



VISOKOFREKVENTNO UPRAVLJANJE ELEKTROSTATIČKIM IZDVAJAČIMA

Željko Despotović, Slobodan Vukosavić*

Institut "Mihajlo Pupin", Beograd, Srbija, zeljko@robot.imp.bg.ac.yu

*Elektrotehnički Fakultet Beograd, Srbija, boban@etf.bg.ac.yu

Sadržaj rada: *Kvalitativno poboljšanje rada elektrostatičkog izdvajanja čestica iz dimnog gasa je moguće ostvariti zamenu uobičajene tiristorske pretvaračke grupe, sa pridruženim visokonaponskim (VN) transformatorom učestanosti 50 Hz, savremenijim rešenjem koje bi uključivalo tranzistorsku pretvaračku sekciju čiji se rad ostvaruje na povišenim učestanostima. Jedna ovakva pretvaračka sekcija sa IGBT ili SIT poluprovodničkim komponentama može ostvariti naponsku konverziju na učestanosti između 10 kHz i 40 kHz. Brzina reagovanja i kvalitet izdvajanja jednog takvog sistema su neuporedivo bolji od tiristorski kontrolisanih elektrostatičkih izdvajaa (ESI). Tako je kod visokofrekventnog (VF) sistema moguće ostvariti vreme reakcije kontrolnog sistema u opsegu 100-500 μ s, dok se kod 50 Hz sistema upravljanje može menjati sa kašnjenjem od 10ms i više. Pored ovoga značajno se smanjuju dimenzije VN transformatora. U ovom radu su prikazane teorijske postavke i rezultati simulacije za jedan rezonantni VF pretvarač kojim se napaja ESI.*

Ključne reči : *Elektrostatički izdvajač (ESI), visokofrekventna (VF) kontrola, rezonantni pretvarač, IGBT, DSP kontroler.*

1. UVOD

Pretvaranje monofaznih i trofaznih AC mrežnih napona u visoke jednosmerne napone (>10kV), velike snage (>10kW) je postala jedna od ključnih oblasti tehnologije koja se zahteva u mnogim industrijskim procesima, a naročito u izdvajanju i kontroli emisije čestica dimnih gasova. Ova kontrola se bazira na korišćenju elektrostatičkih izdvajaa (ESI).

U većini slučajeva zahtev za visokim DC naponom se danas standardno ostvaruje jednofaznim AC regulatorom koji se bazira na tiristorskoj kontroli [1],[2],[3],[4]. Regulator kontroliše napajanje ESI posredstvom VN transformatora i odgovarajućeg ispravljača. Mostnim ispravljačem primenjenim na sekundaru transformatora proizvodi VN jednosmernog nivoa. Valovitost toga napona je relativno velika i zavisi od kapacitivnosti opterećenja odnosno ekvivalentne kapacitivnosti ESI. Kontrola izlazne snage i napona se postiže promenom ugla paljenja antiparalelno vezanih tiristora, koji se nalaze na primarnoj strani VN transformatora.

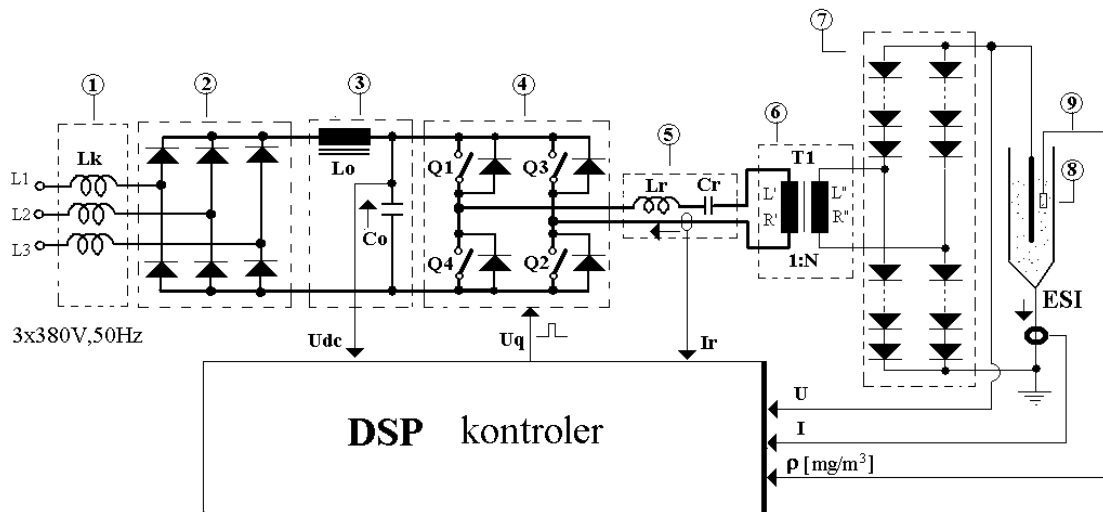
Proteklih godina ova topologija se pokazala veoma efikasnom, ali je ostvarila relativno mali progres u sistemima elektrostatičkog izdvajanja čestica. Glavni razlog za to je nedostatak upotrebljivosti VN naponskog transformatora značajne snage (potopljenog u izolacionom ulju), pri povišenim učestanostima. Tako je konvencionalni dizajn 50/60Hz dugo godina bio najatraktivnije rešenje. I pored toga što je pomenuta tiristorska topologija veoma robusna, jednostavna i fleksibilna, ona ima dosta ozbiljnih mana od kojih su najznačajnije:

- mali kvalitet ulazne struje
- nizak faktor snage
- spor odziv
- nisku efikasnost
- značajne dimenzije i težina VN opreme

Pored ovoga zahteva se veliki obim i cena građevinskih radova pri gradnji jednog takvog VN postrojenja.

U novije vreme su na tehnološkom tržištu ESI sve više zastupljeniji viskofrekventni (VF) prekidački izvori napajanja. Oni se uvode u sisteme napajanja ESI po prihvatljivoj ceni i postaju veoma konkurentni u odnosu na setove linearni *transformator/ispravljač* i tiristorsku kontrolu koja se već dugo godina koristi u industriji. Novi VF prekidački izvori obezbeđuju dramatično različite performanse i fizičke karakteristike ESI od linearnih izvora napajanja, koji će u najskorije vreme biti potisnuti iz upotrebe. Primenjeni u ESI aplikacijama novi VF prekidački pretvarači imaju značajan uticaj na izdvajaačke sisteme i to sa aspekata konstrukcije, rada i održavanja [10].

Nekoliko je poboljšanja koja se mogu očekivati od usvajanja VF prekidačkog rada. Kao prvo VF prekidački rad dozvoljava mnogo *precizniju kontrolu* radnih parametara ESI, kao što su izlazni napon i struja. Kao drugo moguće je ostvariti brz porast napona i *veoma brz odziv* na promene opterećenja. Pored toga visoka učestanost obezbeđuje *značajno smanjenje veličine i težine* VN transformatora. Ova redukcija vodi kompaktnijem dizajnu uz *minimiziranje cene* ugradnje i održavanja. Visoka učestanost obezbeđuje mnogo veću reaktansu transformatorskog jezgra i shodno tome bolju efikasnost izvora napajanja. Naročita prednost visokofrekventnog napajanja ESI se odnosi na *sposobnost modulacije izlaznog napona*. U nekim aplikacijama mogućnost ostvarenja pulsacija izlaznog DC



Sl.1. Blok šema visokofrekventne kontrole ESI; 1-komutacione prigušnice, 2-trofazni ispravljač, 3-DC filterarsko kolo, 4-prekidački puni most, 5-LC rezonantno link kolo, 6-visokofrekventni transformator (podizač napona), 7-VN diodni ispravljač, 8-elektrostatički izdvačaj (ESI), 9-merenje neprozirnosti (ekstinkcije) dimnog gasa

napona konvertora od jednog naponskog nivoa do drugog, pri specifičanom i podešljivom intenzitetu, vremenu vođenja i periodi, ima znatne prednosti koje se odnose na poboljšanje punjenja čestica prašine/gasa i njihovo efikasnije sakupljanje u ESI.

2. OPIS PREKIDAČKOG NAPAJANJA ESI

Blok šema jednog tipične VF kontrole ESI je data na Sl.1. Ulazno napajanje se najčešće ostvaruje iz trofazne AC mreže napona 3x380V/50Hz. Na ovoj šemi se razlikuje više funkcionalnih celina, koje se odnose na sam pretvarač kojim se napaja ESI i upravljački deo koga čini DSP kontroler.

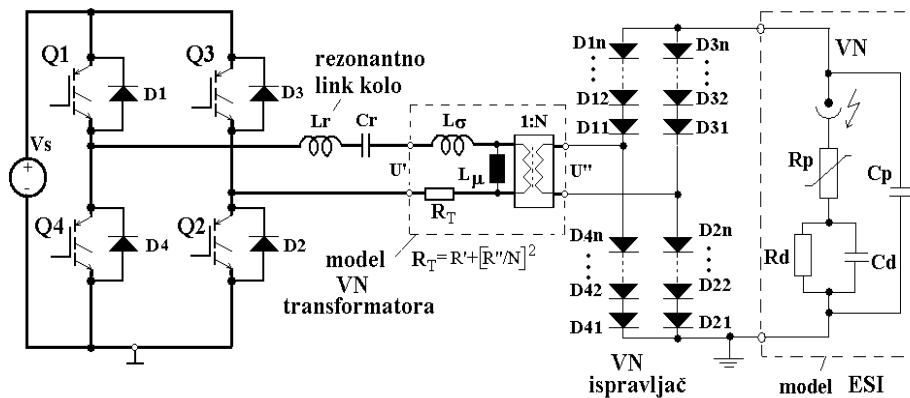
Ulazni deo pretvarača je ustvari AC/DC konvertor koga čine funkcionalni blokovi (1)-(3). Funkcionalni blok (1) čine komutacione prigušnice (u svakoj fazi po jedna) koje poboljšavaju ulazni faktor snage i ograničavaju struju kratkog spoja pri komutaciji dioda u trofaznom mostu (2). DC međukolo (3) koga čini *LoCo*-filar, obezbeđuje prilično "ispeglan" *DC-bus* napon od približno 520VDC. DC/AC blok se sastoji od prekidačkog punog mosta (4) koji konvertuje *DC bus* napon u VF naizmenični napon. Puni most čine prekidači Q1-Q4 i njihove pripadajuće povratne diode. Prekidači su predviđeni za VF režime i najčešće su MOSFET, ali se u novije vreme, naročito za veće snage koriste IGBT. Rezonantni tank (5) koga čini redno rezonantno kolo *LrCr* u kombinaciji VN transformatorom (6) prenosnog odnosa 1:N (AC naponski podizač) i AC/DC bloka obezbeđuje pri povišenoj učestanosti podizanje, a potom ispravljanje AC napona posredstvom VN ispravljača (7). Ovim se na krajeve opterećenja (8) koje ustvari predstavlja ESI, isporučuje visoki jednosmerni napon. Merenje koncentracije čestica u dimnom gasu se ostvaruje senzorom (9) i njime se obezbeđuje glavna povratna sprema sa DSP kontrolerom. Merenje koncentracije se zasniva na spektralnoj metodi merenja neprozirnosti (ekstinkcije) dimnog gasa. Pored ove povratne sprege, se kao informacije o stanju u izdvačaju, koriste signali izlazne struje i napona. Za optimalni rad

rezonantnog pretvarača je potrebna i informacija o struji *I_r* u rezonantnom link kolu i naponu DC međukola. U okviru kontrolnog kola je integrisano drajversko kolo za prekidače u mostu, na čijem se izlazu generiše pobudni napon *U_q*.

Obzirom da transformator podizač napona radi na povišenoj učestanosti, njegova veličina i težina će biti oko 10 puta manja od naponski ekvivalentnog 50Hz transformatora. Takođe značajno će biti smanjeno grejanje rashladnog fluida (ulja).

VN transformator mora biti dimenzionisan tako da se pobuđuje naponskim izvorom iz H- mostnog invertora i rezonantnog linka (Sl.1). Ovim se postiže značajna fleksibilnost uz korišćenje strategije naponske kontrole tj. kontrole širine impulsa ili faznog pomeraja. Fleksibilnost kontrole invertora je značajna za izbegavanje neželjenih efekata kao što je "zvonjava". Takvi efekti mogu nastati usled raspodeljenih parametara transformatora (parazitnih kapaciteta i induktivnosti), koji utiču na talasne oblike struja i napona u invertoru. Stoga se zahteva sveobuhvatano i oprezno dimenzionisanje VN transformatora. Elektrostatički i termički stres su prihvatljivi sa stanovišta napona i snage. Dimenzionisanje VN transformatora pri pomenutim visokim učestanostima se značajno razlikuje od konvencionalnih metoda. Postoji nekoliko problema koji su detaljno analizirani u [5] a odnose se na: zahteve izolacije, parazitne elemente, gubitke u magnetnom jezgru i disipacija toplote, efekat korone i ispravljanje napona. VN transformatori za ove aplikacije su tipično prenosnog odnosa 100:1 do 200:1, zavisno od zahtevanog izlaznog napona.

Dimenzionisanje pretvarača zahteva da AC/DC i DC/AC moduli budu locirani što bliže transformatoru podizaču napona. Oba ova zahteva su praktična i neophodna za VF prekidački sistem koji se sastoji od jedne fizički integrisane celine za razliku od trenutno korišćenih standardnih tiristorskih sistema (50Hz aplikacija) u kojima su kontrolni kabinet i set transformator/VN ispravljač odvojene jedinice i locirane na značajnom međusobnom rastojanju.



Sl.2. Električna šema sistema rezonantni konvertor-ESI

Pošto su IGBT prekidači predviđeni za VF rad sa veoma kratkim vremenima uključenja, bez čekanja da linijska struja padne na nultu vrednost, rad mostnog kola će biti za oko 250 puta brži od tiristorskog linearnog izvora napajanja. Ovo je veoma bitno jer se na taj način dozvoljava novi VF kontrolni algoritam sa naročitim prednostima pri intermitentnom napajanju [4],[6],[7].

Pošto se AC ulazni napon ispravlja, filtrira i onda vrlo brzo prekida (tipično sa 10-25kHz) u malim paketima energije, talasnost izlaznog napona je samo 3-5% od DC naponskog nivoa u poređenju sa 35-45%, koji se ima kod tiristorskog napajanja 50Hz. Trofazni ulaz rezultuje sa mnogo većim faktorom snage tipično 0.94 u odnosu na slučaj dvofaznog napajanja i tiristorskog regulatora, kod koga je faktor snage ≈ 0.63 . Osim toga značajno je smanjena potrošnja snage u odnosu na slučaj tiristorskog napajanja ESI.

Sumarno gledano, brojne su razlike u električnim karakteristikama u odnosu na mrežne tiristorske regulatore, koje idu u prilog VF napajanju ESI:

- integrisana kontrola
- minimizirane dimenzije i malo pakovanje
- brža kontrola i odziv
- visoka srednja vrednost izlaznog napona
- mala potrošnja snage

3. ANALIZA RADA VF REZONANTNOG PRETVARAČA

U nastavku teksta će težište razmatranja biti usmereno na analizu rada sistema rezonantni konvertor – ESI. U tom cilju je izvršeno adekvatno uprošćenje električne šeme na Sl.1, tako da se za analizu VF rada ESI koristi električna šema data na Sl.2.

Model ESI je dat ekvivalentnim električnim kolom koje je predložio S.Oglesby [4]. Dinamička otpornost korona pražnjenja je označena sa R_p , dok je kapacitivnost izdvajača označena sa C_p . Treba napomenuti da je otpornost R_p nelinearna i određuje se teorijski iz strujno-naponske karakteristike ESI [8], dok se kapacitet C_p određuje iz opšte poznate formule [4], i zavisi od geometrije elektroda ESI i dielektrične permitivnosti prostora unutar njega. Pored ovog načina ove parametre je moguće identifikovati i odrediti merenjem struje i napona ESI korišćenjem "mirnog režima" rada [1], [2].

Dinamička impedansa sloja praha je predstavljena parametrima R_d i C_d .

Obzirom da se radi o VF radu kola, model VN transformatora je predstavljen induktivnošću rasipanja- L_σ , induktivnošću magnećenja- L_μ i idealnim transformatorom podizačem napona, prenosnog odnosa 1:N. U razmatranju su zenemareni aktivni gubici u magnetnom jezgru transformatora i njegove parazitne kapacitivnosti. U realnom slučaju je $L_\mu \gg L_\sigma$. Aktivni gubici u namotaju su modelirani otpornošću R_T . U realnom slučaju je ova otpornost veoma mala ($\approx 20m\Omega$).

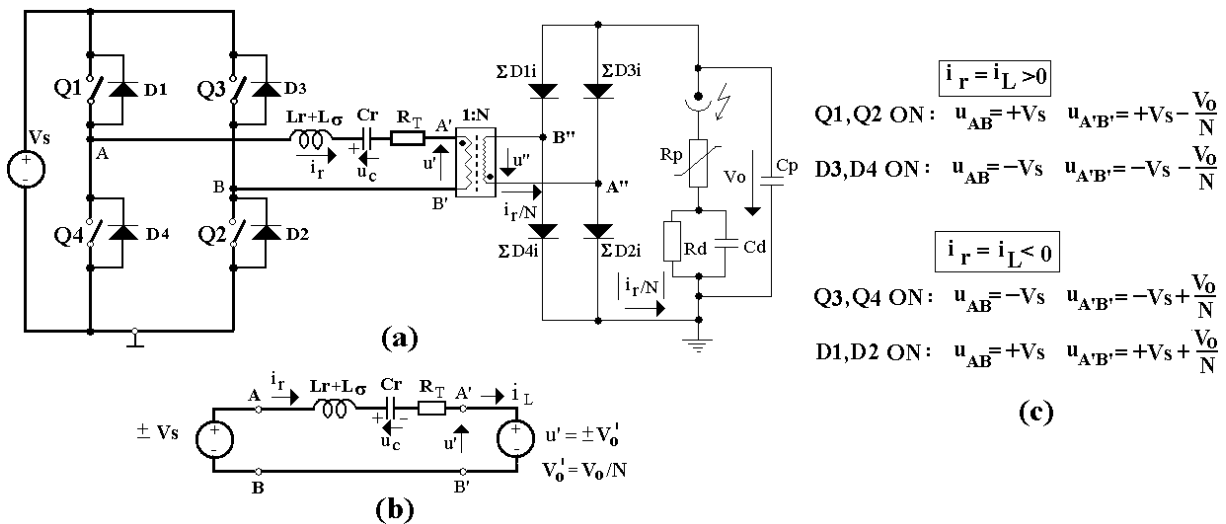
VN ispravljač je predstavljen diodnim mostom pri čemu se svaka grana mosta sastoji redno vezanih n identičnih dioda.

Na onovu prethodno rečenog je moguće električno kolo sa Sl.2 uprostiti, tako da se može jednostavnije izvršiti analiza rada sistema (Sl.3). U tom cilju je formirano simulaciono kolo na Sl.3(a) i njemu ekvivalentno redno oscilatorno kolo koje je prikazano na Sl.3(b). Algoritam upravljanja je prikazan jednačinama na Sl.3(c).

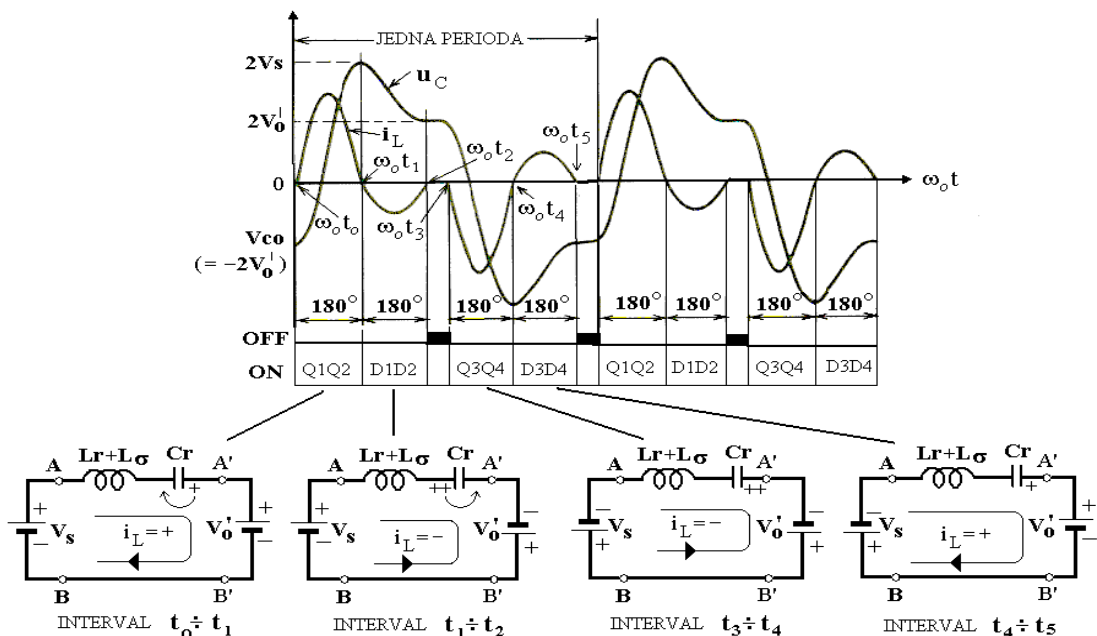
Veoma bitan deo u sistemu predstavlja redno rezonantno link oscilatorno kolo je predstavljeno prigušnicom L_r i kondenzatorom C_r . Ove dve vrednosti određuju njegovu rezonantnu učestanost f_r , odnosno $f_r = 1 / (2\pi \sqrt{L_r C_r})$.

Struja kojom se napaja ESI je određena strujom ovog rezonantnog kola i_r . Obzirom na njeno ispravljanje VN diodnim mostom i prenosni odnos transformatora 1:N, struja kojom se napaja ESI iznosi $|i_r / N|$. Izlazni napon V_o izdvajača se na primarnoj strani transformatora vidi približno kao $u' \approx V_o / N$ kad je $i_r = i_L > 0$, odnosno $u' \approx -V_o / N$ kad je $i_r = i_L < 0$.

Kada je struja $i_L > 0$ ona protiče kroz Q1 i Q2 ako su oni uključeni, dok u suprotnom protiče kroz diode D3 i D4. Slično tome kada je $i_L < 0$ struja protiče kroz Q3 i Q4 ako su oni uključeni, a u suprotnom kroz diode D1 i D2. Obzirom na odnos prekidačke učestanosti- f_s i rezonantne učestanosti- f_r moguća su tri režima [9] koji će u nastavku teksta biti opisani.



Sl.3. Analiza rada sistema VF rezonantni konvertor-VN ispravljač-ESI; (a)-simulaciono kolo, (b)-ekvivalentno redno rezonantno kolo, (c)-algoritam upravljanja



Sl.4. Analiza rada rezonantnog pretvarača; karakteristični talasni oblici i vremenski intervali

Neprekidni režim se može ostvariti u dva slučaja. U prvom slučaju kada je $f_r/2 < f_s < f_r$ prekidači se uključuju pri konačnoj struji i konačnom naponu i usled toga se u tom intervalu javljaju značajni gubici. Isključenje prekidača se dešava prirodno pri nultoj struji i pri nultom naponu. U trenutku kada struja ekvivalentnog kabela $L\sigma + L_r$ prolazi kroz nulu i menja znak počinju da provode zamajne diode. U drugom slučaju kada je $f_s > f_r$ prekidači se isključuju pri konačnim vrednostima struje ali se zato uključuju pri nultoj struji i naponu. Značajna mana ovog režima je što prekidači moraju biti isključeni u blizini maksimuma struje opterećenja, što vodi povećanju komutacionih gubitaka.

Prekidni režim rada konvertora se ima pri $f_s < f_r/2$. Ovaj režim sa stanovišta napajanja ESI je neobično interesantan tako da će biti detaljnije analiziran.

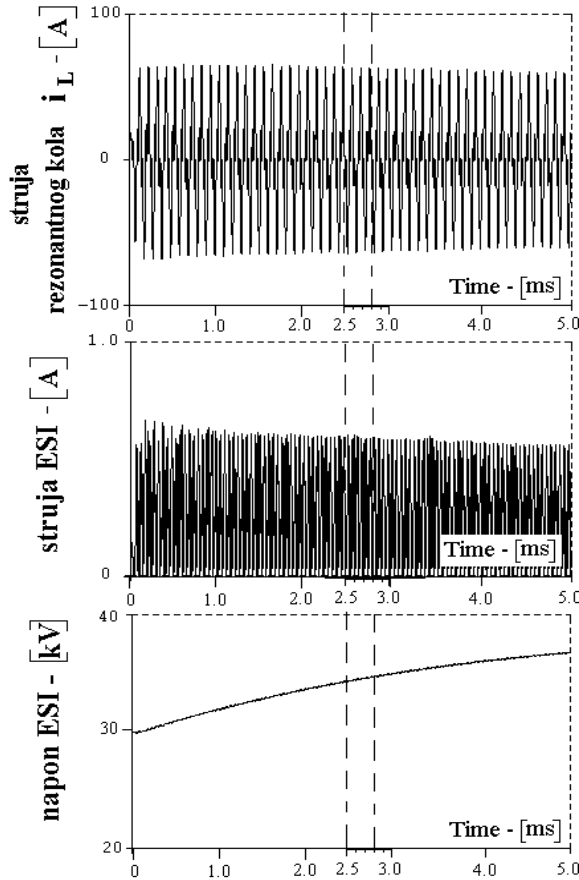
Karakteristični talasni oblici u stacionarnom stanju za ovaj režim i konfiguracije rezonantnog kola u vremenskim intervalima od interesa su dati na Sl.4. U analizi je zanemarena aktivna otpornost transformatora tj. $R_T \approx 0$.

U trenutku t_0 su uključeni prekidači Q1 i Q2 i struja kabela počinje da raste od svoje nulte vrednosti. Napon kondenzatora raste počev od svoje negativne vrednosti $-2V_0/N$. U intervalu t_0-t_1 dolazi do prepolarizacije kondenzatora C_r tako da napon na njemu postaje $+2V_s$. Na kraju ovog intervala struja kabela menja znak i tada počinje da provode zamajne diode D1 i D2. U intervalu t_1-t_2 struja kabela teče u suprotnom smeru, dostiže maksimum i nakon toga pada u nulu. U intervalu t_2-t_3 nijedan od prekidača nije uključen. Struja ostaje na nultoj vrednosti sve dok se na izvrši uključivanje prekidača

Q3 i Q4. U ovom intervalu dolazi do blagog pražnjenja kondenzatora tako da napon kondenzatora postaje $+2V_o/N$. Asimetričan rad zahteva da napon na kondenzatoru za vreme prekidnog intervala t_2-t_3 ima vrednost $+2V_o/N$ i manji je od V_s+V_o/N (pošto je $V_o/N < V_s$). Iz ovog razloga struja postaje prekidna. U trenutku t_3 uključuju se prekidači Q3 i Q4 i ceo ciklus se na sličan način ponavlja kao što je prikazano na Sl.4.

4. SIMULACIONI REZULTATI

Verifikacija rada električnog kola sa Sl.3 je ostvarena simulacijom na osnovu koje su dobijeni određeni rezultati. U simulaciji su pretpostavljene realne vrednosti parametara koje su dobijene detaljnim proračunom.



Sl.5. Simulacioni talasni oblici karakterističnih veličina sistema rezonantni konvertor-ESI

VN transformator	L_σ [μH]	20
	L_μ [mH]	1
	N	110
	R' [$\text{m}\Omega$]	2
	R'' [Ω]	24
rezonan. link	L_r [μH]	50
	C_r [nF]	680
ESI	R_p [$\text{k}\Omega$]	180
	C_p [nF]	50

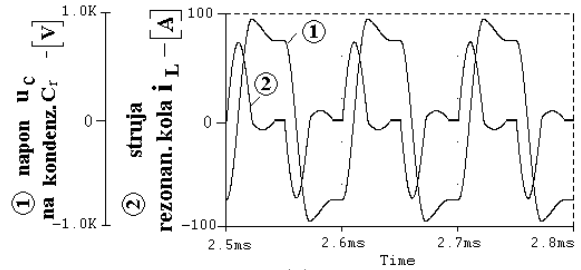
DC međukolo	V_s [V]	520
	ΔV_{p-p} [%]	5
	C_o [μF]	470
	L_o [mH]	2
	f_s [kHz]	10
UČESTANOSTI rezonan. prekid.	f_r [kHz]	23
	f_{out} [kHz]	20

Tabela I-parametri korišćeni u simulaciji

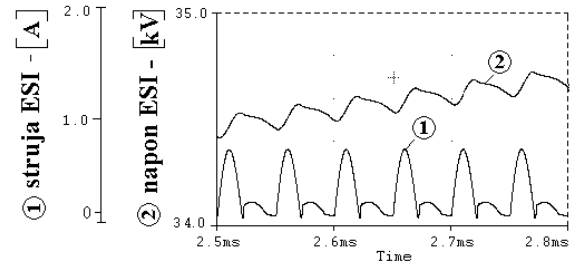
U tabeli I su date brojne vrednosti parametara koje su korišćene u simulaciji.

Na Sl.5 su dati karakteristični talasni oblici za simulaciono kolo sa Sl.3. Posmatrane veličine su struja primara VN transformatora, odnosno struja rezonantnog link kola, struja i napon ESI.

Detaljni prikaz karakterističnih veličina za označeni vremenski interval na Sl.5, je dat simulacionim snimcima na Sl.6.



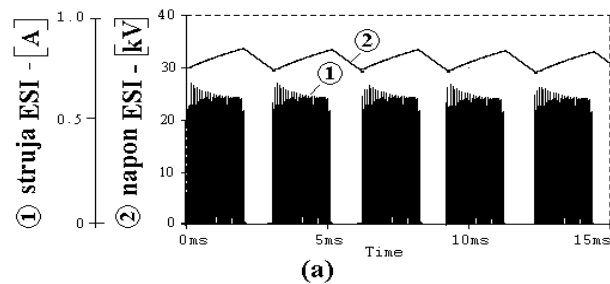
(a)



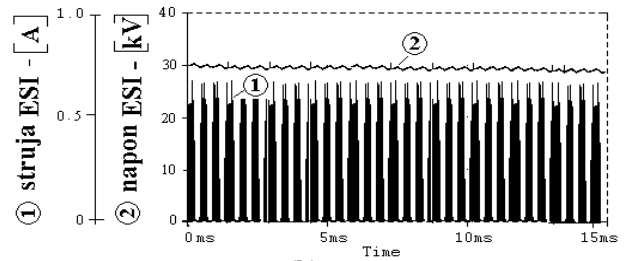
(b)

Sl.6. Detaljni prikaz karakterističnih veličina; (a)- rezonantni link; struja prigušnice i napon kondenzatora, (b)- struja i napon ESI

Simulacija VF rada rezonantnog pretvarača u intermitentnom režimu je data na Sl.7. Ustvari VN transformator se napaja energijom u toku vremena uključivosti t_{on} kada se ostvaruje normalni rad rezonantnog pretvarača, dok je prekid rada rezonantnog pretvarača ostvaren tokom vremena t_{off} .



(a)



(b)

Sl.7. Simulacioni talasni oblici struje i napona ESI u intermitentnom režimu; (a)- vreme uključivosti $t_{on}=2\text{ms}$ (b)-vreme uključivosti $t_{on}=0.25\text{ms}$

Ovaj intermitentni režim (*rad-pauza*) se ponavlja ciklično sa periodom koja je mnogo veća od periode oscilacija u rednom rezonantnom kolu. U simulaciji je podešeno da u toku aktivnog vremenskog intervala t_{on} rezonantni pretvarač osciluje sa učestanošću $f_i = 10\text{kHz}$. Shodno tome je učestanost impulsne struje, kojom se napaja sam ESI, dvostruko veća od ove vrednosti tj. $f_{out} = 20\text{kHz}$.

Na Sl.7(a) su prikazani simulacioni rezultati za slučaj kada se ima relativno velika talasnost napona ESI. U ovom slučaju je ona iznosila oko 5kV. Vreme porasta napona ESI je određeno vremenom uključenosti rezonantnog konvertora i iznosilo je $t_{on} = 2\text{ms}$. Vreme pauze je podešeno na $t_{off} = 1\text{ms}$.

Na Sl.7(b) su prikazani simulacioni rezultati za slučaj kada je ostvareno precizno podešavanje napona ESI, odnosno kada se ima vrlo mala njegova talasnost. U ovom režimu je podešeno vreme uključenosti rezonantnog konvertora na $t_{on} = 0.25\text{ms}$, dok je vreme pauze podešeno na $t_{off} = 0.2\text{ms}$. Talasnost napona pri ovim uslovima je iznosila oko 0.2kV. Ovaj režim rada ima naročitih prednosti u slučaju nisko otpornog letećeg pepela.

5. ZAKLJUČAK

U radu su predstavljeni analiza i simulacioni rezultati koji se odnose na rad rezonantnog konvertora kojim se napaja sistem *VN transformator-VN ispravljač-ESI*.

Simulacioni model je poslužio kao osnovni metod za optimizaciju parametara rezonantnog link LC kola koji su dobijeni proračunom. Pored toga obezbeđena je optimizacija parametara VN transformatora i ostvarene su dodatne korekcije dobijene proračunom.

Na predstavljenom simulacionom modelu su uočene brojne prednosti koje nudi rezonantni konvertor u VF prekidačkom radu u odnosu na 50Hz tiristorske prevarače u antiparalelnoj vezi. Kao prvo uočeno je da se korišćenjem kontrolisanog serijskog rezonantnog kola ostvaruje mnogo *preciznija kontrola* struje i napona ESI. Pored toga moguće je ostvariti veoma brz porast izlaznog napona i *veoma brz odziv* na promene opterećenja. Kao posledica VF rada potpuno je očekivati da budu *značajno smanjene dimenzije i težina* VN transformatora, a samim tim i celog sistema. Pored ovoga visoka učestanost je povoljna jer obezbeđuje mnogo veću reaktansu transformatorskog jezgra i shodno tome *bolju efikasnost* sistema pretvarač-ESI.

Eksperimentalna potvrda i testiranje laboratorijskog prototipa pretvarača se trenutno ostvaruje u Laboratoriji za mikroprocesorsko upravljanje energetskim pretvaračima Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Ostali rezultati vezani za ovaj razvoj su dostupni na adresi WEB sajta <http://ddc.etf.bg.ac.yu>.

6. LITEARTURA

- [1] J.Macan, "Eksplotaciona ispitivanja regulisanih ispravljača za napajanje elektrostatičkih otprašivača", VI simpozijum Energetska elektronika – Ee '86, Subotica (YU), jun 1986, pp.382-392.
- [2] Z.Stojiljković, Ž.Despotović, "Regulisani ispravljač za napajanje elektrostatičkih filtera", XII simpozijum Energetska elektronika – Ee'03, N.Sad, 5-7 Nov. 2003, Vol. T1-2.1, pp.1-5.

- [3] N.V.P.R Durga Prasad, T.Lakshminaray, J.R.K Narasimham, T.M.Verman and C.S.R Kirshnam Raju, "Automatic Control and Management of Electrostatic Precipitator", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.35, No.3, May/June 1999, pp.561-567.
- [4] V. Dimić, B. Buha, M. Ilić, "Impulsno napajanje i njegova primena na postojećim i novoinstaliranim elektrostatičkim izdvađačima", Studija br.21-92-01 Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd, 1990.
- [5] John.C. Fothergill, Philip W.Devine and Paul W. Lefley "A Novel Prototype Design for a Transformer for High Voltage, High Frequency, High Power Use", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.16, No.1, January 2001, pp.89-98.
- [6] K. Parker, "Electrical operation of electrostatic precipitators", The Institution of Electrical Engineers, London, 2003.
- [7] P.Boyle, G.Paradiso, P.Thelen, "Performance Improvements From Use of Low Ripple Three-Phases Power Supply for Electrostatic Precipitator", Proceedings of American Power Conference-Vol.61-1, Illinois Institute of Technology, Feb.1999., Chicago, USA.
- [8] C.Buccella, "Quasi-Static and Dynamical Computation of V-I Characteristics of a Dust - Loaded Pulse-Energized Electrostatic Precipitator", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.35, No.2, March/April 1999, pp.366-372.
- [9] N.Mohan, T.M.Underland, W.P Robbins, "Power Electronics-Converters, Applications and Design", Second Edition, John Wiley and Sons INC. , N.York, 1995.
- [10] R.Reyes, B.Wallgren, A.Wramdemark, "A Novel and Versatile Switched Mode Power Supply for ESPs", Proceedings of the International Conference-Electrostatic Precipitators, 1998, Kyongju, Korea.

HIGH FREQUENCY CONTROL OF ELECTROSTATIC PRECIPITATOR

Abstract: *The qualitative improvement of electrostatic precipitation of particle from the smoke gas is possible to realize by replacing conventional thyristor converter module and 50Hz high voltage transformer, with a new more sophisticated solution whose include high voltage high frequency (HVHF) transistor converter. This converter section with IGBT or SIT can realize voltage conversion from 10 kHz-40 kHz frequencies. Reaction time and quality precipitation in this case is better disparate instead of thyristor controlled electrostatic precipitator (ESP). In case of HF system it is possible to embody reaction time in latitude from 100-500 μs , while in case 50Hz system this time is around 10ms or even longer. Besides of all, the size and weight of HV transformer is significant reduced. In this paper it is presented theoretical consideration and simulation results for one HF resonant converter, which energized ESP.*

Key words: *Electrostatic precipitator(ESP), high frequency control, resonant converter, IGBT, DSP controller.*