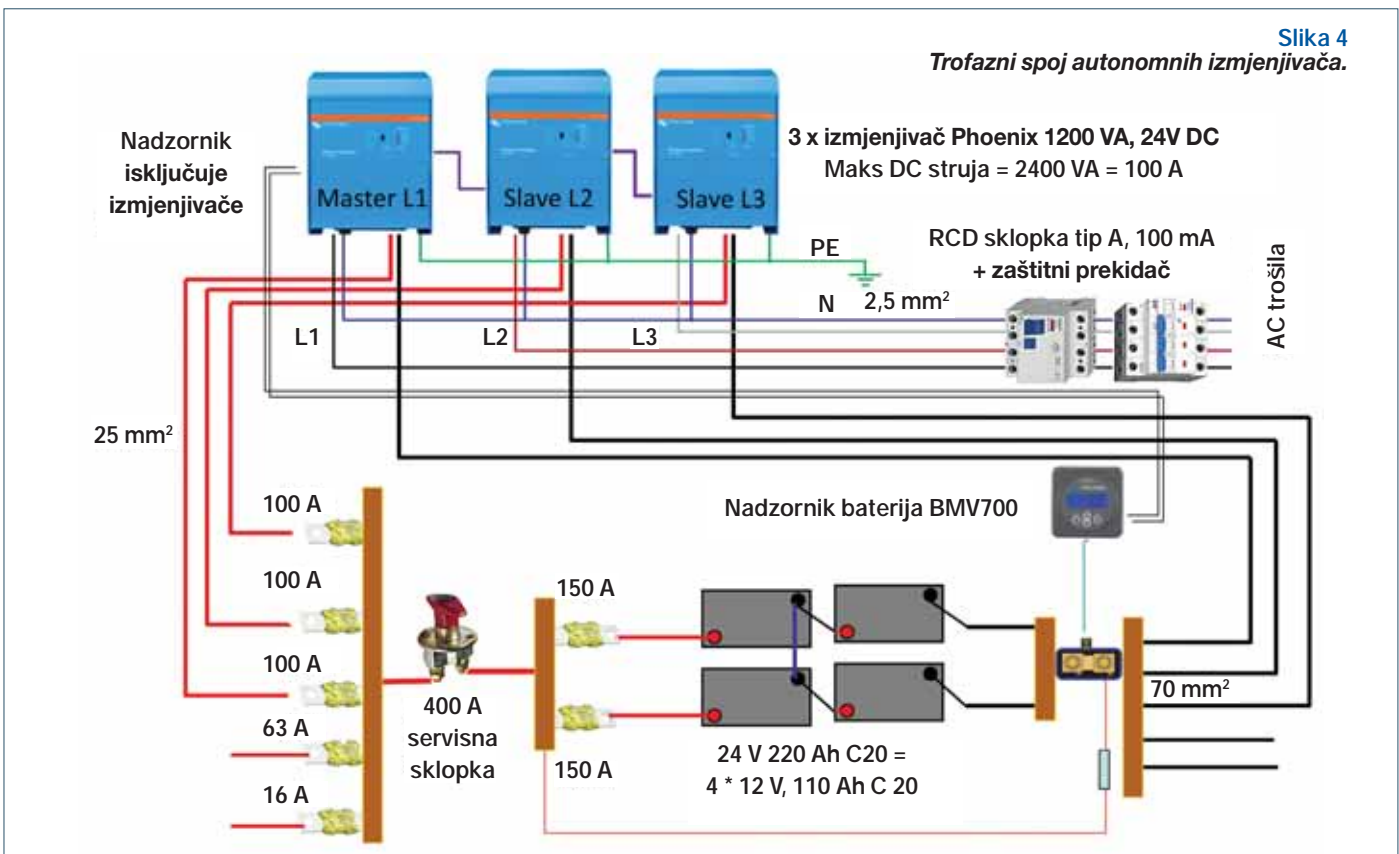
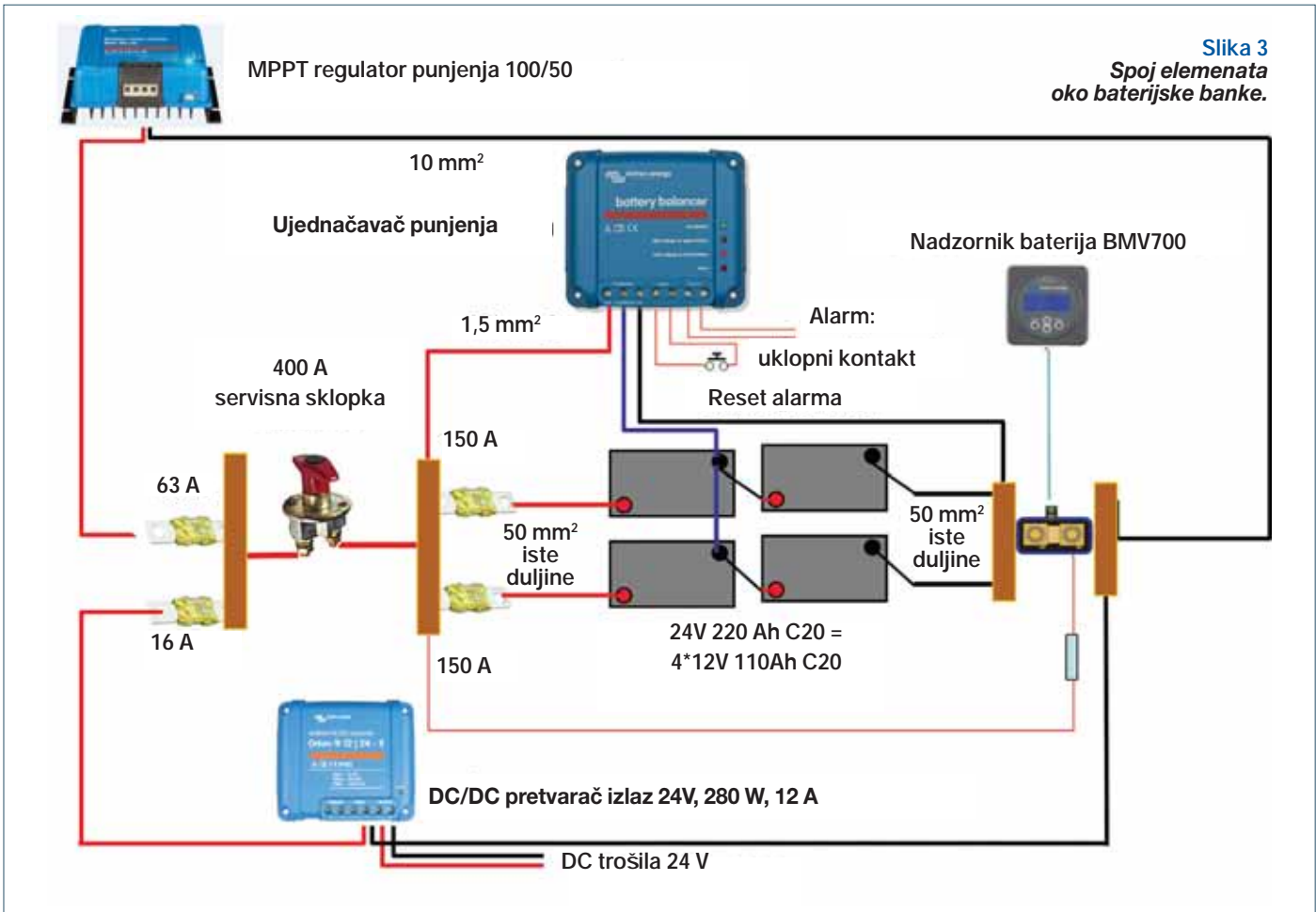
da je za olovnu bateriju poželjno da struja punjenja bude 15 do 20 % kapaciteta baterije. Ovih 40 A je 18 % kapaciteta baterije (40 A / 220 Ah) što zadovoljava. Zbog brige o što duljem životnom vijeku baterije projektno se odredilo da se trošilima smije predati samo 50 % kapaciteta pune baterije, dakle 110 Ah. Konkretno, dozvoljeno predati trošilima $110 \text{ Ah} * 24 \text{ V} = 2640 \text{ Wh}$ po danu je. Sustav je uz projektnu potrošnju od 50 % kapaciteta baterije održiv ljeti, jer se baterija može napuniti s 4000 Wh po danu, ali ta razina potrošnje nije održiva zimi, jer baterija iz modula može primiti samo oko 2000 Wh po danu. No, ako se potrošnja smanji na 1,5 kWh na dan, tada je sustav održiv i zimi i ljeti uz autonomiju jednog dana. U punoj bateriji je pohranjeno $24 \text{ V} * 220 \text{ Ah} = 5280 \text{ Wh}$ pa se pri trajnom, ustaljenom radu na nju smiju priključiti izmjenična trošila koristeći izmjenjivač tako da se ener-

gija pune baterije potroši za najkraće 5 h. To je opet zato da se postigne što duži životni vijek baterije. Maksimalna snaga izmjeničnih trošila za pražnjenje u ustaljenom radu je: $5280 \text{ Wh} : 5 \text{ h} = \text{cca } 1000 \text{ W}$. U sustavu su predviđena tri izmjenjivača od 1200 VA, no mora se paziti da trošila u ustaljenom stanju ne vuku više od 1000 W, jer bi to značilo ubrzano starenje baterije. Izmjenjivač može kratkotrajno (kroz 30 sekundi) dati 2 x nazivnu snagu. Energijom od 2640 Wh po danu sustav može napajati trošila snage 1000 W kroz 2,6 h. Nadzornik baterije omogućuje uvid u njeno stanje, no preko njegovog relejnog izlaza može se upravljati radom izmjenjivača, tj. aktivno štiti bateriju. DC trošila se napajaju preko galvanski izoliranih DC/DC pretvarača snage 280 W/24 V.

Izvedba sustava:

Slika 2 Napojna jedinica Midi 4.





fotonapon na brodu



Slika 5 Probni spoj fotonaponskih modula u radionici (lijevo) i spoj na ciljnom odredištu (desno).

Prije nego što se sustav montira na ciljnom odredištu treba ga dobro ispitati u radionici. Ne zaboravimo, ti sustavi idu uglavnom tamo gdje nema struje pa ako zapnete a nemate telefona ni interneta nećete se moći posavjetovati. Zato je bitno što više posla obaviti u radionici. A tu opet možete upasti u krajnost, jer radionica ipak nije stopostotni primjer ciljnog odredišta. I tako smo se pri ispitivanju čudili kako malo energije stvaraju moduli (slika 5 - lijevo). Iako su u radionici bili položeni horizontalno, a ne pod potrebnim nagibom, snaga očitana na MPPT nadzorniku je bila premala. Oni iskusniji već pogađaju, mali crni zaštitni uglovi za transport stvarali su sjene. Tko bi se toga sjetio, pa tako malo prekrivaju, a mi nismo dobivali ni 30 % snage! Ali, ako prelistate stare brojeve naći ćete fizikalno objašnjenje. Na slici 5 desno gdje su prikazani montirani moduli uočiti ćete hvataljku munje označenu brojem 1 u crvenom kružiću.

Na slici 6 prikazan je ormarić s elementima sa slike 2 i to redom: DC sklopka za razdvajanje modula od ostatka sustava (1), prenaponska zaštita (2), topivi osigurači pojedinih nizova modula (3), MPPT regulator punjenja (4), MPPT nadzornik (5), priključak za uzemljenje (6), prostor s uvodnicama kabela (7). Preporučujemo ipak uzeti malo veći ormarić zbog lakšeg odvoda topline, a time i dugovječnosti uređaja. Gubici MPPT regulatora su izuzetno mali 1 do 2 % no ako imamo snagu modula od 1000 Wp onda to znači 10 do 20 W disipacije snage u ovom razdjelniku. To nije dopustivo bez otvora za ventilaciju. S većim razdjelnikom proračun može pokazati da ne treba prirodna ventilacija, jer se dovoljno topline može odvesti i zračenjem preko kućišta razdjelnika.

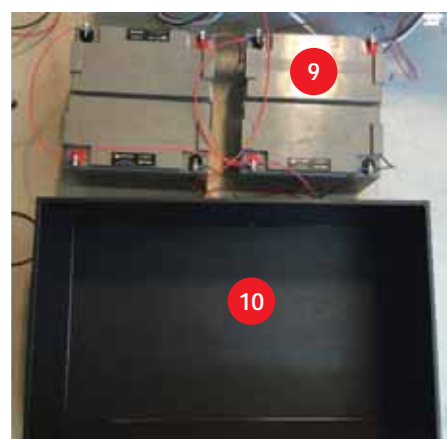


Slika 6 Razvodni ormarić između modula i baterija u radionici i na objektu.





Slika 7 Ispitivanje funkcionalnosti tri autonomna izmjenjivača.



Slika 8 Sustav nakon ispitivanja.

Na [slici 7](#) je prikazano kako to izgleda kada se ispituje sustav. Sve vrvi od žica, kabelski kanali su otvoreni, baterije su probno spojene neodgovarajućim presjekom.

No, kako se ispitivanje bliži kraju, a sve očekivano radi, zatvaraju se kanali i oprema se sprema za isporuku ([slika 8](#)): autonomni izmjenjivači (1, 2, 3), DC/DC pretvarač (4), uređaj za ujednačavanje baterija (5), mjerni član nadzornika baterija (6), topivi osigurači u plus polu (7), servisna sklopka (8), baterijski slog (9) i kutija za smještaj baterija (10).

Obratite pažnju na detalj servisne sklopke - ona mora odgovarati strujama koje će prolaziti kroz nju ([slika 9](#)). Istosmjerna struja je izuzetno neugodna jer pri rasklapanju kruga nastaje luk sve dok se dijelovi sklopke dostatno ne razmaknu. Zato treba pomno čitati upute proizvođača.



Slika 9 Servisna sklopka i detalj ugradnje.

fotonapon na brodu



Slika 10 MPPT nadzornik (lijevo) i nadzornik baterija (desno).

Dva uređaja na slici 10. izgledaju sa zadnje strane potpuno jednako i tek ih naljepnica i prednja strana razlikuje. MPPT nadzornik se spaja na MPPT regulator preko Ve direct sučelja (3) i zapravo ništa više ne mora biti spojeno, dok se nadzornik baterija spaja preko sučelja (1) kabelom koji se dobiva pri isporuci, a stezaljke (2) služe kao izlaz programabilnog releja kojim se blokira rad izmjenjivača. Crni dio (4) je zujalica koja se može programirati za zujanje i zvučno upozorenje pri određenim događajima.

Na slici 11 koja prikazuje opremu montiranu na odredištu, uočava se: pokazivač nadzornika baterije (1), ručica servisne sklopke (2), baterije smještene u zaštitnoj kadi (3), gornji dio otvorenog razdjelnika (4) i donji dio otvorenog razdjelnika (5). Vidi se kako su sada baterije povezane kabelom odgovarajućeg presjeka kao i zaštitne prepreke od izravnog dodira dijelova pod naponom (5).

Zaključak

Nadamo se da smo vam ovim prikazom približili kako to izvode profesionalci. Zahvaljujemo tvrtki Controlmatik što nam je ustupila fotografije i dozvolila objaviti opis tog rješenja koji gotovo idealno prati prethodni članak. Ponavljamo, sve to je posao za profesionalce pa je nužan velik oprez - ne činite ništa sami bez pomoći stručnjaka. Iako sve izgleda sigurno i jednostavno ne riskirajte zdravlje i u konačnici život.

josip.zdenkovic@schrack.hr



Slika 11 Oprema montirana na odredištu.