

Rezonantni energetska pretvarač za amplitudsko-frekventno upravljanje elektromagnetnim vibracionim aktuatorima

Željko V. Despotović

Institut "Mihajlo Pupin", Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija
zeljko.despotovic@pupin.rs

Miloš R. Nedeljković

Katedra za električne pretvarače i pogone
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija
nedeljkovic@etf.rs

Sadržaj— U sistemima vibracionog transporta rasutih materijala naročiti značaj ima mehanička rezonanca. Ovim načinom transporta je moguće ostvariti značajne gravimetrijske protoke uz mali utrošak električne energije za pobudu elektromagnetnih vibracionih aktuatora (EVA). Podešavanje mehaničke rezonantne učestanosti je moguće ostvariti raznim topologijama tiristorских i tranzistorских energetskih pretvarača. U radu je predstavljeno jedno moguće rešenje jednostavnog amplitudsko-frekventnog upravljanja vibracionim aktuatorima sa elektromagnetnom pobudom, koje je ostvareno SCR rezonantnim električnim pretvaračem. Učestanost mehaničke rezonanse je značajno manja od učestanosti električnog rezonantnog kola koga čine namotaj EVA i pripadajući komutacioni kondenzatori. U radu su prikazani simulacioni i eksperimentalni rezultati za jedan karakterističan vibraciono-transportni pogon sa primenjenom dvostrukom rezonancom, mehaničkom i električnom.

Ključne reči- rezonansa; SCR; energetska pretvarač; vibracioni aktuatori; amplitudsko upravljanje, frekventno upravljanje

I. UVOD

Vibracioni aktuatori sa elektromagnetnom pobudom ili kako se najčešće nazivaju elektromagnetni vibracioni aktuatori (EVA), se najčešće koriste kao mehanički pobudivači rezonantnih vibracionih transportera. Rezonantni vibracioni transporteri su veoma efikasno sredstvo za transport i doziranje rasutih i sitnozrnih materijala i kao takvi su veoma zastupljeni u mnogim procesnim industrijama (prehrambena, farmaceutska, cementna, industrija čelika, proizvodnja veštačkih đubriva i sl.). Ovim pogonima je obezbeđena jednostavno upravljanje gravimetrijskog protoka rasutih materijala [1]-[4]. Ostvarivanjem slobodnih vibracija promenljivog intenziteta i učestanosti u širokom opsegu, posredstvom podesnog energetskog pretvarača i pripadajućeg kontrolera obezbeđen je kontinualan protok rasutih materijala pri različitim eksploatacionim uslovima.

U referencama [5]-[10] je pokazano da EVA predstavlja ustvari generator sile koji se koristi za mehaničku pobudu rezonantnih vibracionih transportera. Takođe je pokazano da

je ta mehanička sila proporcionalna kvadratu struje. Upravljanjem strujom EVA moguće je podešavati elektromagnetnu pobudnu silu koja deluje na vibracioni sud transportera. U električnom smislu EVA, obzirom na odnos aktivnog i induktivnog otpora, predstavlja pretežno induktivno opterećenje.

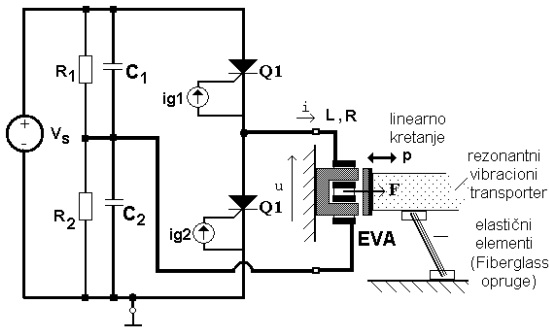
Danas se kao standardni poluprovodnički izlazni stepeni snage za pobudu EVA koriste tiristori i trijaci, čija upotreba podrazumeva korišćenje tiristorских polu-talasnih i puno-talasnih topologija, odnosno primenu faznog upravljanja[7]-[9]. Obzirom da je u tom slučaju, učestanost napojne mreže fiksna, promenom faznog ugla, moguće je postići podešavanje amplitude oscilacija transportera, ali ne i njihove učestanosti. Tranzistorским pretvaračima je pored amplitudskog, obezbeđeno i frekventno upravljanje. Ovim je pobuda transportera nezavisna od mrežne učestanosti. Frekventno upravljanje obezbeđuje rad vibracionih transportera u oblasti mehaničke rezonance. Rad u mehaničkom rezonantnom opsegu je energetska povoljan, pošto se tada ima minimalna potrošnja energije iz mreže[11].

Upotreba tranzistorских pretvarača podrazumeva korišćenje strujnog upravljanja EVA, pri čemu je moguće generisati niskofrekventni (5-150Hz) sinusni polutalas struje upotrebom različitih PWM tehnika ili trougaoni polutalas struje korišćenjem programiranog strujnog upravljanja. U prvom slučaju se, obzirom da se radi o PWM tehnikama, imaju relativno velike učestanosti (5kHz-20kHz) talasnosti struje i shodno tome značajni gubici kako u samom energetskom pretvaraču tako i u namotajima i magnetnom kolu EVA. Upotrebom programiranog strujnog upravljanja eliminiše se ovaj problem gubitaka, ali je pobudna struja, odnosno pobudna sila EVA impulsna i bliska je Dirakovim impulsima [12], [7]-[8]. Iz ovog razloga spektar pobudne sile pored osnovnog korisnog harmonika, sadrži i više harmonike koji mogu dovesti do povećanja gubitaka u elastičnim elementima vibracionog transportera. U cilju prevazilaženja ovih nedostataka predložena je SCR rezonantna topologija za pobudu EVA. U tom slučaju sistem *energetska pretvarač-EVA-vibracioni transporter* predstavlja ustvari

elektromehanički oscilator sa dvostrukom rezonancom: (a) električnom, koja je sadržana u sprezi *energetski pretvarač-EVA* i (b) mehaničkom koja je sadržana u sprezi *EVA-vibracioni transporter*. U prvom slučaju se imaju električne rezonantne učestanosti reda veličine 1-10kHz, dok se u drugom slučaju imaju mehaničke rezonantne učestanosti 5Hz-150Hz.

II. TOPOLOGIJA SCR REZONANTNOG PRETVARAČA ZA POBUDU EVA

U nastavku teksta će biti razmotrena polumosna SCR topologija rezonantnog pretvarača koja sadrži dva tiristora Q1 i Q2. Ovom topologijom je moguće generisati "glatki" sinusni strujni polutalas, bez visokofrekventnog ripla. Naime pošto je namotaj EVA pretežno induktivno opterećenje, moguće je ostvariti sinusne strujne impulse kroz njega korišćenjem električnog rezonantnog kola, dodavanjem odgovarajućih kondenzatora C_1 i C_2 u topologiju polumosta. U tom slučaju nastaje tzv. SCR topologija rezonantnog polumosta kao što je prikazano na Sl.1.



Slika 1. SCR topologija rezonantnog polumosta

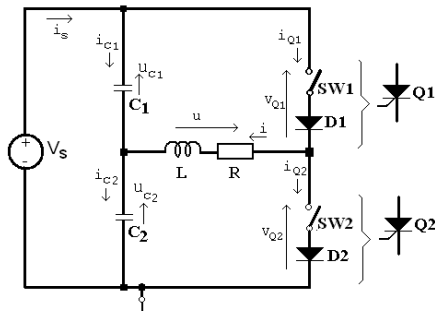
Ova topologija je jednostavna i sadrži svega dve prekidačke komponente. Kao što se sa Sl.1 vidi, pretežno induktivni namotaj EVA sa kondenzatorima C_1 i C_2 formira *električno rezonantno kolo*. Frekvencija rada je određena trenucima uključivanja tiristora Q1 i Q2. Za određeni induktivni i omski otpor namotaja aktuatora lako se mogu proračunati i odabrati kondenzatori C_1 i C_2 kako bi bio ostvaren električni rezonantni režim rada. Vrednosti struje i napona namotaja EVA su određene jednosmernim naponom napajanja polumosta V_s . Topologija ima bidirekciono dejstvo, odnosno omogućava generisanje pozitivnog i negativnog sinusnog polutalasa struje kroz namotaj EVA.

Paralelno kondenzatorima se vezuju otpori R_1 i R_2 . Ovi otpori, pored toga što služe za simetrisanje napona na kondenzatorima, sprečavaju porast napona na kondenzatorima. Obzirom da je omski otpor električnog rezonantnog kola (otpor namotaja EVA) mnogo manji induktivnog i kapacitivnog otpora, praktično bi se dobilo $L-C$ rezonantno kolo, odnosno došlo bi do tzv. "prepunjavanja" kondenzatora i do generisanja veoma visokih napona na njima. Obzirom da su paralelno kondenzatorima vezani odgovarajući otpornici, u realnom slučaju neće doći do značajnijeg porasta napona na njima.

Na ovaj način su u rezonantnom vibraciono-transportnom sistemu sadržana dva rezonantna kola: mehaničko čija je osnovna rezonantna učestanost u opsegu niskih učestanosti (5Hz-150Hz) i visokofrekventno električno rezonantno čija je rezonantna učestanost za red veličine veća.

III. ANALIZA RADA REZONANTNOG KOLA

Za principijelnu analizu radi jednostavnosti se koristi uprošćena radna šema koja je predstavljena na Sl.2. Pre analize rada ovog kola je potrebno učiniti odgovarajuće pretpostavke. Pretpostavlja se da su vrednosti kapaciteta oba kondenzatora jednaki kao i da su istog tangensa gubitaka ($C_1 = C_2 = C_k \wedge R_1 = R_2 = R_k$). Takođe može se usvojiti da je induktivnost namotaja približno konstantna u posmatranom režimu, kao i jednosmerni napon napajanja V_s .

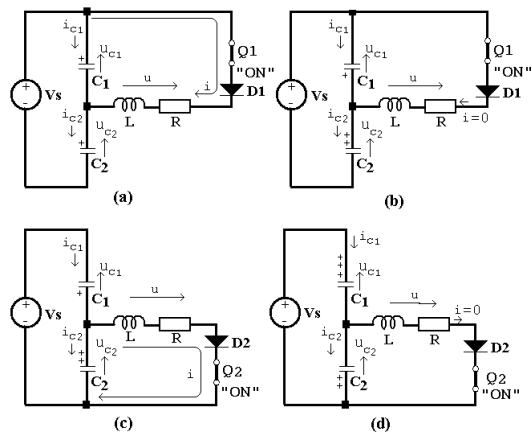


Slika 2. SCR topologija rezonantnog polumosta

U radu ove topologije razlikujemo dva režima:

- režim I* – uključen tiristor Q1, a isključen tiristor Q2
- režim II* – uključen tiristor Q2, a isključen tiristor Q1.

Topologije predstavljenog električnog kola za svaki od režima su dati na Sl.3.



Slika 3. Topologije rezonantnog kola; (a),(b)- režim I; (c),(d)- režim II

(A)- režim I

Pre uključivanja Q1 se pretpostavlja da su oba kondenzatora napunjena na $+V_s/2$, odnosno $u_{C10} = u_{C20} = V_s/2$. Polarizacija krajeva kondenzatora je kao na Sl.3(a). Uključenjem Q1 se vrši prepolarizacija kondenzatora C_1 na

napon koji je približno jednak $-V_s/2$. U isto vreme se vrši dopunjavanje C_2 od napona $+V_s/2$ na napon koji je približno jednak $3V_s/2$. Njegov polaritet napona se ne menja. Ovo je poledica uslova da je zbir napona na kondenzatorima uvek jednak konstantnom naponu V_s . Struja namotaja EVA je jednaka razlici struja kondenzatora, odnosno $i = i_{C2} - i_{C1}$, dok je struja napojnog izvora jednaka trenutnoj struji kondenzatora C_2 . Napon EVA je na kraju procesa prepolarizacije jednak negativnoj vrednosti napona u_{C1} kao što je prikazano na Sl.3(b). Ovo stanje se završava kada struja opterećenja padne u nulu, odnosno kada prestane da vodi tiristor Q1 (tj. prekidač SW1 i dioda D_1).

(B)- režim II

Pre uključenja Q2 se pretpostavlja da su kondenzatori polarisani kao na Sl.3(c). Uključenjem Q2 se vrši prepolarizacija kondenzatora C_2 na napon koji je približno jednak $3V_s/2$. U isto vreme se vrši dopunjavanje C_2 od napona $-V_s/2$ na napon koji je približno jednak $5V_s/2$. Njegov polaritet napona se ne menja. Ovo je poledica uslova da je zbir napona na kondenzatorima jednak konstantnom naponu V_s . Sada je struja napojnog izvora jednaka trenutnoj struji kondenzatora C_1 . Napon EVA je na kraju procesa prepolarizacije jednak negativnoj vrednosti napona u_{C2} . Da su kondenzatori idealni, naponi na njima bi nekontrolisano rasli, međutim u realnom slučaju kondenzatori imaju tangens gubitaka, a takođe paralelno njima su vezani otpornici za simetriranje napona, tako da se deo energije gubi u samom kondenzatoru i pripadajućim otpornicima. Takođe deo energije se gubi i u omskoj otpornosti namotaja EVA. Iz ovih razloga naponi na kondenzatorima će biti povećani ali će se ustaliti na približno dvostrukoj vrednosti napona jednosmernog izvora kao što pokazuju rezultati simulacije.

Naponske jednačine su date za dve nezavisne konture električnog rezonantnog kola koje je prikazano na Sl. 3.

Za konturu : *izvor napajanja Vs – kondenzator C1 – kondenzator C2* važi:

$$V_s = u_{c1} + u_{c2} \quad (1)$$

odnosno :

$$\dot{u}_{c1} + \dot{u}_{c2} = 0. \quad (2)$$

Pošto je :

$$\dot{u}_{c1} = \frac{i_{c1}}{C_1} \quad \text{i} \quad \dot{u}_{c2} = \frac{i_{c2}}{C_2} \quad (3)$$

$$i_{c1} = -i_{c2} \quad \text{i} \quad i = i_{c2} - i_{c1} \quad (4)$$

tada važe relacije za struje:

$$i_{c1} = i/2 \quad \text{i} \quad i_{c2} = i/2 \quad (5)$$

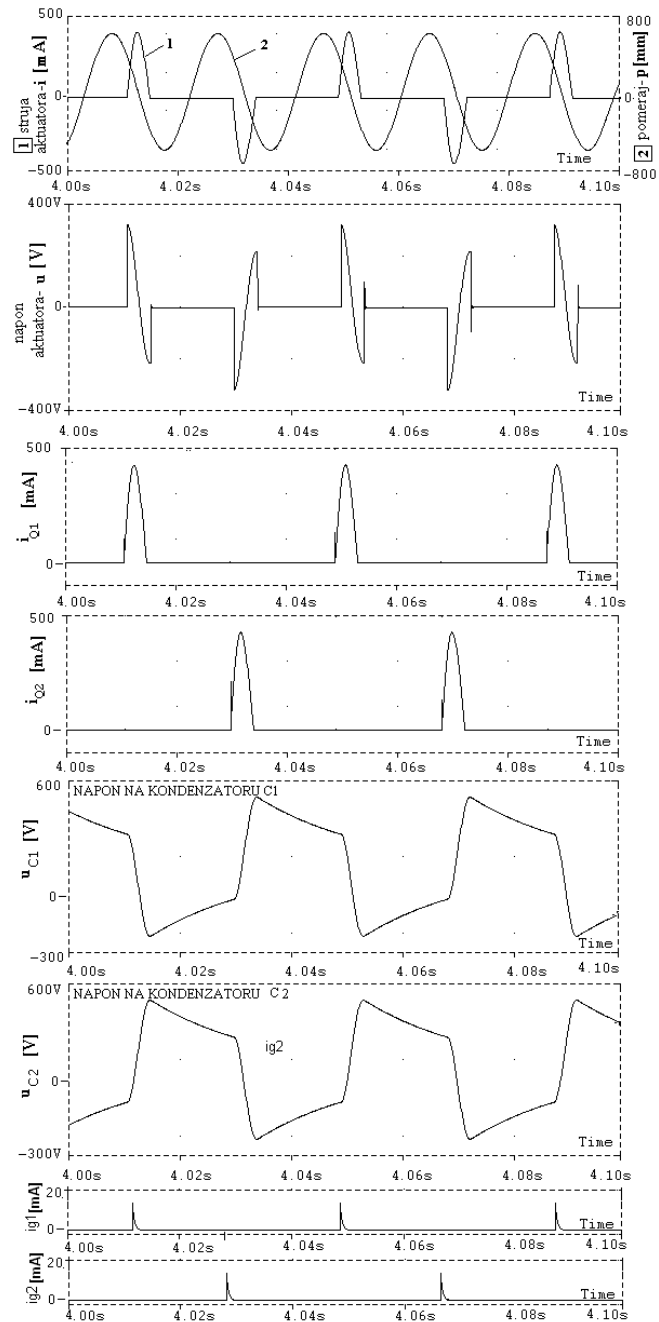
Za konturu: *izvor napajanja Vs – prekidač Q1-namotaj aktuatora- kondenzator C2* važi:

$$\frac{di}{dt} = -i \cdot \frac{R}{L} - \frac{u_c}{L} + \frac{V_s}{L} \quad (6)$$

$$\frac{du_{c2}}{dt} = -i \cdot \frac{1}{2C} \quad (7)$$

IV. SIMULACIONI REZULTATI

Na osnovu analize topologije rezonantnog pretvarača za pobudu EVA, generisan je simulacioni model. Na Sl.4 su prikazani talasni oblici karakterističnih veličina u ustaljenom stanju, korišćenih u analizi rezonantnog pretvarača.

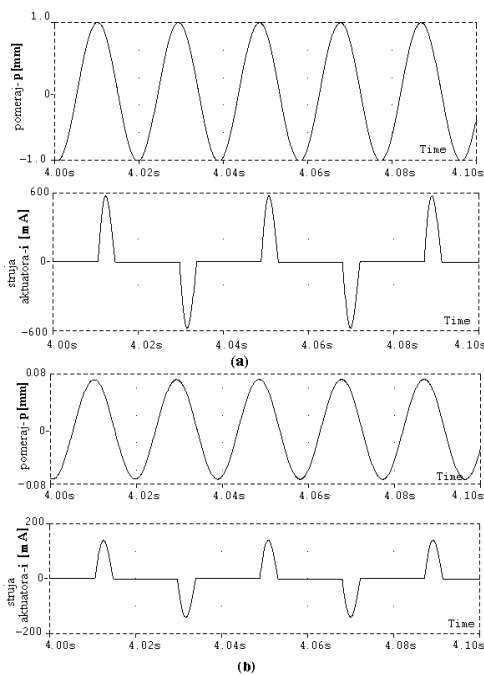


Slika 4. Simulacioni rezultati karakterističnih talasnih oblika SCR rezonantnog pretvarača za pobudu EVA; parametri: R=100Ω, L=1.2H, R1=R2=20k, C1=C2=1μF, rezonantna učestanost mehaničkog sistema aktuatora Frez=52Hz, pobudna učestanost Fpob=Frez, Vs=320 V.

U simulaciji je podešena pobudna učestanost okidnih strujnih impulsa tiristora od 26Hz tako da je učestanost pobudne struje EVA iznosila $F_{pob} = 52Hz$, odnosno ona je jednaka rezonantnoj učestanosti mehaničkog dela *EVA-vibracioni transporter* od $F_{rez} = 52Hz$. Inače ova rezonantna učestanost je određena masom pokretnog dela transportera i krutošću elastičnih elemenata na koji je oslonjen transporter. U simulaciji su uzete realne vrednosti iz prakse.

Pri ovim uslovima je ostvarena amplituda vibracionog pomeraja $p = 0.8mm$, kao što pokazuje Sl.4. Komutaciono vreme za prepolarizaciju kondenzatora je određeno induktivnošću namotaja EVA i vrednostima komutacionih kondenzatora. Za projektovane vrednosti $C_1 = C_2 = 1\mu F$ i induktivnost namotaja EVA, $L = 1.2H$, vremena prepolarizacije se kreću od 1ms-5ms zavisno od primenjenog DC napona $+V_s$.

Prednost ove topologije su relativno mali broj prekidačkih komponenti, jednostavno upravljanje i mogućnost generisanja glatke sinusne struje, odnosno pobudne sile bez visokofrekventnog ripla. Međutim najveća prednost je što se ovom topologijom može postići promena učestanosti izlaznog pomeraja vibracionog korita odnosno učestanosti mehaničkih oscilacija. Ovim je moguće pretraživanje rezonantne učestanosti vibracionih transportera.



Slika 5. Simulacioni rezultati za SCR topologiju rezonantnog polumosta za dve različite vrednosti napona u DC međukolu; (a) napon $V_s=400$ V, (b) napon $V_s=100$ V

Ova topologija ima i niz ozbiljnih nedostataka. Jedan od bitnih nedostataka je svakako prisustvo otpornosti R_1, R_2 i shodno tome njihov uticaj na porast ukupnih gubitaka u kolu. Ipak najveći nedostatak predstavlja ta činjenica, što se ovom topologijom ne može postići promena amplitude izlaznog pomeraja transportnog suda (vibracionog korita). Ovo je

posledica toga što je pretpostavljeno da je napon napajanja polumosta konstantna vrednost V_s .

Promena amplitude se može ostvariti jedino promenom ovog napona. Iz tog razloga su izvršene simulacije u kojima je vršena promena napona V_s . Simulacioni rezultati karakterističnih talasnih oblika (struja aktuatora i pomeraj njegove kotve) za dve različite vrednosti napona DC međukola su Sl.5.

Na Sl.5(a) su prikazani struja aktuatora i pomeraj njegovog pokretnog dela za vrednost napona $V_s = 400$ V. Ova vrednost napona je odabrana, pošto u praktičnim primenama sa PFC regulatorima [13]-[18], ovaj napon je obično 380-400 V. Za ovaj slučaj, pri nepromenjenim vrednostima parametrima koji su prikazani na Sl.4, dobijena je vrednost amplitude izlaznog pomeraja od $P_m = 1mm$.

Na Sl.5(b) su prikazani struja aktuatora i pomeraj njegovog pokretnog dela za vrednost napona $V_s = 100$ V. U ovom slučaju dobijena je vrednost amplitude izlaznog pomeraja od $P_m = 0.08mm$ ($\approx 0.1mm$).

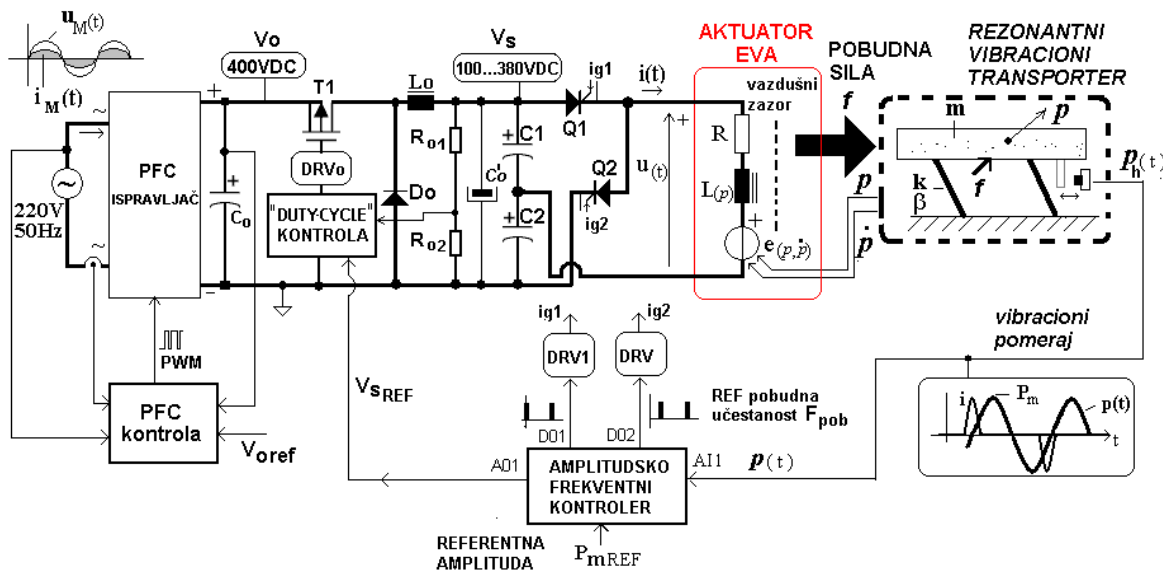
U oba slučaja učestanost pobudnih impulsa tiristora rezonantnog pretvarača je podešena na $F_{pob} = 26Hz$, tako da je dobijena učestanost mehaničkih oscilacija podešena na rezonantnu učestanost mehaničkog sistema, odnosno $F_{pob} = F_{rez} = 52Hz$.

V. PRAKTIČNA REALIZACIJA

U ovom poglavlju je predstavljena praktična realizacija tiristorskog rezonantnog pretvarača za pobudu namotaja EVA. Ustvari se radi o dva pretvarača. Jedan je ulazni AC/DC sa korekcijom faktora snage a drugi je izlazni DC/DC/AC za pobudu namotaja EVA. Blok šema predstavljenog upravljačkog kola rezonantnog vibracionog transportera i pripadajućih energetskih pretvarača je data na Sl.6.

Ulazni PFC pretvarač je klasičan podizač napona i on kompenzuje negativan uticaj koji pravi izlazni DC/DC/AC pretvarač koji se koristi za pobudu EVA. Ovaj pretvarač se ustvari sastoji od DC/DC pretvarača, koji obezbeđuje podešavanje napona napajanja V_s i tiristorskog rezonantnog DC/AC polu mosnog pretvarača koji se napaja ovim naponom. DC/DC pretvarač je spuštač napona koga čine MOSFET T1, dioda D_0 , induktivnost L_0 , elektrolitski kondenzator C'_0 . Kod ovog pretvarača je primenjeno naponsko („DUTY-CYCLE“) upravljanje izlaznim naponom V_s , u opsegu 100-380VDC. Naponska povratna sprega je ostvarena razdelnikom R_{01} i R_{02} . Referentna vrednost V_{sREF} se zadaje iz amplitudsko-frekventnog (AF) kontrolera. Drajversko kolo DRV_0 za pobudu tranzistora T1 je bazirano na „boot-strap“ pobudnom kolu i korišćenjem čipa IR2110.

Polumosni rezonantni pretvarač je realizovan na bazi topologije koja je prethodno razmatrana i za koju su urađeni simulacioni rezultati. Polumost se sastoji od tiristora Q1 i Q2, pripadajućih komutacionih kondenzatora C_1 i C_2 , a kao deo rezonantnog kola se koristi namotaj EVA koji ima pretežno induktivni karakter i čija je induktivnost L .



Slika 6. Blok šema praktično realizovanog SCR polumostnog rezonantnog pretvarača i pomoćnih pretvarača za pobudu rezonantnog vibracionog transportera sa elektromagnetnom pobudom

Svaki od pomenutih tiristora ima svoje pripadajuće drajversko kolo (DRV_1 i DRV_2) sa galvanском izolacijom ostvarenom preko pobudnih impulsnih transformatora. Impulsi za okidanje tiristora se dobijaju sa digitalnih ulaza kontrolera, a njihova učestanost je određena praćenjem rezonantne učestanosti mehaničkog dela rezonantnog vibracionog transportera.

Predloženi i analizirani SCR rezonantni pretvarač se koristi u amplitudsko-frekventnom upravljanjem vibracionog pomeraja rezonantnog transportera. Radi se o sistemu sa dvostrukom rezonancom. Električno rezonantno kolo čine komutacioni kondenzatori i pretežno induktivni namotaj EVA, dok je mehaničko rezonantno kolo sadržano u mehaničkom delu sistema (vibracionog transportera). Treba napomenuti da je električna rezonantna učestanost za red veličine veća od mehaničke. Mehanička rezonantna učestanost se kreće u opsegu 5Hz-150Hz.

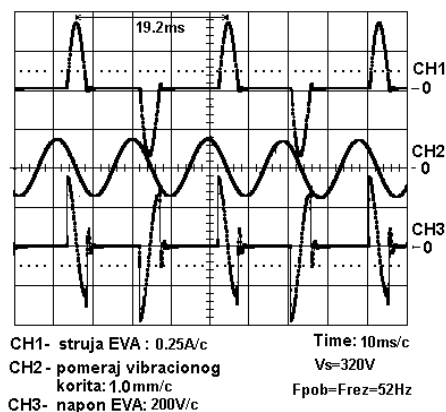
Pretraživanje, podešavanje i praćenje rezonantne učestanosti se ostvaruje posredstvom AF kontrolera. Da bi ovo bilo moguće potrebno je u svakom trenutku imati informaciju o izlaznom pomeraju pokretnog dela transportera. U tom cilju povratna sprega po izlaznom pomeraju je ostvarena sa induktivnim beskontaktnim senzorom koji daje izlaz 0-5V, sa opseg promene pomeraja $\pm 5\text{mm}$.

VI. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U ovom poglavlju su dati neki karakteristični eksperimentalni rezultati koji su dobijeni na praktično realizovanom prototipu.

Na Sl.7 su prikazani osciloskopski snimci karakterističnih talasnih oblika struje i napona EVA, kao i pomeraja pokretnog dela (kotve) EVA, odnosno pomeraja pokretnog dela rezonantnog vibracionog transportera. Jednosmerni napon rezonantnog polumosta je iznosio $V_s = 320\text{V}$. Svi snimci su dobijeni za mehanički rezonantni režim vibracionog transportera, odnosno pobudna učestanost namotaja EVA je

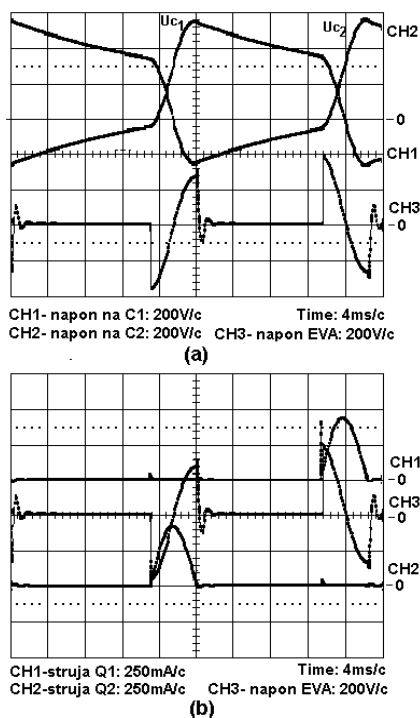
bila jednaka mehaničkoj rezonantnoj učestanosti i iznosila je $F_{pob} = F_{rez} = 52\text{Hz}$.



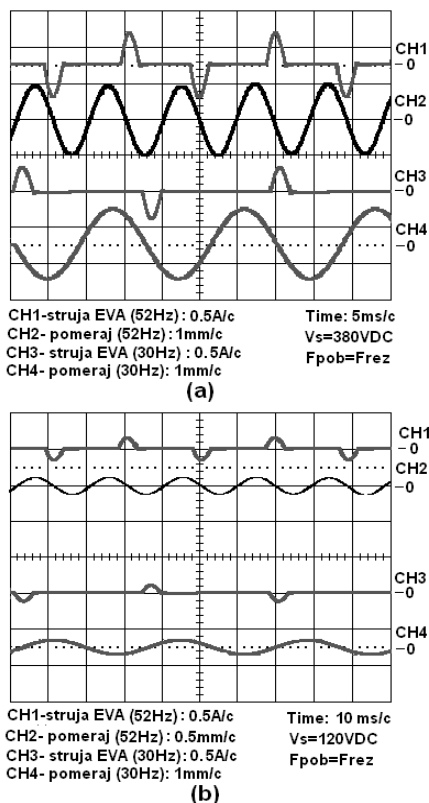
Slika 7. Karakteristični talasni oblici SCR rezonantnog polumosta za slučaj mehaničkog rezonantnog režima transportera

Pri ovoj rezonantnoj učestanosti je ostvarena amplituda pomeraja pokretnog dela transportera iznosila 1mm, amplituda pobudnih impulsa struje EVA je iznosila oko 0.5A, a njeno trajanje 3ms.

Na Sl.8 su dati osciloskopski snimci karakterističnih talasnih oblika koji se odnose na komutaciono kolo SCR rezonantnog pretvarača. Na Sl.8(a) su dati naponi na komutacionim kondenzatorima C_1 i C_2 , kao i napon EVA. Uočava se da je zbir napona na ovim kondenzatorima konstantan i jednak naponu $V_s = 320\text{V}$, kao i to da maksimalne vrednosti napona na komutacionim kondenzatorima ne prelaze dvostruku vrednost napona V_s . Maksimalne vrednosti napona EVA ne prelaze 400V. Na Sl.8(b) su date struje tiristora Q1 i Q2 i njihov odnos sa naponom na krajevima EVA.



Slika 8. Karakteristični talasni oblici komutacionog kola SCR rezonantnog polumosta; (a) naponi na komutacionim kondenzatorima, (b) struje tiristora Q1 i Q2



Slika 9. Karakteristični talasni oblici SCR rezonantnog pretvarača za pobudu EVA pri AF upravljanjem i vibracionog transportera; (a) amplituda izlaznog pomeraja 1mm, (b) amplituda izlaznog pomeraja 0.1mm

Na Sl.9 su dati eksperimentalni rezultati koji se odnose na praćenje rezonantnog režima i podešavanje rezonantne učestanosti, ali i podešavanje amplitude vibracija nosećeg elementa transportera. Drugim rečima na predstavljenim osciloskopskim snimcima su dati rezultati AF upravljanja vibracionim transporterom.

Na Sl.9(a) su predstavljeni talasni oblici struje EVA i vibracionog pomeraja u slučaju dva rezonantna režima $F_{pob1} = F_{rez1} = 52Hz$ i $F_{pob2} = F_{rez2} = 30Hz$. Jednosmerni napon napajanja rezonantnog pretvarača je iznosio $V_s = 380 V$. Pri ovim uslovima ostvarene amplitude pomeraja u oba rezonantna režima su iznosile oko 1mm, odnosno ostvareno je zadovoljavajuće AF upravljanje.

Na Sl.9(b) su predstavljeni talasni oblici struje EVA i vibracionog pomeraja za rezonantne učestanosti kao u prethodnom slučaju ali pri nižoj vrednosti DC napona napajanja rezonantnog pretvarača, koji je iznosio $V_s = 120 V$. Pri ovim uslovima ostvarene amplitude pomeraja u oba rezonantna režima su iznosile oko 0.1mm, tako da je i u ovom slučaju ostvarena zadovoljavajuće AF upravljanje.

VII. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljeno jedno moguće rešenje SCR rezonantnog pretvarača za pobudu EVA, koji predstavlja osnovni pogonski element rezonantnih vibracionih transportera. Ovde se dakle radi o sistemima sa dve rezonantne učestanosti; električnom i mehaničkom. Ustvari upravljanjem električnom rezonancom se obezbeđuje da se ceo vibracioni pogon ponaša kao kontrolabilan elektromehanički oscilator.

Obzirom da je obezbeđen rad u režimu mehaničke rezonance, maksimalna zahtevana snaga EVA je oko 50W, tako da u energetskom pogledu nema nekih specifičnih strujnih zahteva za komponentama u SCR rezonantnom pretvaraču. U naponskom pogledu, komutacioni kondenzatori su izloženi naponima dvostruko većim od napona DC međukola, te su stoga oni dimenzionisani za maksimalni napon od 1kV.

Izvršena je detaljna analiza rada pretvarača, generisan je simulacioni model i dobijeni su karakteristični talasni oblici.

Praktična realizacija predstavljenog pretvarača u okviru realnog AF upravljanja, kao i dobijeni eksperimentalni rezultati, su dati na kraju. Dobijeni eksperimentalni rezultati su pokazali veoma dobro slaganje sa prethodno izvršenom analizom i simulacijama.

ZAHVALNICA

Rad predstavlja jedan od rezultata projekta TR33022 koje je finansiralo Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije, za period 2011-2015.

LITERATURA

- [1] I.F. Goncharevich, K.V. Frolov, and E.I. Rivin, Theory of vibratory technology, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1990.
- [2] M.A. Parameswaran and S. Ganapathy, "Vibratory conveying-analysis and design: A review," Mechanism and Machine Theory, Vol. 14, No. 2, pp. 89-97, Apr. 1979.
- [3] D.McGlinchey, "Vibratory Conveying Under Extreme Conditions: An Experimental Study", Advanced in Dry Processing 2002, Powder/Bulk Solids, pp.63-67, November 2001.

- [4] G. Winkler, "Analysing the Vibrating Conveyor", International Journal of Mechanics, vol.20, pp.561-570, 1978.
- [5] S. Seely, Electromechanical energy conversion, McGraw-HILL Book Company INC., New York, 1962.
- [6] Z. Despotovic and Z. Stojiljkovic, "Power converter control circuits for two-mass vibratory conveying system with electromagnetic drive: Simulations and experimental results," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 54, No. 1, pp.453-466, Feb. 2007.
- [7] Ž.V. Despotović, A. I. Ribić, V. Sinik, "Power Current Control of a Resonant Vibratory Conveyor Having Electromagnetic Drive", Journal of Power Electronics, Vol.12, No4, July 2012
- [8] A.I.Ribic and Z.Despotovic, " High-Performance Feedback Control of Electromagnetic Vibratory Feeder", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol.57, Issue :9, Aug. 2010,pp.3087-3094.
- [9] T. Doi, K. Yoshida, Y. Tamai, K. Kono, K. Naito, and T. Ono, "Modelling and feedback control for vibratory feeder of electromagnetic type," Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 11, No. 5, pp. 563-572, Jun. 1999.
- [10] Zeljko.V. Despotovic, M.Jovic, "Mathematical model of electromagnetic vibratory exciter with incremental motion", Proceedings of the XIII International Scientific-Professional INFOTEH Jahorina, pp. 91-96, 2014
- [11] I. J. Sokolov, V. I. Babitsky, and N. A. Halliwell, "Autoresonant vibro-impact system with electromagnetic excitation," Journal of Sound and Vibration, No. 308, pp. 375-391, 2007.
- [12] Z.V.Despotovic, M.Lecic, M.Jovic, A.Djuric, "Vibration control of resonant vibratory feeder with electromagnetic excitation," Journal FME Transactions, Vol.42, No.4, pp281-289, 2014.
- [13] Martinez, R. and Enjeti, P.N., A High Performance Single Phase Rectifier with Input Power Factor Correction, IEEE Trans. Power Electron. , Vol.11, No.2, pp.311-317, Mar. 1996
- [14] Ferrari de Souza, A. and Barbi, I., A New ZVS-PWM Unity Power Factor Rectifier with Reduced Conduction Losses, IEEE Trans. Power Electron. , Vol.10, No.6, pp.746-752, Nov.1996.
- [15] Rashid, M. H., Power Electronics, Prentice-Hall Englewood Cliffs, New York, 1988.
- [16] Todd, P., "UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design"- UNITRODE application note U-134.
- [17] Z. Stojiljković, Ž. Despotović, "Korekcija faktora snage u pogonu elektromagnetnih vibratora", X simpozijum Energetska elektronika – Ee '99, N.Sad (YU), pp. 157-164, Oktobar 1999.
- [18] Billings, K.H., "Handbook of switchmode power supplies", McGRAW-HILL Publishing Company New York, 1989.

ABSTRACT

In systems of vibratory conveying of bulk materials is especially important mechanical resonance. By means of this conveying is possible to achieve significant gravimetric flow with the least amount electric power to excite electromagnetic vibratory actuator (EVA). Setting and tuning the mechanical resonant frequency can be achieved by means of a variety of topologies thyristor and transistor power converters topologies. This paper presents one possible solution simple amplitude-frequency control of vibratory actuators with electromagnetic excitation, achieved with half-bridge SCR resonant power converter. The frequency of mechanical resonance is significantly lower than the frequency of the electrical resonant circuit consisting of coil EVA and associated commutating capacitors. The paper presents simulation and experimental results for a characteristic vibratory conveyor drive with the applied double resonance, mechanical and electrical.

SCR RESONANT POWER CONVERTER FOR AMPLITUDE-FREQUENCY CONTROL OF ELECTROMAGNETIC VIBRATORY ACTUATORS

Željko V. Despotović, Miloš R. Nedeljković