

Datum: 19.04.2010. god.

Predmet: Mišljenje o ispunjenosti kriterijuma za priznanje tehničkog rešenja

Na osnovu dostavljenog materijala, u skladu sa odredbama *Pravilnika o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača*, koji je doneo Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj Republike Srbije ("Službeni glasnik RS", br. 38/2008) recenzenti: **Dr Miloje Kostić - Viši naučni saradnik u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla“ i Prof.dr Zoran Stojiljković, profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu**, su ocenili da su ispunjeni uslovi za priznanje svojstva tehničkog rešenja sledećem rezultatu naučnoistraživačkog rada:

NAZIV: Prototip visokonaponskog visokofrekventnog rezonantnog energetskog IGBT pretvarača za kontrolu elektrostatičkih precipitatora (Projekat sa ev. br. ZS007: Razvoj i primena visokonaponske visokofrekventne ekološke opreme za oticanje aerozagađenja u industriji i elektroprivredi-rukovodilac projekta: prof. dr Slobodan N. Vukosavić).

Autori:

Prof. dr Slobodan N., Vukosavić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu
Dr Željko Despotović, Institut "Mihajlo Pupin"-Beograd
Doc. dr Miloš Nedeljković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu
Srđan Srdić dipl.inž. - Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Kategorija tehničkog rešenja: M(82) - industrijski prototip

OBRAZLOŽENJE

Recenzentska komisija je utvrdila da je predloženo rešenje urađeno za P.D. Termoelektrane "Nikola Tesla" Obrenovac d.o.o., TE "Morava" Svilajnac.

Subjekt koji rešenje koristi: TE "Morava" Svilajnac

Predloženo rešenje je urađeno: 02.02.2009 godine.

Subjekt koji je rešenje prihvatio i primenjuje: TE "Morava" Svilajnac, takođe postoji interes poljske firme RAFAKO za primenu tehničkog rešenja

Rezultati su verifikovani na sledeći način, tj. od strane sledećih tela:

Odeljenje za ekologiju i zaštitu životne sredine TENT

Odeljenje za održavanje elektrofiltrarskog postrojenja TE "Morava" Svilajnac

Predloženo rešenje se koristi na sledeći način: Integralni je deo postrojenja za elektrostatičko izdvajanje čestica iz dimnih gasova u TE "Morava" Svilajnac.

Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi je Energetske tehnologije, ekologija.

Problem koji se tehničkim rešenjem rešava:

U klasičnim izvedbama elektrostatičkih izdvajača (ESI) postoji problem prevelike površine i težine elektroda koje je potrebno primeniti da bi se postiglo zadovoljavajuće izdvajanje i čišćenje. Pored toga, klasična rešenja dovode do vrlo brzog otkaza sistema usled erozije elektroda koju stvara električni luk velike energije, tipičan za konvencionalne 50Hz-ne sisteme napajanja, koji je posledica njihovog relativno sporog odziva na preskok. Da bi se problem otklonio, potrebno je načiniti i primeniti visokonaponsko (VN) napajanje koje ima veoma veliku brzinu reagovanja (u odnosu na konvencionalne sisteme u do 200 puta). Ovakvo napajanje nameće i zahteva gradnju

energetskog pretvarača sa IGBT tranzistorima koji ima prekidačku učestanost od 10-20kHz i snagu od 100-200kVA. Projektovanje i izrada ovakvog pretvarača predstavlja tehnički i tehnološki izazov koji u svetu nije rešen na pravi način. U rešavanju problema, istraživački tim se opredelio za topologiju pretvarača, upravljačka i pobudna kola koja osiguravaju siguran rad tranzistora snage. U naponsko strujnom dijagramu tranzistora, radna tačka se održava na sigurnosnom odstojanju od zabranjene oblasti u kojoj bi došlo do prekomernog zagrevanja manjih zona poluprovodnika, nakon čega bi se u zagrejanim oblastima uvećala gustina struje i tako dovela do oštećenja i otkaza. Dizajn je optimizovan u pogledu cene, gabarita, težine, tehnoloških postupaka izrade i montaže, kao i u pogledu stepena korisnog dejstva i pouzdanosti. Višemesecna eksploracija predstavlja verifikaciju projektovanog i izrađenog rešenja u agresivnim naponskim, klimatskim i mehaničkim uslovima kakvi se sreću u termoelektranama.

Stanje rešenosti problema u svetu:

Pretvaranje monofaznih i trofaznih AC mrežnih napona u visoke jednosmerne napone ($>30kV$), velike snage ($>30kW$) je postala jedna od ključnih oblasti tehnologije koja se zahteva u mnogim industrijskim procesima, a naročito u izdvajajući i kontroli emisije čestica dimnih gasova. Ova kontrola se bazira na korišćenju elektrostatičkih izdvajača (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. Ispravljačkim mostom primjenjenim na sekundaru transformatora proizvodi visoki napon (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 antiparalelnog 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 veoma atraktivno rešenje. I pored toga što je pomenuta tiristorska topologija veoma robusna, jednostavna i fleksibilna, ona ima dosta ozbiljnih manja od kojih su najznačajnije: loš 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. Konvencionalno rešenja takođe dovode do vrlo brzog otkaza sistema usled erozije elektroda i lošeg izdvajanja čestica. Budući da se izdvajanje čestica vrši zahvaljujući nanelektrisanjima stvorenim efektom korone, to efikasnost čišćenja zavisi od intenziteta i stalnosti korone na emisionoj elektrodi. Korona se javlja pri naponima koji dostižu 90% probognog napona emisionih elektroda. Usled toga, pri napajanju sa $50Hz$ -nim talasnim oblicima, ESI i njegove elektrode se u suštini koriste svega 2-3ms u svakoj poluperiodi od 10ms. Stoga gradnja ovakvog izdvajača zahteva vrlo velike površine elektroda i samim tim veliku težinu angažovanog čelika.

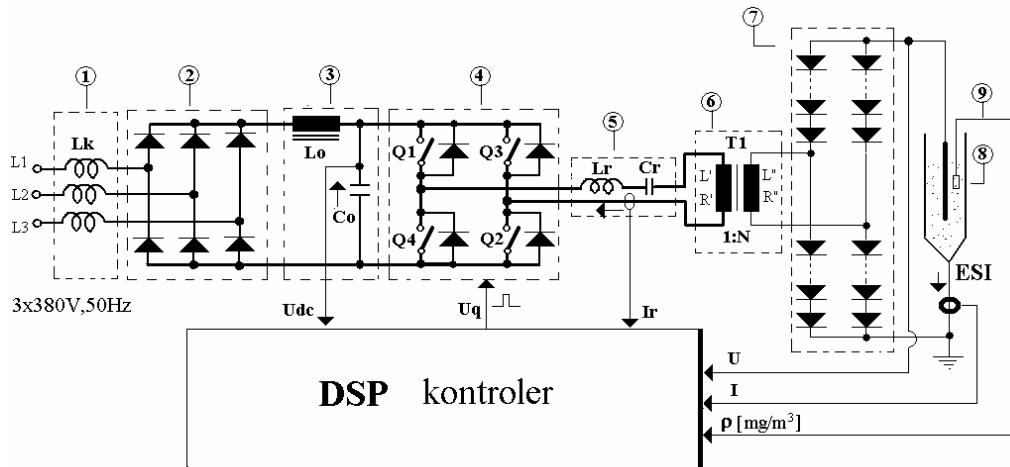
U novije vreme su na tehnološkom tržištu ESI sve više radi na razvoju visokofrekventnih (VF) prekidačkih izvora napajanja. Oni se postepeno uvode u sisteme napajanja ESI po prihvatljivoj ceni i postaju veoma konkurentni u odnosu na setove linearne transformator/ispravljač i tiristorsku kontrolu koja se već dugo godina koristi u industriji. Granice primenljivosti novih VF sistema u pogledu performansi su za napone do $30kV$, snage do $40kVA$. Za veće napone i snage u na svetskom tržištu ne postoji pravo i adekvatno rešenje. Obzirom da 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 izdvajačke sisteme i to sa aspekata konstrukcije, rada i održavanja [5].

Projektovanje i izrada ovakvog pretvarača predstavlja tehnički i tehnološki izazov koji u svetu nije rešen na pravi način. U rešavanju problema, istraživački tim je se opredelio topologiju

pretvarača, upravljačka i pobudna kola koja osiguravaju siguran rad tranzistora snage.

Suština tehničkog rešenja:

Blok šema predloženog rešenja energetskog pretvarača je data na Sl.1. Ulazno napajanje se 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.



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

Ulagi 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 $LoCo$ -filtar, 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 sprega 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 izdvajaču, koriste signali izlazne struje i napona. Za optimalni rad rezonantnog pretvarača je potrebna i informacija o struci Ir u rezonantnom link kolu i naponu DC međukola. U okviru kontrolnog kola je integrисano drajversko kolo za prekidače u mostu, na čijem se izlazu generiše pobudni napon Uq .

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).

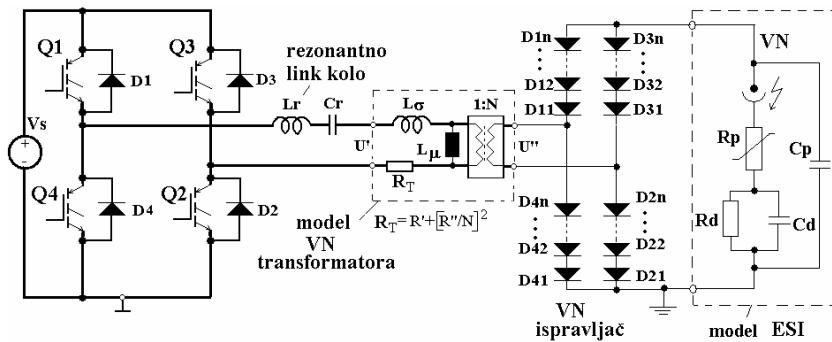
VN transformator je dimenzionisan tako da se pobuđuje naponskim izvorom iz H- mosnog invertora i rezonantnog linka (Sl.1). Ovim se postiže značajna fleksibilnost uz korišćenje strategije

naponske kontrole tj. kontrole širine impulsa ili faznog pomeraja. VN transformator 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. Pošto su IGBT prekidači predviđeni za VF rad sa veoma kratkim vremenima uključenja, bez čekanja da linijska struja padne na nultu vrednost, rad mosnog kola će biti za oko 250 puta brži od tiristorskog linearног izvora napajanja. 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.

Analiza rada pretvarača

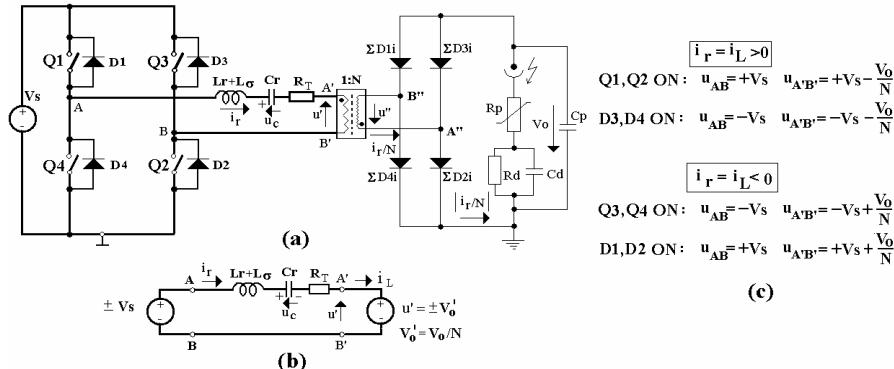
U nastavku teksta će biti data analiza rada sistema rezonantni konvertor-ESI. Za analizu VF rada ESI koristi električna šema data na Sl.2.



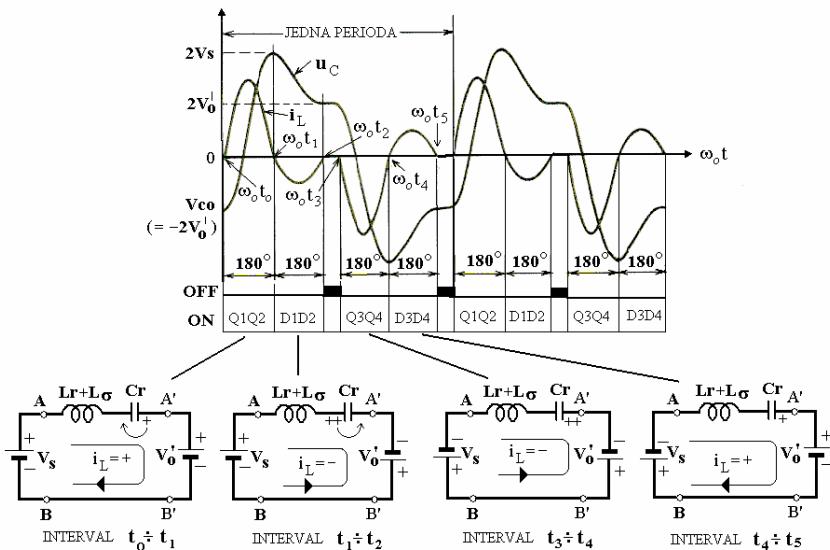
Sl.2. Električna šema sistema rezonantni konvertor-ESI

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 rezonantno kolo koje je prikazano na Sl.3(b). Algoritam upravljanja je prikazan jednačinama na Sl.3(c).



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

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 . Obziroma na njeni ispravljanje VN diodnim mostom i prenosni odnos transformatora 1:N, struja kojom se napaja ESI iznosi $|i_r|/N$. Izlazni napon V_o izdvajajući se na primarnoj strani transformatora vidi približno kao $u' \approx V_0/N$ kad je $i_r = i_L > 0$, odnosno $u' \approx -V_0/N$ 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 [6] koji će u nastavku teksta biti opisani.

Neprekidni režim se može ostvariti u dva slučaja. U prvom slučaju kada je $f_s/2 < f_r < f_r$ prekidači se uključuju pri konačnoj struci i konačnom naponu i usled toga se u tom intervalu javljaju značajni gubici. Isključenje prekidača se dešava prirodno pri nultoj struci i pri nultom naponu. U trenutku

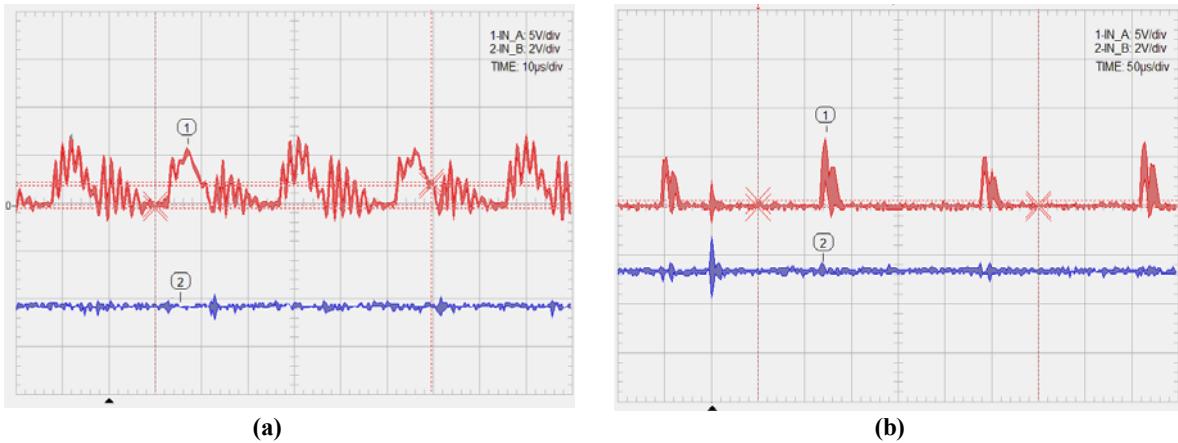
kada struja ekvivalentnog kalema $L_\sigma + L_r$ prolazi kroz nulu i menja znak počinju da provode zamajne diode. U drugom slučaju kada je $f_s > f_r$ prekidači se isključuju pri pri konačnim vrednostima struje ali se zato uključuju pri nultoj struci i naponu. Značajna merna ovog režima je što prekidači 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 kalema počinje da raste od svoje nulte vrednosti. Napon kondenzatora raste počev od svoje negativne vrednosti $-2V_o/N$. 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 kalema menja znak i tada počinje da provode zamajne diode D1 i D2. U intervalu t_1-t_2 struja kalema 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 uključenje 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.

Eksperimentalni rezultati

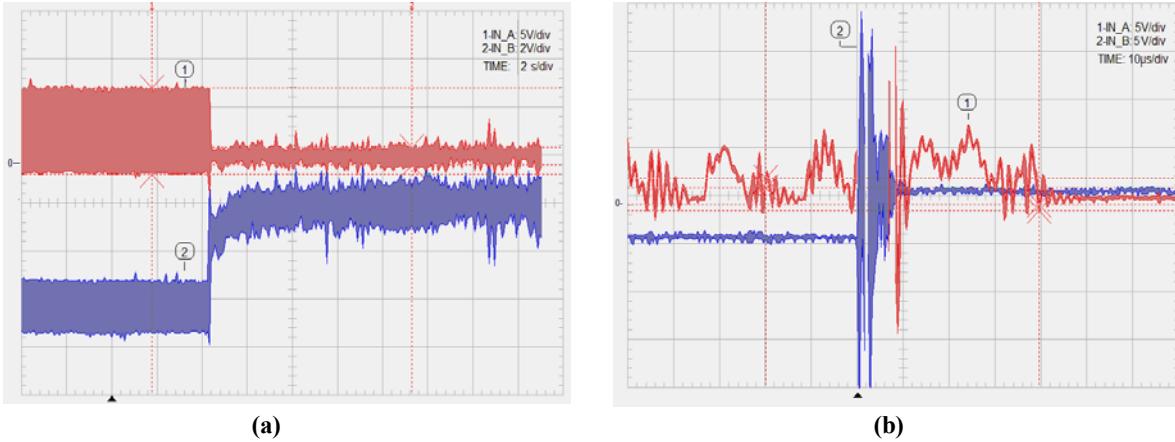
Opisani energetski pretvarač je ugrađen i pušten u rad na TE "Morava". U ovom poglavlju će biti prezentirani neki karakteristični rezultati dobijeni osciloskopskim merenjima.

Na Sl.5 je prikazan uticaj koeficijenta režima rezonantnog VF pretvarača na rad ESI, konkretno na njegove izlazne karakteristike: struju i napon. Na Sl.5(a) je prikazan slučaj kada je koeficijent režima rezonantnog pretvarača $d=78.5\%$ i njegova radna prekidačka učestanost $f_{out}=20\text{kHz}$. Pri ovim uslovima DC vrednost izlaznog napona je iznosio 40kV . Pri ovoj prekidačkoj učestanosti ripl izlaznog napona je u poređenju sa 50Hz-nim napajanjem zanemarljiv. Na Sl.5(b) je prikazan uticaj slučaj kada je koeficijent režima samog rezonantnog pretvarača $d=15\%$ i njegova radna prekidačka učestanost $f_{out}=6\text{kHz}$. Pri ovim uslovima DC vrednost izlaznog napona, je u intervalu $-t_{on}$ kada je ESI uključen, iznosila 25kV , što je značajno manje nego u prethodnom slučaju. Dakle učestanost i vreme uključenosti imaju veliki uticaj na vrednost izlaznog napona, odnosno struje ESI.



Sl.5. Uticaj koeficijenta režima rada VF pretvarača na rad ESI; (a) koeficijent režima rada pretvarača $d=78.5\%$, učestanost $f=20\text{kHz}$; 1-struja ESI: 0.5A/V , 2-napon ESI: 10kV/V , (b) koeficijent režima rada pretvarača $d=15\%$, učestanost $f=6\text{kHz}$; 1-struja ESI: 0.5A/V , 2-napon ESI: 10kV/V

Na Sl.6 su dati osciloskopski snimci odziva VF napajanja ESI, prilikom detekcije preskoka na njegovim elektrodama. Na Sl.6(a) je dat osciloskopski snimak struje-1 i napona ESI-2. Sa snimka se vidi da je odziv, odnosno naponska reakcija relativno brza i znatno kraća od konvencionalnog tiristorskog 50Hz-nog napajanja. Tačno vreme reakcije je oko $40\mu\text{s}$, kao što se vidi sa detaljnog osciloskopskog snimka na Sl.6(b). Sa ovog snimka se vidi da samo smanjenje napona traje relativno kratko ($\sim 10\mu\text{s}$) a da nakon tog smanjenja i dalje postoje strujni impulsi koji su posledica prelaznih pojava u samom rezonantnom kolu pretvarača. Ovi impulse se potpuno ukidaju nakon 30us od obaranja napona na ESI, tako da je ukupno kašnjenje oko $40\mu\text{s}$.



Sl.6. Odziv VF napajanja nakon detekcije preskoka; (a)- napon i struja ESI, (b)- detaljni osciloskopski snimak isključenja; vreme reakcije $\sim 40\mu\text{s}$; 1-struja ESI:0.5A/V, 2-napon ESI:10kV/V

Karakteristike predloženog tehničkog rešenja su sledeće:

Predloženi VF pretvarač rešava problem izdvajanja uz manju površinu elektroda i manji utrošak čelika. Energija luka koja se javlja pri preskoku je značajno manja od konvencionalnih 50Hz-nih sistema. Rešenje je bazirano na IGBT tranzistorima koji ima prekidačku učestanost od 5- 10KHz. Postignuta je izlazna snaga od 100kVA. U naponsko strujnom dijagramu tranzistora, radna tačka se održava na sigurnosnom odstojanju od zabranjene oblasti u kojoj bi došlo do prekomernog zagrevanja manjih zona poluprovodnika, nakon čega bi se u zagrejanim oblastima uvećala gustina struje i tako dovela do oštećenja i otkaza. Dizajn je optimizovan u pogledu cene, gabarita, težine, tehnoloških postupaka izrade i montaže, kao i u pogledu stepena korisnog dejstva i pouzdanosti. Višemesečna eksploracija predstavlja verifikaciju projektovanog i izrađenog rešenja u agresivnim naponskim, klimatskim i mehaničkim uslovima kakvi se sreću u termoelektranama.

Mogućnosti primene predloženog tehničkog rešenja:

Predloženim pretvaračem je postignuto nekoliko značajnih poboljšanja u odnosu na konvencionalni 50Hz-ni sistem. Kao prvo moguće je obezbititi 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 VF rad 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 VF napajanja ESI se odnosi na *sposobnost modulacije izlaznog napona*. U nekim aplikacijama mogućnost ostvarenja pulsacija izlaznog DC napona konvertora od jednog naponskog nivoa do drugog, pri specificiranom 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.

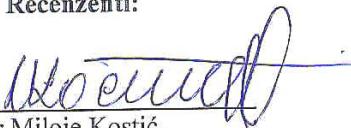
LITERATURA:

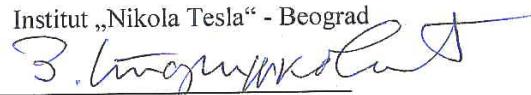
- [1] J.Macan, "Eksploraciona ispitivanja regulisanih ispravljaca za napajanje elektrostatičkih otprašivača", VI simpozijum Energetska elektronika - Ee '86, Subotica (YU), jun 1986, pp.382-392.
- [2] K. Parker, "Electrical operation of electrostatic precipitators", The Institution of Electrical Engineers, London, 2003.
- [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 izdvajajućima", Studija br.21-92-01 Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd, 1990.
- [5] 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.
- [6] N.Mohan, T.M.Underland, W.P Robbins, "Power Electronics-Converters, Applications and Design", Second Edition, John Wiley and Sons INC. , N.York, 1995.

MIŠLJENJE RECENZENATA

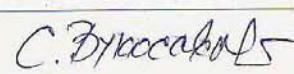
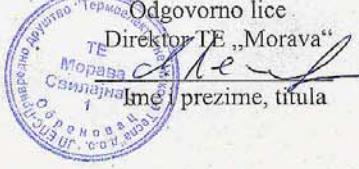
Autori tehničkog rešenja Slobodan Vukosavić, Željko Despotović, Miloš Nedeljković i Srđan Srdić su su jasno prikazali i obradili kompletну strukturu tehničkog rešenja. Na osnovu svega navedenog recenzenti su ocenili da tehničko rešenje pod nazivom: "Prototip visokonaponskog visokofrekventnog energetskog IGBT pretvarača za kontrolu elektrostatičkih precipitatora" predstavlja rezultat koji pored stručne komponente pruža originalni naučnoistraživački doprinos. Sa zadovoljstvom predlažemo da se opisano tehničko rešenje prihvati kao tehničko rešenje u kategoriji M82-industrijski prototip.

Recenzenti:


Dr Miloje Kostić,
Viši naučni saradnik
Institut „Nikola Tesla“ - Beograd


Prof. dr Zoran Stojiljković,
Elektrotehnički fakultet - Beograd

PRILOG-1: Mišljenje participanta (korisnika uređaja)

 ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ ЈП ЕПС-Привредно друштво "Термоелектране Никола Тесла" д.о.о. Обреновац ТЕ Морава Свилајнац Број: 8621 30 -03- 2011 20 год.	ОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ БЕОДРАГ 2011 РЕЧИСТВО № 715	 ПРИВРЕДНО ДРУШТВО ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ НИКОЛА ТЕСЛА д.о.о. 11500 Обреновац, Богољуба Урошевића Црног 44 Тел.: 011/875-50-11; Факс: 011/875-49-55 www.jptent.com
Elektrotehnički fakultet – Univerzitet u Beogradu Prof.dr.Slobodan Vukosavić B E O G R A D		
Mišljenje participanta (korisnika rezultata) projekta o realizaciji i primenjenim rezultatima projekta TR-21007		
U okviru programa istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije , za period 01.04.2008-31.12.2010 god. na elektrofiltrarskom postrojenju u TE "Morava"-Svilajnac su uspešno primenjeni rezultati predviđeni u dve godine istraživanja na projektu "Razvoj i primena visokonaponske visokofrekventne ekološke opreme za otklanjanje aerozagadenja u industriji i elektroprivredi"-evidencijski broj TR-21007A		
Rukovodilac: prof. Dr Slobodan Vukosavić Realizatori: Elektrotehnički fakultet Beograd, Institut "M.Pupin"- Beograd, Institut "N.Tesla"- Beograd. Trajanje projekta: 01.0.2008-31.03.2010. U okviru ovog Projekta su razvijena tri potpuno nova tipa visokonaponskog visokofrekventnog (VNVF) AC/DC napajanja za potrebe postrojenja elektrostatičkih izdvajača na TE "Morava": 1. VNVF napajanje sa pripadajućim VNVF transformatorom i 10kHz-nim rezonantnim IGBT AC/DC pretvaračem 3x0.4kV, 50Hz/70kVDC, pravidne sage 70kVA, sa LC-rezonantnim međukolom. 2. VNVF napajanje sa pripadajućim VNVF transformatorom (novi industrijski prototip) i 10kHz-nim rezonantnim IGBT AC/DC pretvaračem 3x0.4kV, 50Hz/70kVDC, pravidne snage 70kVA sa inherentnim LC parametrima u samom VNVF transformatoru 3. Strujno regulisani AC/DC IGBT pretvarač 3x0.4kV, 50Hz/70kVDC, pravidne snage 70kVA u kombinaciji sa postojećim 50Hz-nim transformatorima (<i>retrofit</i> napajanje).		
Praktično realizovana napajanja su puštena u eksploracioni rad počev od 01.12.2009 godine. Mernim sistemom za merenje koncentracije čestica u dimnom gasu koji je postavljen u recirkulacionom vodu kvantitativno je pokazano značajno bolje čišćenje dimnih gasova u odnosu na postojeći 50Hz-ni sistem. Registrovani su takođe i kvalitativni efekti VF sistema (veća količina izdvojenog pepela i značajno manja gustina izlaznog dimnog gasa u odnosu na 50Hz-ni sistem). Tokom dosadašnjih eksperimentalnih ispitivanja je uočeno da se još značajniji efekti mogu postići usklađivanjem otresanja taložnih i emisionih elektroda sa radom pomenutih VNVF izvora napajanja. Tokom marta 2010 je izvršena montaža merne opreme proizvodnje DURAG za kontinualno merenje emisija u obe grane i dimnjaku postrojenja. Na osnovu ovoga su se stekli uslovi za kompletним podešavanjem i optimizacijom VF postrojenja na TE "Morava" tako da su krajem 2010 godine pokazani konačni kvantitativni efekti i prednosti novog domaćeg VF sistema napajanja u odnosu na postojeći 50Hz-ni sistem. Pokazano je interesovanje predstavnika firme RAFAKO za novi sistem VNVF napajanja čiji su predstavnici u dva navrata posetili postrojenje elektrostatičkih izdvajača na TE "Morava".		
Odgovorno lice Direktor TE „Morava“  Ime i prezime, titula 		
Број регистрације: БД 102822/2006 ГИБ: 101217456 Рачун: 205-13550-81 Комерцијална банка АД Београд		
ТЕ МОРАВА 35210 Свилајнац, Ђуре Ђаковића 63 Тел.: 035/321-152; Факс: 035/312-304 E-mail: direktor@temorava.com		

PRILOG-2: Potvrda o eksploraciji tehničkog rešenja od strane korisnika

<p>ЈП ЕПС-Привредно друштво "Термоелектране Никола Тесла" д.о.о. Обреновац ТЕ Морава Свилајнац Број: 2048/1 09-06-2011 20 год.</p>	<p>ПРИВРЕДНО ДРУШТВО ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ НИКОЛА ТЕСЛА д.о.о. 11500 Обреновац, Богољуба Урошевића Црног 44 Тел.: 011/875-50-11; Факс: 011/875-49-55 www.jptent.com</p> <p></p> <p>ИНСТИТУТ „МИНАЈЛО ПУПИН“ Dr. Željko Despotović 11160 БЕОГРАД Улица Volgina 15.</p> <p>U okviru programa istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, za period 01.04.2008-31.12.2010 god. na elektrofiltrarskom postrojenju u TE "Morava"-Svilajnac su uspešno primenjeni rezultati predviđeni u dve godine istraživanja na projektu "Razvoj i primena visokonaponske visokofrekventne ekološke opreme za otklanjanje aerozagadenja u industriji i elektroprivredi"-evidencijski broj TR-21007</p> <p>Rukovodilac: Prof. dr Slobodan Vukosavić Realizatori: Elektrotehnički fakultet Beograd, Institut "M.Pupin"- Beograd, Institut "N.Tesla"- Beograd. Trajanje projekta: 01.04.2008-31.03.2010.</p> <p>U okviru datog projekta je realizovano tehničko rešenje "Industrijski prototip visokonaponskog visokofrekventnog rezonantnog energetskog IGBT pretvarača za kontrolu elektrostatičkih precipitatora" (čiji su realizatori Prof. dr. Slobodan Vukosavić -ETF, Dr Željko Despotović -Institut "M.Pupin", Docent. dr Miloš Nedeljković -ETF i Mr Srđan Srdić -ETF). Tehničko rešenje je realizovano u periodu 01.06.2008-02.02.2009 godine. Tehničko rešenje je integralni deo postrojenja elektrostatičkih izdvajača na TE "Morava"-Svilajnac. Tehničko rešenje je u eksploracionoj primeni na TE "Morava"-Svilajnac počev od 01.03.2009 godine.</p> <p style="text-align: right;">Odgovorno lice: Директор ТЕ "Морава"-Свилајнац Dragan Nešić, dipl.el.inž.</p> <p></p> <p>Број регистрације: БД 102822/2006 ПИБ: 101217456 Рачун: 205-13550-81 Комерцијална банка АД Београд</p> <p style="text-align: right;">ТЕ МОРАВА 35210 Свилајнац, Ђуре Ђаковића 63 Тел.: 035/321-152; Факс: 035/312-304 E-mail: direktor@temorava.com</p>
---	--