

Off-grid solarno napajanje rezonantnog vibracionog dozatora sa elektromagnetnom pobudom

Željko V. Despotović, Uroš Ilić

Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Rezime - Vibracione hranilice ili dozatori (popularno na zvani kao "vibracioni fideri") sa elektromagnetnom pobudom koji su prilagođeni za rad u režimu mehaničke rezonance su se pokazali kao veoma energetske efikasan način za doziranje rasutih i zrnastih materijala. Standardni mrežni rezonantni vibracioni fideri se napajaju iz mrežnog napajanja 230 V, 50 Hz pri čemu se vrši pretvaranje mrežnog napona u jednosmerni napon 300 Vdc, a iz ovog napona se odgovarajućim DC/AC pretvaračem napaja namotaj pobudnog elektromagneta vibracionog dozatora. U ovom radu je prikazan "off-grid" solarno napajan sistem vibracionog fidera u kojem se pored PV panela koristi baterijska banka 24Vdc. Punjenje baterijske banke se ostvaruje sa solarnim MPPT regulatorom dok se prilagođenje DC napajanja izlaznog DC/AC pretvarača vibracionog dozatora ostvaruje DC/DC pretvaračem podizačem napona 24 Vdc/300 Vdc. U radu su prikazani metodologija i rezultati proračuna predloženog sistema kao i DC/DC pretvarača. Tehničko rešenje predstavljeno u ovom radu bi imalo potencijalnu mogućnost primene u sistemima za doziranje hrane na ribnjacima, doziranje zrnaste hrane za ptice u rezervatima i ruralnim sredinama i sličnim aplikacijama gde se zahteva doziranje sitnozrnastih materijala.

Glavne reči - solarni sistemi, off-grid napajanje, vibracioni dozatori, mehanička rezonanca, DC/DC pretvarač, DC/AC pretvarač

1 UVOD

Prerađivačka i proizvodna industrija neprestano se razvijaju kako bi zadovoljile zahteve kupaca. Da bi unapredili proizvodne procese proizvođači integrišu vibracione dozatore i hranilice u svoje aplikacije. Dodatnu motivaciju predstavljaju optimizacija proizvodnih procesa u cilju dobijanja ekonomične i adekvatne alternative manuelnim operacijama i manuelnom radu. Ovi mehanički uređaji su relevantni za sve industrije, uključujući proizvode široke potrošnje, medicinsku, farmaceutsku, automobilsku, proizvodnju električnih komponenti, industrije hrane i sl., takođe se može reći da su u ovim oblastima vibracioni dozatori i hranilice postali standardna i neodvojiva komponenta fleksibilne automatizacije.

U novije vreme se ove vibracione naprave sve više koriste i u aplikacijama za doziranje krupnozrnastih i sitnozrnastih materija, koje čine osnovu ishrane životinja u rezervatima i riba u jezerima i morskim priobalju. U slučajevima kada je mrežno napajanje dostupno vibracioni sistem za doziranje hrane predstavlja neprekidni sistem za dopremanje i doziranje. U slučajevima kada mrežno napajanje nije dostupno (ruralne sredine, rezervati,

ribnjaci na jezerskim pontonima i sl.) nameće se korišćenje obnovljivih izvora energije (OIE), a pre svih sunca, vetra, a na morskim priobaljima i energija plime i oseke. U ovim slučajevima se kao dodatna oprema koriste uređaji energetske elektronike kako bi se obezbedila besprekidnost i autonomija rada ovih sistema.

U suštini mehanički deo sistema za doziranje je baziran na korišćenju vibracija za transport pomenutih zrnastih ili rasutih materijala. Ukoliko se primeni rad u mehaničkom rezonantnom opsegu uz ograničenje amplitude vibracija na razumne vrednosti, onda je moguće postići relativno malu potrošnju pogonskih vibracionih jedinica. Inače u ovim sistemima se po pravilu koriste elektromagnetni vibracioni aktuatori koji vrše male vibracione pomeraje (0.2÷5) mm pobuđujući noseći transportni deo kojim se vrši doziranje rasutog materijala. Primenom energetske pretvarače je moguće ostvariti kontrolu amplitude i učestanosti vibracija. Ova dva parametra su najbitniji za optimizaciju vibracionog transporta.

U poslednje dve decenije uzgoj ribe je na svetskom postao jedan od ključnih faktora u proizvodnji hrane za čovečanstvo. Pored uzgoja ribe nametnuo se kao njegov neodvojivi deo i sistem za praćenje kvaliteta vode koji igra veoma važnu ulogu u cilju uravnoteženja i održavanja stanja ribnjaka za rast i zdravlje ribe u njemu [1-3].

Usled porasta potražnje za ribom i morskim plodovima, savremena tehnologija je omogućila uzgoj hrane kako u obalnim vodama, tako i na otvorenom okeanu. Ovaj proces se naziva akvakultura – metoda koja se primenjuje za proizvodnju hrane i komercijalnih proizvoda, ali i za obnovu divljih zaliha, prirodnih staništa i ugroženih populacija. Prema tipu vode, akvakultura se deli na dve glavne vrste: morskou i slatkovodnu..

U oba prethodna slučaja, svako kašnjenje u procesu hranjenja može uticati na kvalitet ribe kao što su veličina, manja zrelost i stanje. Iz ovih razloga se teži automatskim sistemima hranjenja, kojima se postiže savršeno rešenje za pružanje tačne i isplative hrane u svakom ribnjaku. Implementacijom automatskog sistema hranjenja se postiže pravilno, efikasno i energetske održivo hranjenje [4].

Pored ribnjaka postoje i drugi sistemi hranjenja koji se odnose na automatizovanu i kontrolisanu ishranu ptica i drugih životinjskih vrsta u ruralnim sredinama i rezervatima. I u ovim slučajevima itekako imaju smisla automatizovani i inteligentni sistemi hranjenja. U referenci [4] je prikazano istraživanje koje se fokusira na proučavanje različitih vrsta inteligentnog hranjenja i

razvoj mašina i mehanizama pogodnih za implementaciju strategije hranjenja. Studija prikazana u referenci [5] pruža informacije za unapređenje opreme koja se koristi za hranjenje u agrikulturi i akvakulturi počev od opšte automatizacije do inteligentnog upravljanja.

U većini prethodno opisanih slučajeva radi se o prehrani koja ima sitno- zrnasti karakter tako da se u automatizovanim sistemima optimizacija procesa ishrane svodi na inteligentnu kontrolu transporta i doziranja rasutih materijala. U ovim sistemima se najčešće koriste tračni, pužni i vibracioni dozatori.

Vibracioni dozatori sa elektromagnetnom pobudom u pomenutim sistemima su postali naročito interesantni za ostvarivanje zadatog gravimetrijskog protoka i doziranja rasutih materijala. Ostvarivanjem slobodnih vibracija promenljivog intenziteta i učestanosti u širokom opsegu, posredstvom elektromagnetnog vibracionog aktuatora, podesnog energetskog pretvarača i pripadajućeg kontrolera se obezbeđuje kontinualni transport i precizno doziranje rasutih materijala pri različitim eksploatacionim uslovima.

Najveći problem je taj što bilo da se radi o ribnjacima ili udaljenim rezervatima gde žive neke retke životinjske vrste, za napajanje pomenute opreme za kontrolu hranjenja, obično ne postoji elektroenergetska napojna mreža, tako da je jedini način održivosti ovih automatizovanih sistema korišćenje OIE, pre svega vetra i sunca. Obično se napajanje ovih automatizovanih sistema i sistema za merenje kvaliteta bilo vode ili vazduha, ostvaruje iz fotonaponskih panela i baterija, Ovo dalje podrazumeva korišćenje energetskih sistema za pretvaranje sunčeve energije u električnu energiju. Obzirom da su ovi sistemi na udaljenim i nepristupačnim lokacijama, onda se može govoriti o "off-grid" sistemima specijalne namene.

Danas se kao standardni poluprovodnički izlazni stepeni snage za kontrolu vibracionih dozatora koriste tiristori i trijaci. Njihova upotreba podrazumeva korišćenje mrežnog napajanja i fazne kontrole. Obzirom da je učestanost napojne mreže fiksna, promenom faznog ugla, moguće je postići jedino podešavanje amplitude oscilacija dozatora ali ne i njegove učestanosti vibracija. Učestanost vibracija ima značajan uticaj na optimizaciju vibracionog transporta i doziranja rasutih materijala[6].

Tranzistorskim pretvaračima sa strujnom kontrolom je moguće ostvariti amplitudsku i (ili) frekventnu kontrolu vibracionih dozatora posredstvom jednosmernog ulaznog napajanja koji se upravo koristi "off-grid" solarnim sistema, kod kojih inače mrežno napajanje nije dostupno. Veoma bitna činjenica je da se optimizacija transporta pomenutih rasutih materijala može ostvariti amplitudsko-frekventnom kontrolom. Frekventna kontrola obezbeđuje rad vibracionih dozatora u oblasti mehaničke rezonance. Rad u rezonantnom opsegu je energetski povoljan, obzirom da se tada ima minimalna potrošnja energije [7-10].

U radu je predstavljeno jedno moguće rešenje amplitudsko-frekventne kontrole elektromagnetnih vibracionih dozatora posredstvom strujno kontrolisanog tranzistorskog energetskog pretvarača podizača koji se napaja iz jednosmernog baterijskog napona 24Vdc a na izlazu daje napon od 300Vdc koji služi za

napajanje vibracionog kontrolera baziranog na IGBT prekidačima.

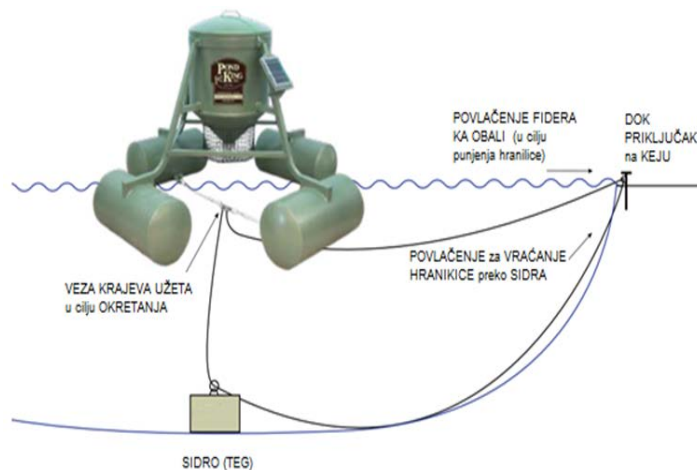
Punjenje baterijske banke se ostvaruje sa solarnim MPPT regulatorom dok se prilagođenje DC napajanja izlaznog DC/AC pretvarača vibracionog dozatora baterijskom napajanju ostvaruje DC/DC pretvaračem podizačem napona 24Vdc/300Vdc. U radu su prikazani metodologija i rezultati proračuna predloženog sistema kao i DC/DC pretvarača. Tehničko rešenje predstavljeno u ovom radu bi moglo imati potencijalnu mogućnost primene u "off-grid" sistemima za doziranje hrane na ribnjacima, doziranje zrnaste hrane za ptice u rezervatima i ruralnim sredinama i sličnim aplikacijama gde se zahteva doziranje sitnozrnastih materijala.

II PRIMERI DOZATORA I HRANILICA IZ PRAKSE

Uzgoj ribe podrazumeva veliku stavku u budžetu korisnika, naročito kada se radi o ručnom hranjenju ribe. Takođe, količina hrane koja se dozira, se obično razlikuje od one koja je potrebna, i ova neusklađenost je posledica ljudske greške. Ovo može dovesti do pothranjenosti ili prehranjenosti ribe. Stoga su automatske hranilice za ribu adekvatno rešenje i tako su dimenzionisane da distribuiraju tačnu količinu hrane u određeno vreme za datu lokaciju. Na ovaj način, automatizovan uređaj za ishranu koji je hrani ribu u tačno preciziranim trenucima i sa propisanom količinom može sprečiti preterano hranjenje ribe [1], [11].

Štaviše, svako kašnjenje u procesu hranjenja može uticati kvalitet ribe kao što je veličina ribe, manja zrelost i stanje ribe. Automatski sistem hranjenja je savršeno rešenje za pružanje tačne i isplative hrane za svaki ribnjak. Implementacijom automatskog sistema hranjenja moglo bi se postići pravilno i efikasno hranjenje [4].

Na slici 1 je dat principski prikaz plutajuće hranilice za ribe proizvodnje POND KING [12]. Plutajuća hranilica se za neku određenu lokaciju vezuje za podvodno sidro i za obalu, preko odgovarajućih užadi.

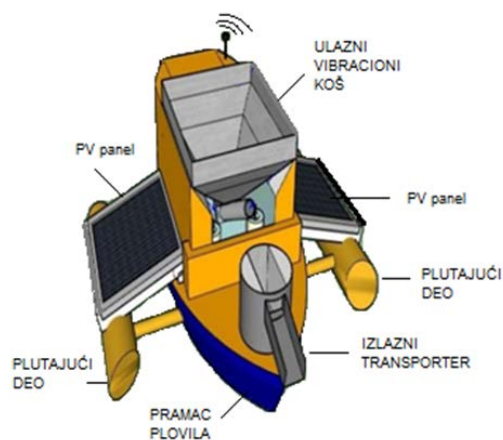


Slika 1. Plutajuća solarna hranilica sa užadima [12]

Užad su tako povezana da se plutajuća hranilica može nesmetano pomerati oko tačke fiksiranja koja se nalazi na obali ili keju. Napajanje opreme i pogona za doziranje se ostvaruje solarnim

panelom odgovarajuće snage i pripadajućim uređajima energetske elektronike (MPPT solarni punjač).

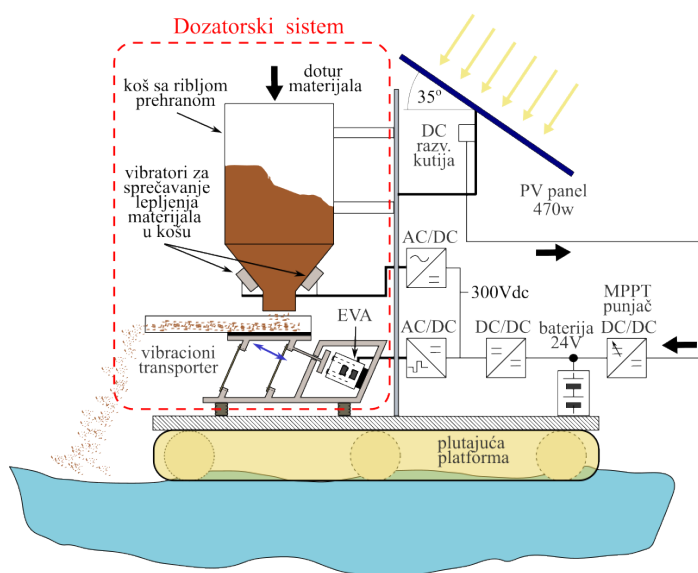
U referenci [1] je prikazana mobilna solarna hranilica (prikaz na Slici 2) koja dodatno može da posredstvom odgovarajuće opreme vrši merenja i proveru kvaliteta vode. Mobilna hranilica se može daljinski kontrolisati ili automatizovati u zavisnosti od lokacije i područja koje pokriva.



Slika 2. Mobilna plutajuća solarna hranilica [1]

III PREDLOŽENO OFF-GRID SOLARNO NAPAJANJE VIBRACIONOG DOZATORA HRANILICE

Na slici 3 je dat prikaz vibracione hranilice koja se napaja posredstvom "off-grid" sistema korišćenjem sunčeve energije i rezonantnog vibracionog transportera sa elektromagnetnom pobudom. Ovaj transporter u ovoj konfiguraciji ima ulogu vibracionog dozatora i služi za "izvlačenje" i doziranje sitnozrnog materijala (riblja hrana) prema utvrđenom vremenskom algoritmu i sekvencama ishrane. Na obodu koša su postavljeni vibracioni aktuatori koji posredstvom vibracija obezbeđuju sprečavanje taloženja i lepljenja materijala pri dnu.



Slika 3. "Off-grid" solarno napajanje vibracione plutajuće hranilice

Elektromagnetna pobuda vibracionog transportera se napaja posredstvom DC/AC pretvarača specijalne namene koji generiše pobudne strujne impulse i obezbeđuje pobudu vibracionog transportera na mehaničkoj rezonantnoj učestanosti. Obzirom da je mehanička rezonantna učestanost promenljiva jer se menja količina materijala na transportnom koritu, potrebno je za optimizaciju rada vibracionog transportera obezbediti promenu učestanosti pobudnih impulsa. Pored promene učestanosti ovaj energetski pretvarač mora da obezbedi i podešavanje trajanja strujnih impulsa za pobudu elektromagneta, a na ovaj način i amplitudu oscilacija vibracionog korita, odnosno gravimetrijski (maseni) protok materijala u hranilici. Ovaj tip DC/AC energetskog pretvarača je detaljno opisan u referencama [13-18].

Pobuda elektromagnetnih vibracionih aktuatora na obodu koša se ostvaruje DC/AC pretvaračem fiksne učestanosti i promenljive amplitude pobudne sile. Ovaj sistem radi u nad-rezonantnom opsegu i uključuje se povremeno po potrebi, kada dođe do taloženja i lepljenja materijala po obodu koša.

Snaga potrebna za doziranje sitnozrnog materijala je oko 25 W pri impulsnom naponu pravougaonog oblika amplitude 300 V. Pri ovoj maksimalnoj snazi se obezbeđuje protočnost materijala koja zadovoljava zahteve izvlačenja i doziranja riblje hrane (≈ 5 kg/min). Obzirom da se radi o rezonantnom pogonu, ova snaga se troši na pokrivanje gubitaka od kojih su dominantni gubici u namotaju elektromagnetnog aktuatora. Od ukupnih gubitaka u sistemu ovi gubici iznose oko 85%. Obzirom da se vibracioni mehanički sistem napaja iz DC/AC pretvarača ulazna snaga ovog sklopa P_{v1} je uvećana zbog gubitaka u energetskom pretvaraču.

Pod pretpostavkom da je efikasnost energetskog pretvarača 92%, ulazna električna snaga ovog sklopa je $P_1^* = P_{v1}/\eta = 25 \text{ W}/0,92 = 27,2 \text{ W}$. Obzirom da vibracioni sistem za doziranje radi sa određenom intermitencijom, usvojen je faktor jednovremenosti $K_{j1}=0,33$, tako da je potrebna srednja vrednost snage $P_1 = 27,2 \text{ W}/3 \approx 9 \text{ W}$.

Vibracioni pobuđivači koji se montiraju na obodu koša su svaki snage od 15W i ukupna ulazna snaga ovog sistema je $P_2^* = 2 \times 15 \text{ W}/0,92 = 32,6 \text{ W}$. I u ovom slučaju je pretpostavljeno da je efikasnost pripadajućeg DC/AC pretvarača 92%. Treba napomenuti da ovaj sistem za sprečavanje lepljenja materijala na košu nije u stalnom radu već se uključuje po potrebi, tako da ako se usvoji faktor jednovremenosti snage $K_{j2}=0,2$ za ovaj sistem se dobija da je ukupna potrebna snaga $P_2 = 32,6/5 \approx 6,5 \text{ W}$. Dakle ukupna snaga potrebna električna snaga potrebna za doziranje u ovom slučaju je $\sum P_v = P_1 + P_2 = 9 + 6,5 = 15,5 \text{ W}$. Uz odgovarajuću rezervu usvojena snaga potrošnje za ovaj sistem je $\approx 16 \text{ W}$.

IV PRORAČUN SOLARNOG NAPAJANJA REZONANTNOG DOZATORA

U ovom poglavlju će biti dati proračuni i izbor solarnog panela, MPPT solarnog punjača i kapaciteta baterije 24 Vdc. Proračun sistema je baziran na principskoj blok šemi prikazanoj na Slici 4.

Ključni element u sistemu od koga dalje sve zavisi je baterija, njen kapacitet i vreme autonomije. Kapacitet baterije je izračunat iz relacije:

$$C[\text{Ah}] = \frac{E[\text{Wh}] \cdot N_d}{U_{\text{bat_nom}} \cdot \text{DOD} \cdot K_\theta \cdot \eta_{\text{bat}}} \quad (1)$$

gde su:

$E[\text{Wh}]$ – ukupna dnevna potrošnja pri zadatoj vrednosti snage potrošnje; u ovom slučaju je usvojeno da je $E=384 \text{ Wh}$,

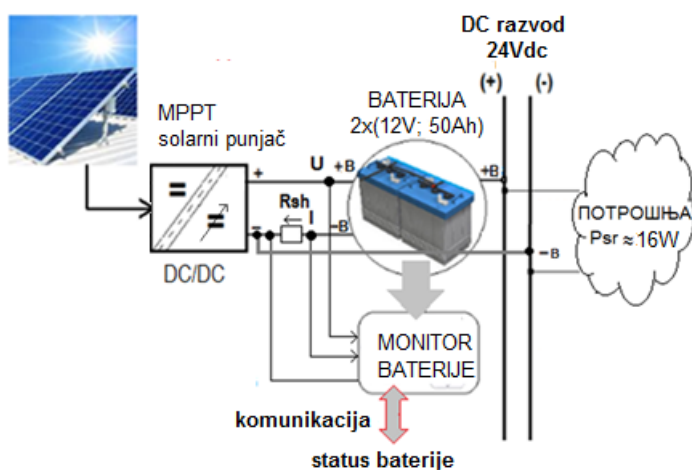
N_d – broj dana autonomije baterije (nema dopunjavanja baterije iz PV panela); pretpostavlja se da je u početnom trenutku baterija napunjena 100%, odnosno da je parametar $\text{SOC}=100\%$. U ovom konkretnom slučaju je usvojena vrednost $N_d=3$,

U_{bat_nom} – nominalni napon baterije, odnosno 24Vdc ,

DOD – dubina pražnjenja baterije (“depth of discharge”); usvojeno je da je u ovom ekstremnom slučaju 80% ,

K_θ – koeficijent koji uzima u obzir temperaturni uticaj na kapacitet baterije; u ovom slučaju je usvojeno $K_\theta=1$,

η_{bat} – stepen iskorišćenja baterije; indirektno se njime uzimaju u obzir gubici koji potiču od unutrašnje otpornosti baterije; za ovaj slučaj je usvojena vrednost od $0,98$.



Slika 4. Blok šema solarnog sistema za napajanje vibracione hranilice rezonantnog tipa

Za slučaj srednje potrošnje od 26 W (384 Wh), dubine pražnjenja $\text{DOD}\%=80\%$ i autonomije od $N_d=3$ dana, potreban kapacitet baterije je:

$$C[\text{Ah}] = \frac{E[\text{Wh}] \cdot N_d}{U_{bat_nom} \cdot \text{DOD} \cdot K_\theta \cdot \eta_p} = \frac{384 \cdot 3}{24 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,98} \approx 61,22 \text{ Ah}$$

Usvojene su dve baterije $U_n=12 \text{ V}$, $C^*=65 \text{ Ah}$, tipa Deka DP24 AGM Vrla.

Potrebna snaga solarnog panela se dobija iz relacije :

$$P_{PV} = \frac{E}{N_{vs} \cdot K_k \cdot K_\theta} \quad (2)$$

gde su:

N_{vs} – broj sati vršnog sunca,

K_k – koeficijent usled gubitaka u kablovima i spojevima na DC strani,

K_θ – temperaturni korekcionni koeficijent.

Obzirom da pored napajanja potrošnje, solarni panel treba da obezbedi i punjenje baterije procenjena je ukupna energija koju PV panel treba da obezbedi. Izlazni napon MPPT solarnog punjača (izabran je solarni punjač BLUE SOLAR MPPT 100/15 VICTRON) pri punjenju baterije približno jednak $28,6 \text{ V}$ i pri

izlaznoj struji od 6 A se na njegovom izlazu obezbeđuje snaga od $171,6 \text{ W}$. Obzirom da je efikasnost MPPT punjača $\eta_{mppt}=96\%$ ulazna snaga punjača pri ovim uslovima je $171,6 \text{ W} / 0,96=178,75\text{W}$. Obzirom da je prema projektnom zahtevu period korišćenja hranilice tokom godine je MART-OKTOBAAR, usvojen je prema analizi sunčevih zračenja (insolacija) za datu lokaciju (Beograd) broj vršnih sati sunca $N_{vs}=2 \text{ h}$ (pesimistička pretpostavka). Energija koju punjač može da dobije od PV panela kako bi punio bateriju pri ovim uslovima je $178,75 \text{ W} \times 2 \text{ h} = 357,5 \text{ Wh}$. Ukupna energija koju PV panel treba da isporuči potrošačima (MPPT punjač i potrošnja sistem za doziranje je $E=357,5 \text{ Wh} + 384 \text{ Wh}= 742,5 \text{ Wh}$.

U proračunu je usvojeno da su $K_k=0,98$ (gubici u napojnim kablovima oko 2%) i $K_\theta=0,8$ (kritičan letnji period kada se ima najveća temperatura na površini PV panela, kada je pad snage za oko 20%). Zameno vrednosti u izraz 2, dobija se zahtevana vrednost snage solarnog panela od 473 W .

Usvojen je solarni panel snage 470 W_p , dimenzija $1,8 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$. Pri insolaciji 1000 W/m^2 napon u MPPT tački je $U_{mpp}=35,3 \text{ V}$, a struja $I_{mpp}=13,6 \text{ A}$, efikasnost PV panela 22% . Pri insolaciji 800 W/m^2 (realan slučaj) snaga je 365 W_p pri $U_{mpp}=33 \text{ V}$, $I_{mpp}=11 \text{ A}$.

Provera proračuna u PVGIS simulatoru

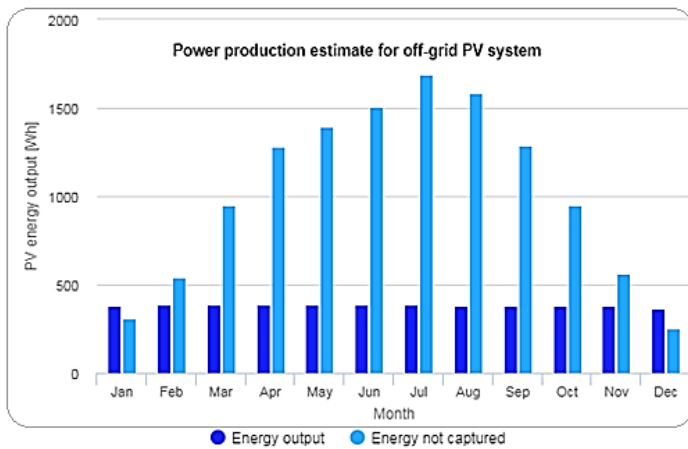
Projektovani podaci su verifikovani u PVGIS simulatoru sa bazom podataka solarnih insolacija PVGIS-SARAH3 za lokaciju Beograda. U Tabeli 1 su prikazani ulazni podaci za PVGIS simulator i za datu lokaciju. Nagibni ugao PV panela za datu lokaciju je 35° , pretpostavljeno je da je azimutni ugao 0° (PV panel okrenut ka jugu).

Tabela 1. Ulazni podaci i rezultati proračuna za solarni Off-grid sistem

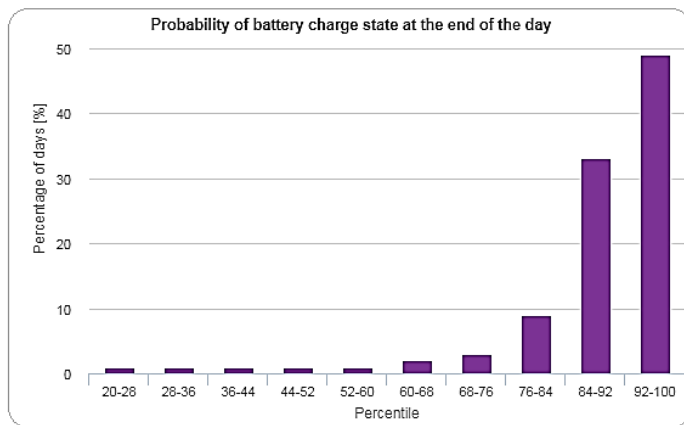
Lokacija [Lat/Lon]:	44,804, 20,446
PV instalisana snaga [W_p]:	470
Energija baterije [Wh]:	1560
Stepen ispražnjenosti (“cutoff” limit) [%]:	20
Dnevna potrošnja [Wh]:	384
Nagibni ugao [$^\circ$]:	35
Azimutni ugao [$^\circ$]:	0
REZULTATI SIMULACIJE :	
Procentualni broj dana sa punom baterijom [%]:	81,25
Procentualni broj dana sa praznom baterijom [%]:	1,69
Prosečna neuhvaćena energija [Wh]:	1265,51
Prosečna energija koja nedostaje [Wh]:	120,8

Na slici 5 je data procena proizvodnje solarnog sistema za napajanje hranilice, gde se uočava da je najveća proizvodnja u periodu MART-OKTOBAR.

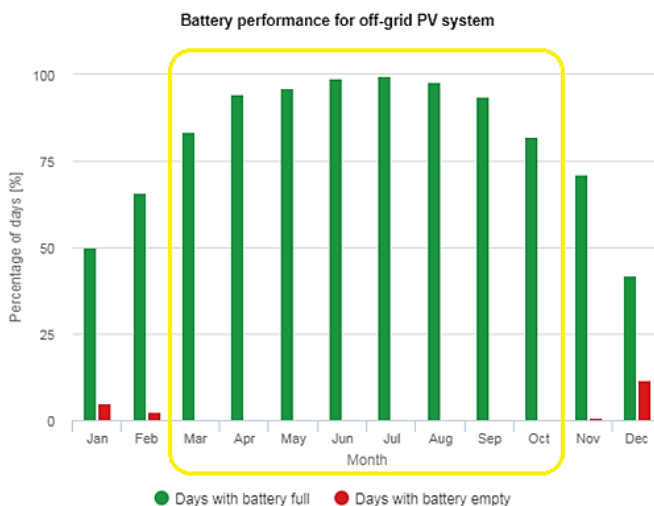
Na slici 6 je prikazan dijagram verovatnoće napunjenosti baterije na kraju dana za datu lokaciju, dok su na slici 7 prikazane performanse baterije po mesecima (procenat dana kada je baterija puna, odnosno kada je prazna).



Slika 5. Procena proizvodnje za dati „off-grid“ PV sistem napajanja vibracionog dozatora



Slika 6. Verovatnoća stanja napunjenosti baterije na kraju dana



Slika 7. Performanse baterije za projektovani „off-grid“ sistem

Sa dijagrama na Slikama 6 i 7 se dobija da u zahtevanom periodu MART-OKT status napunjenosti baterije je između 75% i 98%. Sa dijagrama na Slici 6 se vidi da je verovatnoća napunjenosti baterije za SOC% između 92% i 100%, oko 50%, kao i da je verovatnoća napunjenosti baterije za SOC% između 84% i 92%, oko 35%. Sa dijagrama na Slici 7 se uočava da u periodu MART-

OKTOBAR ne postoje dani kada je baterija prazna.

III DC/AC/DC NAPAJANJE VIBRACIONOG DOZATORA

DC/DC/AC napajanje vibracionog dozatora se sastoji od ulaznog DC/DC pre-regulatora podizача napona 24 Vdc/300 Vdc i izlaznog stepena DC/AC pretvarača sa kontrolisanom promenom širine impulsa (slika 8). Opseg promene ulaznog DC napona je $20 \div 28$ V, što je tipično za aplikacije sa baterijama nominalnog napona 24 Vdc. Izlazni AC napon je promenljive učestanosti i amplitude sinusnog trougaonog impulsa za pobudu elektromagnetnog pogona vibracionog transportera u sklopu sistema doziranja.

Izlazni stepen je realizovan kao asimetrični IGBT polumost čiji je ulazni DC napon 300 Vdc. Pobude energetske IGBT prekidača Q1 i Q2 su optički izolovane od digitalnog upravljačkog kola baziranog na modulu SbRIO-9636 proizvodnje National Instruments.

Merenje struje elektromagnetnog aktuatora se ostvaruje LEM strujnim modulom sa *Hall* senzorom, dok se merenje napona aktuatora ostvaruje naponskim LEM modulom. Na ovaj način je ostvarena povratna sprega po struji i naponu vibracionog aktuatora. U sistemu je implementirana još jedna povratna sprega, po vibracionom pomeraju transportnog elementa dozatora-*p* ostvarena beskontaktnim induktivnim senzorom sa analognim izlazom. Ova povratna sprega obezbeđuje kontrolu protoka sitnozrnog materijala (riblje hrane), odnosno intenzitet njegovog doziranja.

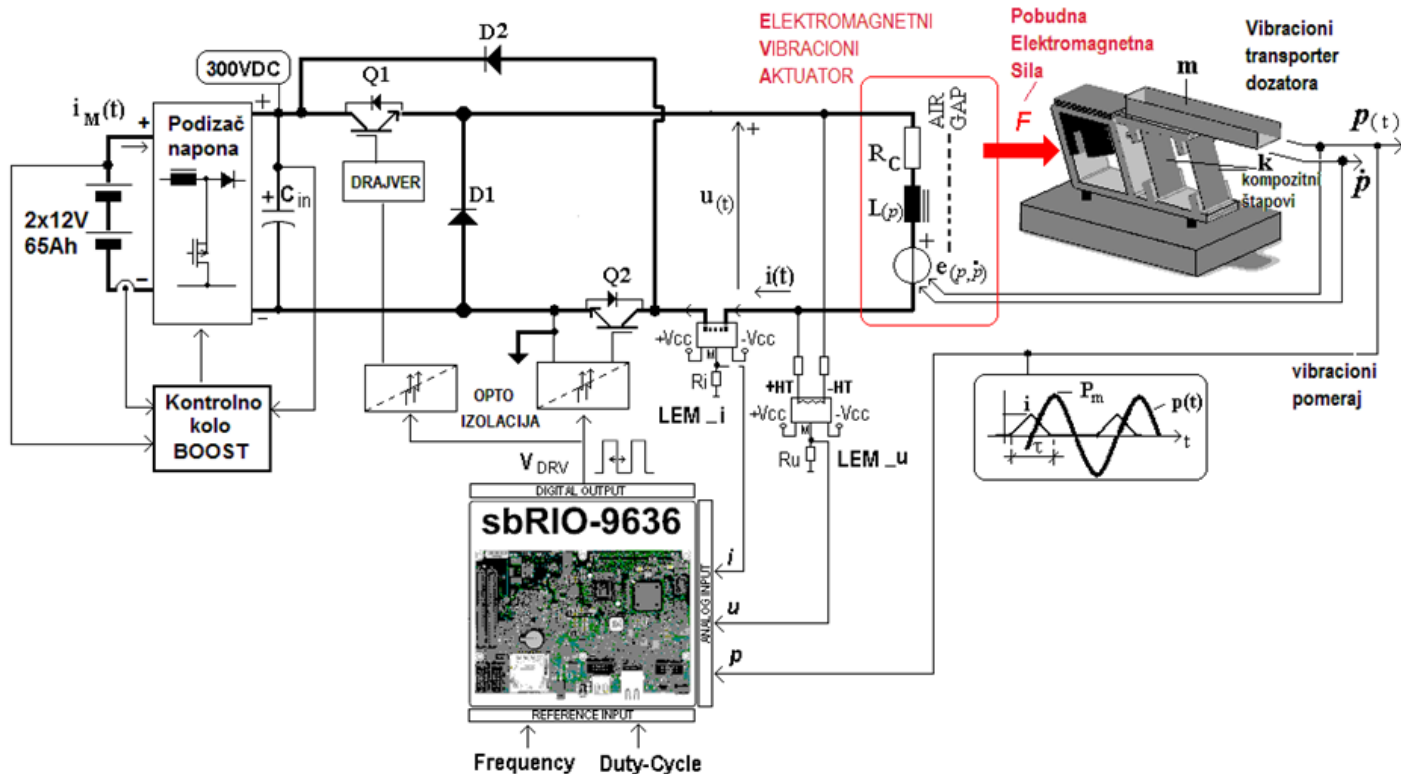
Na osnovu ove tri povratne sprege i na osnovu zadatih vrednosti frekvencije i zadate širine pobudnog impulsa IGBT prekidača Q1 i Q2 obezbeđena je kontrola vibracionog transporta rasutog materijala u sistemu doziranja riblje hrane. Podizач napona obezbeđuje prilagođenje potrebnog napajanja asimetričnog polumosta 300 Vdc baterijskom napajanju 24 Vdc (opseg $20 \div 28$ Vdc). U principu, bi elektromagnetni aktuator mogao biti napajan direktno iz baterije i posredstvom IGBT polumosta, ali bi u tom slučaju struja aktuatora bila značajna i sa njom gubici kako na prekidačkim elementima, tako i u namotajima vibracionog aktuatora. Elektromagnetni aktuator bi iz ovog razloga bio glomazan, sa malim stepenom iskorišćenja i na kraju veoma skup (veća potrošnja i bakra i gvožđa).

Na osnovu prethodnih konstatacija, elektromagnetni aktuator napaja sa višim naponom 300 Vdc. Projektovana maksimalna izlazna snaga ovog DC/DC stepena je 300 W ($300 \text{ V}/1 \text{ A}$), obzirom da se iz njega napajaju pored glavnog pogona transportera (instalisanе snage oko 35 W) i pomoćni pogoni, kao na primer vibracioni aktuatori za sprečavanje lepljenja rasutog materijala po obodu vibracionog koša i ostali pomoćni elementi.

IV DIMENZIONISANJE DC/DC PRETVARAČA NAPONA

U nastavku će biti dati rezultati proračuna DC/DC podizача napona. Topologija primenjenog podizача napona i pripadajuće kontrolno kolo su dati na slici 9 [19]. Podizач napona je projektovan za opseg ulaznog DC napona $20 \div 28$ V (tipičan opseg promene napona baterije čiji je nominalni napon 24 Vdc). Posredstvom akumulacionih elemenata (prigušnice L_o i kondenzatora C_o) je obezbeđeno podizanje ulaznog napona na

300Vdc koliko je potrebno za regularan rad izlaznog asimetričnog polumosta za pobudu elektromagnetnog aktuatora.



Slika 8. Principialna šema DC/DC/AC pretvarača za pobudu elektromagnetnog vibracionog dozatora

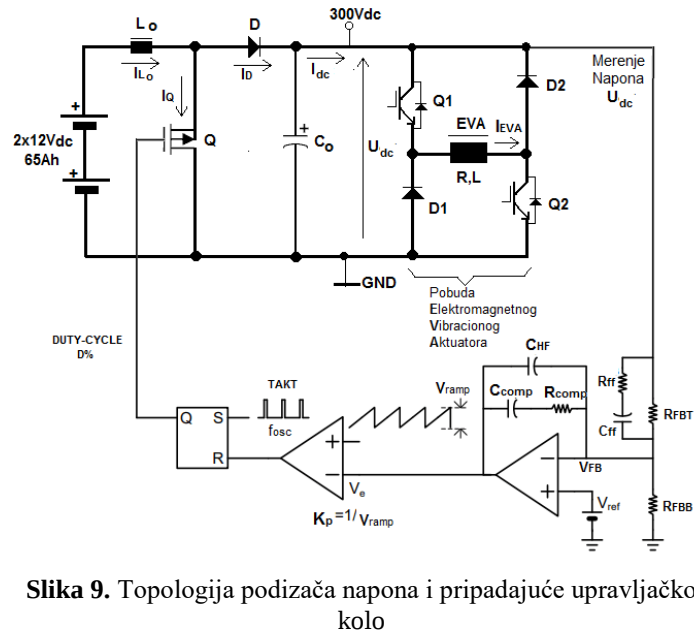
Izlazni napon se održava konstantnim bilo da se radi o promena ulaznog napona ili o promeni opterećenja. Opseg promene ulaznog napona je određen stanjem napunjenosti baterije i on varira u opsegu približno $\pm 20\%$, dok je opseg promene struje opterećenja $0 \div 2$ A vršne vrednosti, sa maksimalnom intermitencijom od 40%. Ovo je posledica impulsne strujne pobude elektromagnetnog vibracionog aktuatora putem polumosta koga čine dva IGBT tranzistora Q1 i Q2 i dve povratne diode D1 i D2 [12-18].

Pri promenama opterećenja naponski regulator podizača napona ima zadatak da kompenzuje nagle promene struje opterećenja. U tom cilju je projektovano upravljačko kolo koje je bazirano na pojačavaču greške između signala povratne sprege po izlaznom naponu V_{FB} i referentne vrednosti napona V_{ref} , koja je dobijena iz preciznog i stabilnog izvora napona (obično je to precizna Zener dioda).

Napon povratne sprege V_{FB} je dobijen preko razdelnika napona R_{FBT} i R_{BBT} , pri čemu je paralelno sa R_{FBT} postavljena filterska sprega koju čine redna veza otpornika R_{ff} i kondenzatora C_{ff} . U sklopu pojačavača greške sa integralnim dejstvom (integrator je realizovan primenom operacionog pojačavača i kondenzatora C_{HF}) je dodata kompenzaciona RC mreža koju čine kondenzator C_{comp} i otpornik R_{comp} . [20].

Izlaz pojačavača greške se u komparatoru poredi sa signalom testeraste rampe V_{ramp} . Kada je napon rampe veći od izlaznog napona pojačavača greške izlaz komparatora resetuje "flip-flop" preko ulaza R. Setovanje "flip-flopa" preko ulaza R se ostvaruje

iz preciznog generatora takta koji određuje prekidačku učestanost pretvarača. Kada je aktivan ulaz S (na logičkoj „1“) tada se preko drajverskog kola uključuje energetski tranzistor Q. Kada je aktivan ulaz R tada se isključuje tranzistor Q.



Slika 9. Topologija podizača napona i pripadajuće upravljačko kolo

Karakteristični talasni oblici za ovaj slučaj su prikazani na Slici 10. Prikazani talasni oblici se odnose na režim kontinualne struje kroz prigušnicu L_o . Sa dijagrama se uočava da je srednja vrednost struje prigušnice $I_{sr} = (I_{max} + I_{min})/2$, a njena apsolutna

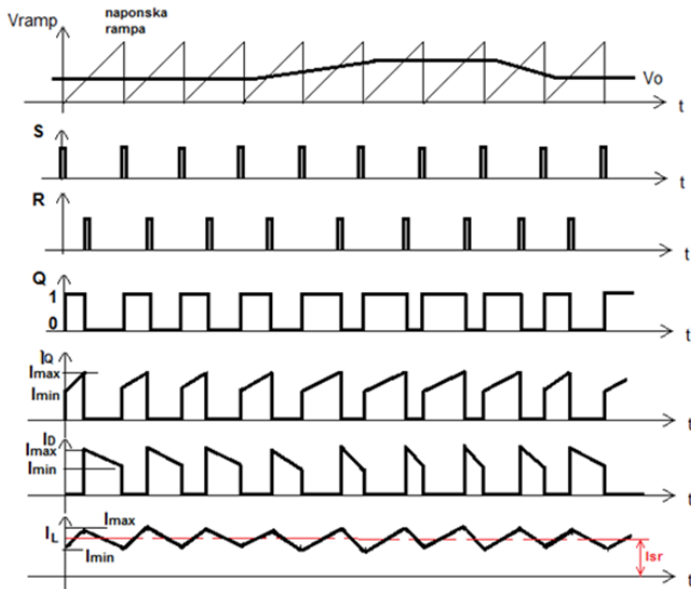
talasnost je $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$. Relativna talasnost je određena u odnosu na srednju vrednost, odnosno ona je jednaka $\Delta I / I_{sr}$.

Vrednost izlaznog napona DC/DC pretvarača je data relacijom:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (3)$$

D je koeficijent radnog režima DC/DC pretvarača i on je jednak odnosu vremena uključenosti prekidačkog tranzistora Q i periode učestanosti rada pretvarača:

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (4)$$



Slika 10. Karakteristični teorijski talasni oblici za kolo DC/DC pretvarača podizrača napona

Obzirom da se ulazni napon menja u granicama $V_{in} = (20 \div 28)$ V, za održavanje konstantne vrednosti napona na izlazu $V_{out} = 300$ Vdc=const dolazi se do minimalne i maksimalne vrednosti koeficijenta radnog režima DC/DC pretvarača:

$$\frac{V_{in \min}}{1-D_1} = \frac{V_{in \max}}{1-D_2} = const = 300 \text{ Vdc}$$

Oдавде sledi da je :

$$D_1 = 1 - \frac{V_{in \min}}{V_{out}} = D_{\max}$$

$$D_2 = 1 - \frac{V_{in \max}}{V_{out}} = D_{\min}$$

Obzirom da su minimalna i maksimalna vrednost napona $V_{in \min} = 20$ V i $V_{in \max} = 28$ V dobija se vrednost koeficijenta radnog režima:

$$D_{\max} = 1 - \frac{20}{300} = 0,934 = 93,4\%$$

$$D_{\min} = 1 - \frac{28}{300} = 0,907 = 90,7\%$$

Na osnovu relacije (4) dobijaju se vremena uključenosti prekidača Q :

$$t_{on \max} = D_{\max} \cdot T \quad (5)$$

$$t_{on \min} = D_{\min} \cdot T \quad (6)$$

Za prekidaču učestanost rada prekidača je usvojena učestanost $f_{sw} = 20$ kHz, odnosno perioda prekidanja je $T = 1/20 \text{ kHz} = 50 \mu\text{s}$. Na osnovu ovog podatka i relacija (5) i (6) se dobijaju vremena:

$$t_{on \max} = 0,934 \cdot 50 \mu\text{s} = 46,7 \mu\text{s}$$

$$t_{on \min} = 0,907 \cdot 50 \mu\text{s} = 45,35 \mu\text{s}$$

Odnosno opseg vremena uključenosti prekidača je:

$$46,7 \mu\text{s} > t_{on} > 45,35 \mu\text{s}$$

Dimenzionisanje prigušnice L_o se bazira na pretpostavci da je ulazni napon maksimalan, srednja vrednost ulazne struja minimalna i da je talasnost struje prigušnice $\Delta I \% \leq 30\%$.

Minimalna srednja vrednost ulazne struje se ima pri maksimalnom ulaznom naponu od $V_{in \max} = 28$ V. Ukoliko zanemarimo gubitke u DC/DC pretvaraču dobijamo da je minimalna srednja vrednost ulazne struje (struje prigušnice L_o) jednaka:

$$I_{sr \min} = \frac{P_{in}}{V_{in \max}} \approx \frac{P_{out}}{V_{in \max}} = \frac{300}{28} = 10,71 \text{ A}$$

Za ove ulazne podatke potrebna vrednost prigušnice je:

$$L_o \geq \frac{V_{in \max} \cdot t_{on \min}}{\Delta I} = \frac{V_{in \max} \cdot t_{on \min}}{0,3 I_{sr \min}} \quad (7)$$

Na osnovu relacije (7) se izračunava potrebna vrednost induktivnosti prigušnice L_o :

$$L_o \geq \frac{28 \cdot 45,35}{0,3 \cdot 10,71} = 395,2 \mu\text{H}$$

Usvaja se vrednost prigušnice $L_o^* = 400 \mu\text{H}$. Za ovu vrednost stvarana talasnost struje izražena u [%] je $29,6\% \leq 30\%$, dok je apsolutna talasnost $\Delta I = 3,17 \text{ A}$. Maksimalna vrednost struje prigušnice pri ovim uslovima $I_{\max} = 12,3 \text{ A}$, dok je minimalna vrednost $I_{\min} = 9,14 \text{ A}$.

Dimenzionisanje kondenzatora C_o se bazira na činjenici da je srednja vrednost struje diode jednaka izlaznoj struji, odnosno da je srednja vrednost struje kondenzatora jednaka 0. Pri ovim uslovima je moguće dobiti sledeću relaciju:

$$C_o \geq \frac{I_{out} \cdot t_{on \max}}{V_{out} \cdot \Delta V_{out} \%} \cdot 100 \quad (8)$$

Usvojeno je da je $\Delta V_{out} \% = 0,1\%$ (projektni zahtev za DC ulazni napon energetskog pretvarača za pobudu elektromagneta aktuatora). Ostale ulazne vrednosti su poznate $I_{out} = 1$ A, $t_{on \max} = 46,7 \mu\text{s}$, $V_{out} = 300$ V, tako da se dobija potrebna vrednost kapacitivnosti kondenzatora C_o :

$$C_o \geq \frac{1 \cdot 46,7}{300 \cdot 0,1} \cdot 100 = 156 \mu\text{F}$$

Usvojena je vrednost Al-elektrolitskog kondenzatora od $C_o^* = 330 \mu\text{F}$ (470 μF) maksimalno podnosivog napona 350 Vdc.

Prekidački elementi su dimenzionisani prema naponskim i strujnim zahtevima. MOSFET prekidač je projektovan za trajnu struju 20 A i maksimalni podnosivi napon od 400 V. Izabran je N-kanalni MOSFET prekidač FDP20N40 za 20 A/40 V kod koga

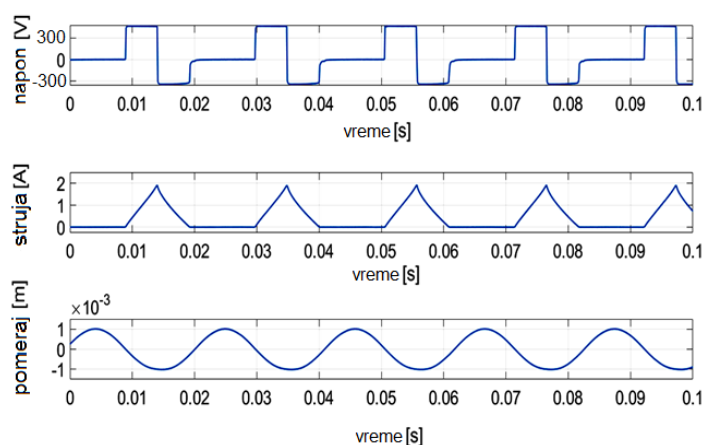
je $R_{ds(on)}=0,2 \Omega$. Takođe je izabrana ultra brza prekidačka dioda STTH20R04 20A/400V.

V EKSPERIMENTALNI REZULTATI

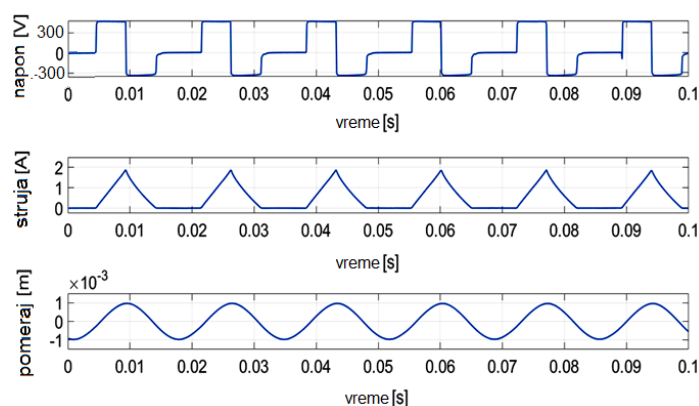
U ovom poglavlju su dati neki ključni eksperimentalni rezultati koji su dobijeni testiranjem na eksperimentalnom prototipu. U nastavku su prikazani eksperimentalni rezultati za izlazni DC/AC IGBT energetske pretvarač, a zatim i eksperimentalni rezultati za DC/DC pretvarač podizač napona 24 Vdc/300 Vdc

Eksperimentalni rezultati DC/AC pretvarač

Na slici 11 su dati talasni oblici napona i struje elektromagnetnog vibracionog aktuatora i pomeraja vibracionog korita za slučaj pod-rezonantnog režima rada vibracionog transportera. Sa prikazanih talasnih oblika se uočava da je “peak-peak” amplituda oscilovanja $\Delta p=2\text{mm}$. Pri ovim uslovima vršna vrednost trougaone struje je jednaka 2A, a njeno trajanje je 10ms.



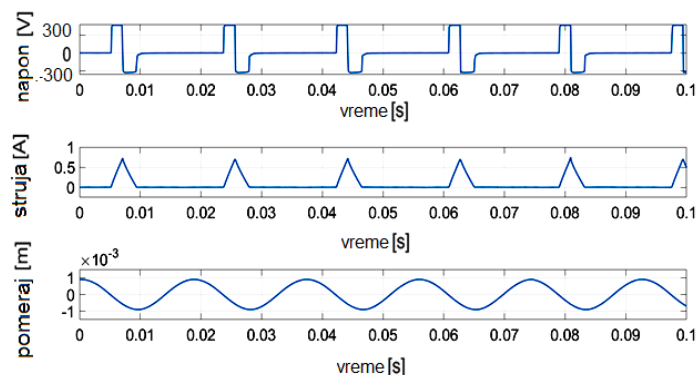
Slika 11. Karakteristični talasni oblici vibraciono-transportnog sistema na solarnoj hranilici za slučaj pod-rezonantnog režima rada na učestanosti 48Hz



Slika 12. Karakteristični talasni oblici vibraciono-transportnog sistema na solarnoj hranilici za slučaj nad-rezonantnog režima rada na učestanosti 59Hz

Na slici 12 su dati talasni oblici napona i struje elektromagnetnog vibracionog aktuatora i pomeraja vibracionog korita za slučaj nad-rezonantnog režima rada vibracionog transportera na učestanosti 59 Hz. Sa prikazanih talasnih oblika se uočava da je kao i u prethodnom slučaju “peak-peak” amplituda oscilovanja

$\Delta p=2 \text{ mm}$. Pri ovim uslovima je ako i za slučaj pod-rezonantnog režima vršna vrednost trougaone struje približno jednaka 2 A, a njeno trajanje je 10 ms.

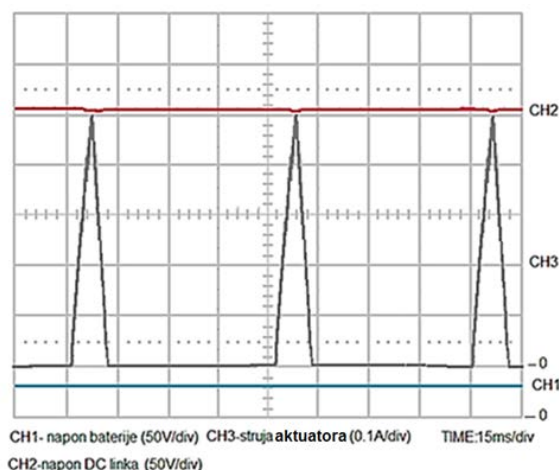


Slika 13. Karakteristični talasni oblici vibraciono-transportnog sistema na solarnoj hranilici za slučaj rezonantnog režima rada na učestanosti 54Hz

Na slici 13 su dati talasni oblici napona i struje elektromagnetnog vibracionog aktuatora i pomeraja vibracionog korita za slučaj kada transporter radi na mehaničkoj rezonantnoj učestanosti od 54 Hz. Kao i u prethodnim slučajevima zadata je ista vrednost amplitude oscilovanja $\Delta p=2 \text{ mm}$ i merena je struja potrošnje vibracionog aktuatora. Sa prikazanih talasnih oblika se uočava da je u rezonantnom režimu potrošnja struje značajno manja u odnosu na prethodna dva slučaja. U ovom slučaju je izmerena vršna vrednost struje od 0,6 A i značajno manjeg trajanja od oko 4ms. Ovi dobijeni rezultati idu u prilog rezonantnom režimu rada u pogledu energetske efikasnosti vibracionog pogona za doziranje. Izmerena snaga potrošnje u rezonantnom režimu je iznosila oko 3 W, dok je u nad-rezonantnom i pod-rezonantnom režimu iznosila oko 22 W.

Eksperimentalni rezultati DC/DC pretvarač podizač napona

U ovom delu su prikazani eksperimentalni rezultati dobijeni na DC/DC pretvaraču.

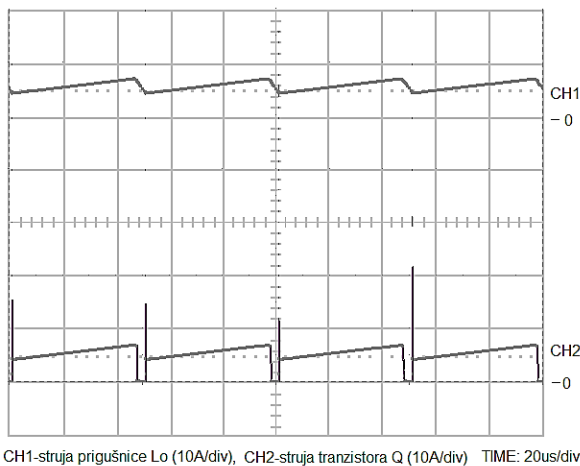


Slika 14. Osciloskopski snimci ulaznog i izlaznog napona DC/DC pretvarača pri impulsnom strujnom opterećenju amplitude 0,5 A

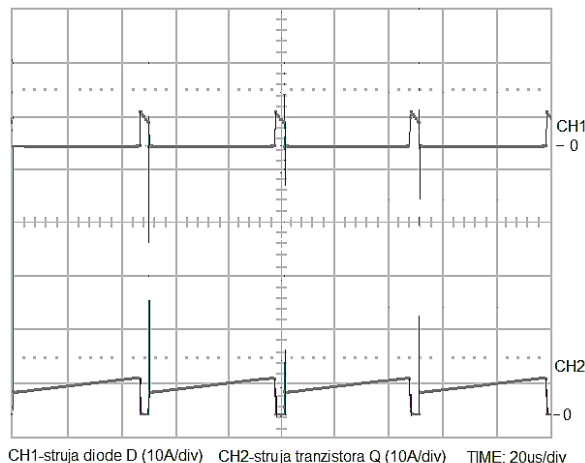
Na slici 14 su dati osciloskopski snimci ulaznog i izlaznog

napona DC/DC pretvarača i struje vibracionog aktuatora. Baterija je bila napunjena na SOC%=100% i napon baterije je iznosio 28 Vdc. Izlazni napon je stabilisan na vrednost 300 Vdc. Opterećenje DC/DC pretvarača je bio IGBT asimetrični polumost sa vršnom vrednošću izlazne struje od 0,5 A i učestanosti pobude 54 Hz (rezonantni režim rada dozatora).

Na slici 15 su prikazani osciloskopski snimci talasnih oblika struje prigušnice L_o i struje tranzistora Q pri opterećenju na izlaznoj 300 V-noj strani, koje je dato na osciloskopskom snimku na Slici 14. Uočava se da je srednja vrednost struje prigušnice pri ovim uslovima 6 A i da je talasnost struje prigušnice 0,4 A. U struji tranzistora Q se uočavaju strujni pikovi koji su posledica komutacije prekidačkog tranzistora i prekidačke diode koje se u tom kratkom intervalu nalazi u inverznom oporavku. U ovom modu rada koeficijent radnog režima je iznosio 93%, a prekidačka učestanost 20 kHz.



Slika 15. Osciloskopski snimci struje prigušnice i struje prekidačkog tranzistora DC/DC podizača napona

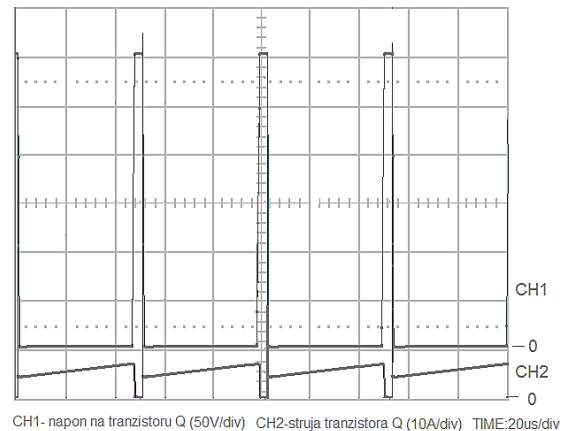


Slika 16. Osciloskopski snimci struje prekidačke diode D i struje prekidačkog tranzistora Q

Na slici 16 su dati osciloskopski snimci struje prekidačke diode D i struje prekidačkog tranzistora Q. Uočava se da se dopunjavanje izlaznog kondenzatora DC/DC pretvarača ostvaruje strujnim impulsima struje kroz prekidačku diodu D.

Takođe se uočavaju strujni pikovi u struji prekidačkog tranzistora i inverzni strujni pikovi u struji prekidačke diode, koji su posledica visokofrekventnih komutacije između njih. Učestanost prekidanja i u ovom slučaju je iznosila 20 kHz.

Na slici 17 su prikazani talasni oblici napona i struje na prekidačkom tranzistoru Q, pri učestanosti prekidanja od 20 kHz. Maksimalni napon koji trpi prekidački tranzistor Q je 300 V, koji u stvari predstavlja napon DC linka.



Slika 17. Osciloskopski snimci napona i struje prekidačkog tranzistora Q u sklopu DC/DC podizača napona

Na osnovu prikazanih eksperimentalnih rezultata za DC/DC podizač napona se pokazuje da su dobijeni rezultati u skladu sa proračunom, čiji su detalji dati u poglavlju IV.

VI ZAKLJUČAK

U radu je dat predlog rešenja solarno napajanog vibracionog dozatora sa elektromagnetnom pobudom i njegove mogućnosti potencijalne primene u sistemima za doziranje sitnozrnih materija koje se koriste u sistemima hranilica za ishranu riba. Predloženi sistem je "off-grid" i potpuno je nezavisan od mrežnog napajanja i pogodan je za druge slične sisteme koji se sreću u ruralnim sredinama (ishrana ptica i svi drugih životinjskih vrsta koja za ishranu koriste sitnozrne materijale). U radu je akcenat dat na proračun solarnog napajanja i DC/DC energetskog pretvarača koji treba da obezbedi naponsko prilagođenje napona baterije 24 Vdc, izlaznom stepenu snage za pobudu elektromagnetnog vibracionog aktuatora kojim se obezbeđuje pogon vibracionog transportera dozatora. Na kraju su, kao potvrda sprovedenih proračuna, prikazani eksperimentalni rezultati nekih karakterističnih režima u okviru sistema napajanja vibracionog dozatora.

ZAHVALNICA

Finansiranje ovog istraživanja je podržano od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija, za period 2024-2025. (Ugovor pod evidencionim brojem 51-03-136/2025-03/200034).

LITERATURA

- [1] Valencia, F.L., Brital, J.N., Aranas, K.D., Mendoza, R. Solar-powered fishpond feeder with real-time water quality monitoring system, International Journal of Innovative Science and Research Technology, Vol. 7, No. 4, 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6506999>

- [2] Filipiński, M., Belton, B., Give a Man a Fishpond: Modelling the Impacts of Aquaculture in the Rural Economy, *World Development*, Vol. 110, pp. 205-223, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.05.023>
- [3] Konnerup, D., Trang, N.T.D., Brix, H. Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics, *Aquaculture*, Vol. 313, No. 1-4, pp. 57-64, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.026>
- [4] Shaari, M.F., Zulkefly, M.E.I., Wahab, M.S., Esa, F. Aerial fish feeding system, in *Proc. 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Beijing, China, pp. 2135-2140, 7-10 August 2011. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2011.5986311>
- [5] Wang, G., Hu, L., Long, W., Jiang, L. Evolution of Intelligent Feeding System for Aquaculture: A Review, in *Proc. 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture (AIAM)*, Manchester, United Kingdom, pp. 392-397, 23-25 October 2021. <https://doi.org/10.1109/AIAM54119.2021.00085>
- [6] Goncharevich, I.F., Frolov, K.V., Rivin, E.I. *Theory of Vibratory Technology*, New York: Hemisphere Pub. Corp., 1990.
- [7] Despotovic, Z.V., Stojiljkovic, Z. Power Converter Control Circuits for Two-Mass Vibratory Conveying System With Electromagnetic Drive: Simulations and Experimental Results, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 54, No. 1, pp. 453-466, 2007. <https://doi.org/10.1109/TIE.2006.888798>
- [8] Misljen, P., Tanaskovic, M., Despotovic, Z., Matijevic, M. Controlling Electromagnetic Vibrating Feeder by Using a Model Predictive Control Algorithm, *Interciencia Journal*, Vol. 43, No. 10, pp. 31-47, 2018. http://is.fink.rs/podaci/Milan_Matijevic/50/PMisljen%20et%20all.pdf [pristupljeno 15.08.2025]
- [9] Despotovic, Z., Ribic, A., Terzic, M. A Comparison of Energy Efficiency of SCR Phase Control and Switch Mode Regulated Vibratory Conveying Drives, in *Proc. IX International Symposium Industrial Electronics - INDEL 2012*, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, Vol.1, pp. 103-110, 1-3. November 2012, https://www.indel.etfbl.net/2014/resources/Proceedings_2012/xPaper_17.pdf [pristupljeno 15.08.2025]
- [10] Urukalo, D., Despotović, Ž.V. Experimental verification of electrical power consumption of resonant electromagnetic vibratory feeder, in *Proc. 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 1-5, 18-20 March 2020, <https://doi.org/10.1109/INFOTEH48170.2020.9066331>
- [11] Noor, M.Z.H., Hussian, A.K., Saaid, M.F., Ali, M.S.A.M., Zolkapli, M. The Design and Development Of Automatic Fish Feeder System Using PIC Microcontroller, in *Proc. 2012 IEEE Control and System Graduate Research Colloquium*, Shah Alam, Malaysia, pp. 343-347, 27 August 2012, <https://doi.org/10.1109/ICSGRC.2012.6287189>
- [12] Floating Fish Feeder Assembly Instructions, <https://4239686.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/4239686/Assembly%20Instructions/Pond%20King%20Floating%20Feeder%20Assembly%20Instructions.pdf> [pristupljeno 15.08.2025]
- [13] Ribić, A.I., Despotović, Ž.V. High-Performance Feedback Control of Electromagnetic Vibratory Feeder, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 57, No. 9, pp. 3087-3094, 2010. <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2037677>
- [14] Despotović, Ž.V., Ribić, A.I., Sinik, V. Power Current Control of a Resonant Vibratory Conveyor Having Electromagnetic Drive, *Journal of Power Electronics*, Vol.12, No. 4, pp. 677-688, 2012. <https://doi.org/10.6113/JPE.2012.12.4.677>
- [15] Despotovic, Z.V., Lecic, M., Jovic, M., Djuric, A. Vibration control of resonant vibratory feeder with electromagnetic excitation, *Journal FME Transactions*, Vol. 42, No. 4, pp. 281-289, 2014. <https://doi.org/10.5937/fmet.1404281D>
- [16] Ribić, A.I., Despotović, Ž.V. PI Plus State Observer Control of Electromagnetic Vibratory Feeder, in *Proc. 53rd ETRAN Conference*, Vrnjačka Banja, Serbia, 15-19 Jun 2009. https://www.pupin.rs/RnDProfile/pdf/despotovic-publ_29.pdf [pristupljeno 15.08.2025]
- [17] Sinik, V., Despotovic, Z.V., Palinkas, I. Optimization of the Operation and Frequency Control of Electromagnetic Vibratory Feeder, *Elektronika ir Elektrotehnika*, Vol. 26, No. 1, pp. 24-30, 2016. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.22.1.14095>
- [18] Sinik, V., Despotovic, Z.V., Palinkas, I. Improved power supply performance of vibratory conveyor drives, *Elektronika ir Elektrotehnika*, Vol. 22, No. 6, pp. 3-9, 2016. <https://doi.org/10.5755/j01.eie.22.6.6924>
- [19] Huke, B. Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage, 2009, <https://www.ti.com/lit/an/slva372d/slva372d.pdf?ts=1782280342957> [pristupljeno 15.08.2025]
- [20] Lee, S.W. Practical Feedback Loop Analysis for Voltage-Mode Boost Converter, 2014, https://www.ti.com/lit/an/slva633/slva633.pdf?ts=1782270948977&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252Ftps61030%253FCMP%253Dconv-poasamples [pristupljeno 15.08.2025]

AUTORI

Željko V. Despotović – prof. dr, Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, zeljko.despotovic@pupin.rs, ORCID [0000-0003-2977-6710](https://orcid.org/0000-0003-2977-6710)
 Uroš Ilić – master ing., Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, uros.ilic@pupin.rs, ORCID [0000-0003-3955-8995](https://orcid.org/0000-0003-3955-8995)

Off-Grid Solar Power Supply for a Resonant Vibratory Feeder with Electromagnetic Excitation

Abstract – Vibratory feeders with electromagnetic excitation that are adapted to operate in the mechanical resonance mode have proven to be a very energy-efficient way to dose bulk and granular materials. Standard on-grid resonant vibration feeders are powered from a 230 V, 50 Hz mains supply, where the mains voltage is converted into a DC voltage of 300Vdc, and from this voltage the excitation electromagnetic coil of the vibrating feeder is powered by a suitable DC/AC power converter. This paper presents a solar-powered vibrating feeder system in which a 24 Vdc battery bank is used in addition to the PV panel. The charging of the battery bank is realized with an MPPT regulator, while the adjustment of the DC power supply of the output DC/AC power converter of the vibrating feeder is realized with a boost DC/DC power supply 24 Vdc/300 Vdc. The paper presents the methodology and calculation results of proposed system including the DC/DC power converter. The presented technical solution would have potential application on dosage of food for fish in ponds, dosing of granular feed for birds in reserves and rural areas, and similar applications where dosing and feeding of fine-grained materials is required.

Index terms – Solar systems, Off-grid power, Vibratory feeder, Mechanical resonance, DC/DC converter, DC/AC converter

Rad primljen 20.08.2025., prihvaćen 08.01.2026.