

Predmet: Mišljenje o ispunjenosti kriterijuma za priznavanje 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: Prof. dr Zoran Stojiljković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, i Prof. dr Dragutin Salamon, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, su ocenili da su ispunjeni uslovi za priznanje svojstva tehničkog rešenja sledećem rezultatu naučnoistraživačkog rada:**

NAZIV: Visokonaponski visokofrekventni (VNVF) multi-rezonantni energetski pretvarač u sistemima filtracije dimnih gasova

Autori: Prof. dr Slobodan Vukosavić, Dr Željko Despotović*, M.Sc. Nikola Popov, M.Sc.Nikola Lepojević, Elektrotehnički fakultet, Univerziteta u Beogradu, Institut "Mihajlo Pupin", Univerziteta u Beogradu *

Kategorija tehničkog rešenja: M(82) – industrijski prototip

OBRAZLOŽENjE

Recenzentska komisija je utvrdila da je predloženo rešenje urađeno za firmu JP EPS Beograd-Privredno društvo "Termoelektrane Nikola Tesla" d.o.o, Bogoljuba Uroševića Crnog 44, Obrenovac, Ogranak: TENT-A1, Obrenovac.

Subjekt koji rešenje koristi: TENT-A1, Obrenovac

Predloženo rešenje je urađeno: u periodu mart 2012 – oktobar 2015. godine.

Subjekt koji je rešenje prihvatio i primenjuje: TENT-A1, Obrenovac

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

1. Projekat Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije:
TR33022- Integrисани sistemi za uklanjanje štetnih sastojaka dima i razvoj tehnologija za realizaciju termoelektrana i energana bez aerozagadženja

2. Pismeno mišljenje dva recenzenta: Prof.dr Zoran Stojiljković, ETF-Beograd, Prof.dr Dragutin Salamon, ETF-Beograd,

3.Naučno veće Instituta "Mihajlo Pupin" d.o.o. , Beograd, na osnovu mišljenja reczenzata i priloženih dokaza izdalo je Odluku br. 2884-24/15, od 28. novembra 2015, o priznavanju Tehničkog rešenja koje potvrđuje da ono ispunjava uslove da bude priznato kao tehničko rešenje iz kategorije M82 (Industrijski prototip).

Predloženo rešenje se koristi na sledeći način: Integralni je deo VNVF postrojenja elektrostatičkih izdvajača na bloku A1- TE "Nikola Tesla", Obrenovac (ugrađeno je 6 ovakvih jedinica)

Oblasti na koju se tehničko rešenje odnosi: energetika, energetska efikasnost,ekologija, elektronika, i uže oblasti: energetski pretvarači i energetska elektronika

Problem koji se tehničkim rešenjem rešava:

Elektrostaticki filtri (ESF) se široko koriste u mnogim industrijskim područjima za filtraciju i prečišćavanje dimnih gasova. Jedna od tipičnih primena je u sklopu ekološke opreme na kotlovima termoelektrana (TE). Ova oprema obezbeđuje efikasno i ekonomično izdvajanje velikih količina letećeg pepela i čadi. Upravljanje ESF je tradicionalno bazirano na 50Hz, VN modulima transformator/ispravljач (T/I), koji su kontrolisani podešavačima napona, baziranim na antiparalelnoj vezi tiristora [1-4]. Promenom faznog ugla, obezbeđena je kontrola primarnog napona i primarne struje VN transformatora, a kao posledica ovoga i kontinualna promena napona na sekundarnoj strani VN transformatora, odnosno VN diodnog ispravljачa. Na ovaj način se dobija kontrolisani izvor jednosmernog (DC) napona, tipičnog opsega 0-100kV. U poslednjih deset godina ova topologija se pokazala veoma efikasnom, ali je ostvarila relativno mali progres u sistemima elektrostatickog 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. ESF napajani iz 50Hz-nih VN T/R jedinica imaju jako veliki stepen pouzdanosti, ali relativno malu efikasnost izdvajanja. Ovo uslovljava veću efektivnu površinu, a time i masu elektrodnog sistema. Iz ovoga proističe i velika cena samog sistema. U ovim klasičnim izvedbama ESF 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 radnim prekidačkim učestanostima većim od 5-10kHz i snagama većim od 50kVA (tipično 100kVA). Razvoj i izrada ovakvog visokonaponskog visokofrekventnog (VNVF) pretvarača predstavlja tehnički i tehnološki izazov koji u svetu nije rešen na pravi način. U rešavanju problema, istraživački tim se opredelio za distribuiranu multi rezonantnu topologiju pretvarača, upravljačka i pobudna kola koja osiguravaju siguran rad tranzistora snage. Tehničko rešenje opisano u ovom dokumentu je optimizovano u pogledu cene, gabarita, težine, tehnoloških postupaka izrade i montaže, kao i u pogledu stepena korisnog dejstva i pouzdanosti.

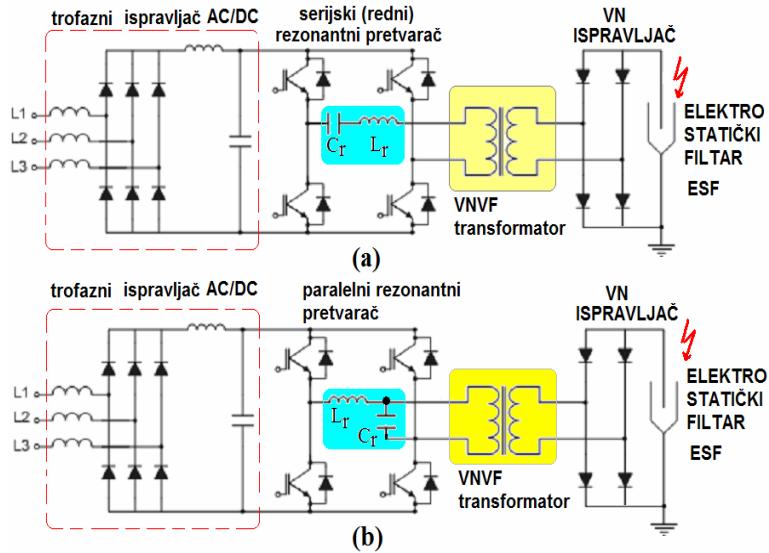
Stanje rešenosti problema u svetu:

Postoji nekoliko pristupa i topologija koje se tiču VN VF napajnih jedinica koje se prodaju na svetskom tržištu visokonaponske visokofrekventne ekološke opreme, a koje se uglavnom primenjuju na TE, toplanama i drugim industrijskim postrojenjima koja emituju dimne gasove sa velikom koncentracijom čestica dima i čadi. U nastavku ovog opisa će biti predstavljene neke od topologija koje se uveliko koriste i primenjuju.

Efikasnost izdvajanja se značajno može uvećati korišćenjem tzv. hibridnih napajanja. U ovom slučaju se koriste strujno kontrolisani VF IGBT pretvarač u kombinaciji sa standardnim VN transformatorom podizačem napona učestanosti 50Hz. Struja u ovom slučaju ima određenu talasnost koja je relativno mala, ali je njena učestanost relativno velika i kreće se u opsegu 500Hz-1500Hz [5-9].

Korišćenjem VF napajanja (5-10kHz) baziranog na topologiji punog mosta sa VN VF transformatorom [10-11], ispravljeni impulsi na izlazu diodnog ispravljачa će biti razmaknuti za nekoliko desetina mikrosekundi (tipično 50μs). U ovom slučaju, usled konačne kapacitivnosti ploča, odnosno elektroda ESF, DC napon na njima će biti veoma male talasnosti, bez značajnih pikova i propada. Kao posledica ovoga, moguća je veoma precizna kontrola napona na elektrodama ESF i to u svakom trenutku veoma blisko probojnom naponu. Ipak ova prednost je skopčana sa značajnim prekidačkim gubicima. U poslednjih nekoliko godina su postale interesantne rezonantne topologije [11-15], [17], koje su bazirane na fenomenima serijske rezonance- *serial resonant circuit* (SRC) ili paralelne rezonance - *parallel resonant circuit* (PRC) koje su prikazane na Slici 1. Obe topologije sadrže sledeće funkcionalne blokove: trofazni diodni mrežni ispravljач, IGBT puni most, VN VF transformator, VF diodni ispravljач i $L_r C_r$ rezonantno sprežno kolo između IGBT mosta i primara

VNVF transformatora. Razlika između ove dve topologije je upravo u ovoj rezonantnoj sprezi. Serijsko (redno) rezonantno kolo je dato na Slici 1(a), dok je paralelno rezonantno kolo je dato na Slici 1(b).



Slika 1: Rezonantni VNVF energetski pretvarači za napajanje ESF; (a) sa serijskim rezonantnim kolom, (b) sa paralelnim rezonantnim kolom.

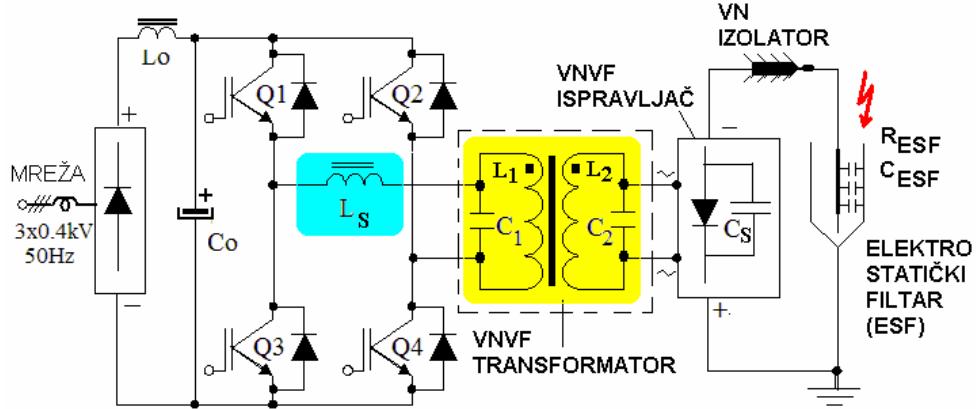
Topologije prikazane na Slici 1, obezbeđuju promenu kontrolu primarnog napona VNVF transformatora, promenom pobudne učestanosti tranzistora u mostu, tako da je impedansa rezonantnog kola promenljiva. Ulazni napon je na ovaj način podeljen na dve impedanse: impedansu rezonantnog kola i primarnu impedansu VNVF transformatora. Pošto SRC funkcioniše kao razdelnik napona između ulaza i opterećenja, njegovo DC pojačanje je uvek manje od jedan. Kada je opterećenje malo (impedansa opterećenja je mnogo veća u odnosu na impedansu rezonantnog kola), postoji problem regulacije izlaznog napona jer se u tom slučaju zahteva veoma velika učestanost. Ova učestanost je veća što je manje opterećenje. Čak i pri nominalnom opterećenju, da bi se dobio na izlazu stabilan VN, je potrebno imati široki opseg kontrole učestanosti.

Usled distribuirane konfiguracije VN namotaja transformatora i shodno tome postojanja distribuirane kapacitivnosti u ovom namotaju [15-17], topologija na Slici 1(b) može biti realizovana samo sa jednim elementom u sprežnom kolu, odnosno sa jednom redno vezanom induktivnošću u primaru VN transformatora. U ovom slučaju topologija sa Slike 1(b) može biti predstavljena sa novom multi rezonantnom topologijom, koja će biti opisana u narednom delu koji se odnosi na suštinu tehničkog rešenja.

Suština tehničkog rešenja:

Principska šema predložene multi-rezonantne topologije je prikazana na Slici 2. Ova konfiguracija predstavlja u osnovi suštinski deo uređaja AR100/1000 koji je primenjen za prečišćavanje i filtriranje dimnih gasova na TE.

U VNVF topologiji na Slici 2 su dominantne dve distribuirane parazitne kapacitivnosti C_1 i C_2 , na primarnoj odnosno sekundarnoj strani VNVF transformatora, respektivno. Ove kapacitivnosti zajedno sa odgovarajućim induktivnostima : u primaru VNVF transformatora L_s , i njegovim sopstvenim induktivnostima L_1 i L_2 , ali i sa ekvivalentnom kapacitivnosti C_s , kondenzatora u sklopu zaštitnih RC članova u VNVF ispravljaču, formiraju jedno složeno multirezonantno kolo. Distribuirana multi rezonantna topologija omogućava komutacije prekidača u mostu pri nultoj struci, tzv. *zero current switching* (ZCS). Na ovaj način gubici usled prekidanja su značajno redukovani ali i niz drugih efekata koji su povezani sa katalitičkom degradacijom transformatora i dielektričnim starenjem njegove izolacije [18].



Slika 2: Principijelni blok dijagram multi-rezonantna topologije za napajanje ESF

Na izlazu VNVF ispravljača se kroz VN izolator napajaju elektrode ESF. Elektrode ESF se u prvoj aproksimaciji mogu modelirati sa paralelnom vezom visoke otpornosti - R_{ESF} i kapacitivnosti između taložnih i emisionih elektroda C_{ESF} . Detaljni prikaz prethodno opisane multirezonantne topologije je dat ekvivalentnom šemom na Slici 3. Za analizu date topologije formirano je simulaciono kolo, koje se pobuduje iz izvora sa pravougaonim PWM impulsima sa mogućnošću podešavanja prekidačke učestanosti f_{sw} , u opsegu 2-10 kHz i podešavanje širine impulsa, odnosno koeficijenta radnog režima δ (*duty-cycle*) u opsegu 0-100%. VNVF transformator na ekvivalentnoj šemi na Slici 3 je predstavljen sa nekoliko elemenata: otpornost i induktivnost rasipanja primarnog i sekundarnog namotaja R', L' i R'', L'' , respektivno, induktivnost magnećenja L_m , ekvivalentna otpornost R_m gubitaka u feritnom jezgru transformatora. Pored ovih elemenata u modelu VNVF transformatora figuriše i idealni transformator prenosnog odnosa $N_1 : N_2$, gde su N_1 i N_2 brojevi namotaja primara i sekundara respektivno. Ulagano rezonantno kolo, koga čine ulazna prigušnica L_d i parazitna kapacitivnost primarnog namotaja C_1 , značajno utiču na rad IGBT pretvarača. Takođe i na sekundarnoj strani pored parazitne kapacitivnosti sekundarnog namotaja, na rad multirezonantnog kola imaju uticaj i kondenzatori C_s koji su paralelno vezani diodama u VNVF ispravljaču. Opterećenje VNVF izvora su nelinearna otpornost ESF-a R_{ESF} kao i kapacitivnost C_{ESF} između taložnih i emisionih elektroda [19].

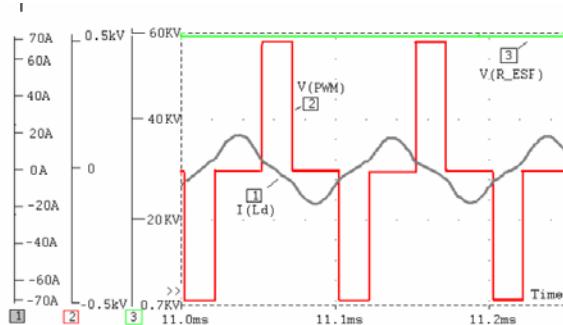
Prenosni odnos VNVF transformatora	1:200
Primarni napon	540V
Sekundarni napon	100kV
Učestanost	2-10kHz
Napon kratkog spoja	10%
Struja primara	170A
Struja sekundara	1A

Tabela I- osnovni podaci za VNVF transformator

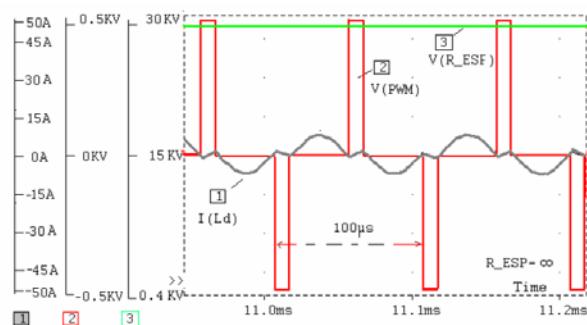
Predložena topologija multi-rezonantnog pretvarača je prvo verifikovana simulacionim rezultatima. Tako da će na ovom mestu biti prikazan deo simulacionih rezultata koji je bilo potrebno sprovesti u fazi projektovanja ove topologije, a pre finalne realizacije i izrade uređaja. U simulaciji su posmatrane veličine od interesa za projektovanje VNVF napojne jedinice ESF: izlazna struja IGBT pretvarača- I_{L_d} , izlazni napon

IGBT pretvarača- V_{PWM} i izlazni jednosmerni VN koji se dovodi na elektrode ESF- V_{ESF} . Simulirana su sledeće stanja na elektrodnom sistemu: prazan hod (mirni režim bez preskoka), kratak spoj i rad pri nominalnoj vrednosti opterećenja $R_{ESF} \approx 100k\Omega$. Prepostavljena je kapacitivnost $C_{ESF} \approx 30nF$, što je veoma blisko realnoj kapacitivnosti elektrodnog sistema ESF. Amplituda izlaznog pravougaonog napona IGBT pretvarača je podešena na $V_S = 540V$. Podaci koji su uneti u simulaciju, a odnose se na VNVF transformator su prikazani u Tabeli I [19].

Na Slici 4 su dati simulacioni rezultati za slučaj otvorene veze na VN krajevima, odnosno za veoma veliku vrednost otpornosti R_{ESF} ($R_{ESF} \rightarrow \infty$). U ovom slučaju, kao opterećenje postoji jedino kondenzator $C_{ESF}=20\text{nF}$.



Slika 4: Simulacioni rezultati za kolo multirezonantne topologije , pri otvorenim izlaznim krajevima na opterećenju; $\delta=25\%$, $V_{ESF}=60\text{kV}$

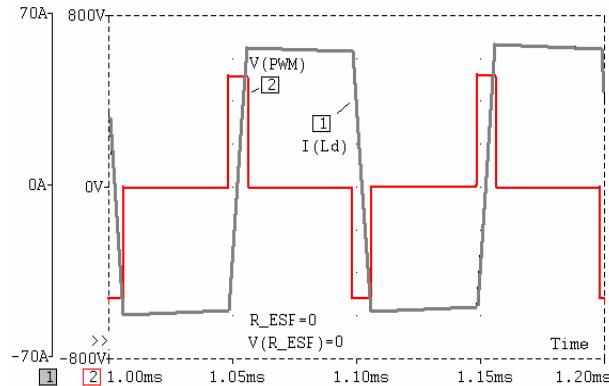


Slika 5: Simulacioni rezultati za kolo multirezonantne topologije , pri otvorenim izlaznim krajevima na opterećenju; $\delta=12.5\%$, $V_{ESF}=30\text{kV}$

Simulacioni snimci na Slici 4 su dobijeni za koeficijent radnog režima (*duty cycle*) $\delta = 25\%$. Pod ovim uslovima izlazni napon VNVF napajanja je iznosio $V_{ESF} = 60\text{kV}$, dok je amplituda ulazne struje iznosila $I_{mL_d} = 20\text{A}$.

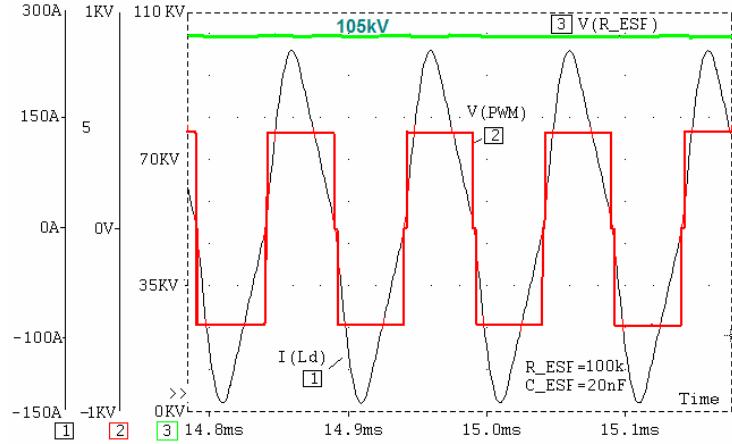
Simulacioni snimci na Slici 5 su dobijeni za koeficijent radnog režima (*duty cycle*) $\delta = 12.5\%$. Pod ovim uslovima izlazni napon VNVF napajanja je iznosio $V_{ESF} = 30\text{kV}$, dok je amplituda ulazne struje iznosila $I_{mL_d} = 10\text{A}$.

Na Slici 6 su dobijeni simulacioni rezultati za slučaj kratkog spoja na opterećenju ($R_{ESF} \approx 0\Omega$). Prikazani su primarna struja (struja ulazne prigušnice) i primarni napon VN transformatora. Za vrednost koeficijenta režima rada $\delta = \delta_{SC} = 15\%$. Pod ovim uslovima je dobijena ulazna vrednost struje transformatora je iznosila $I_{mL_d} = 45\text{A}$.



Slika 6: Simulacioni rezultati za kolo multirezonantne topologije , pri kratko spojenim izlaznim krajevima na opterećenju; $\delta=15\%$, $V_{ESF}=0\text{kV}$

Na Slici 7 su prikazani najbitniji simulacioni rezultati, sa stanovišta dimenzionisanja VNVF multirezonantnog energetskog pretvarača, a za slučaj nominalnog opterećenja, odnosno opterećenja koje bi trebalo da odgovara stvarnom opterećenju napojne jedinice. Pod ovim uslovima su dobijene sledeće vrednosti: amplituda ulazne struje $I_{mL_d} = 220\text{ A}$ ($I_{effL_d} = 150\text{A}$), srednja vrednost izlazne struje $I_{ESF} = 1\text{A}$ i srednja vrednost izlaznog napona $V_{ESF} \approx 105\text{kV}$.



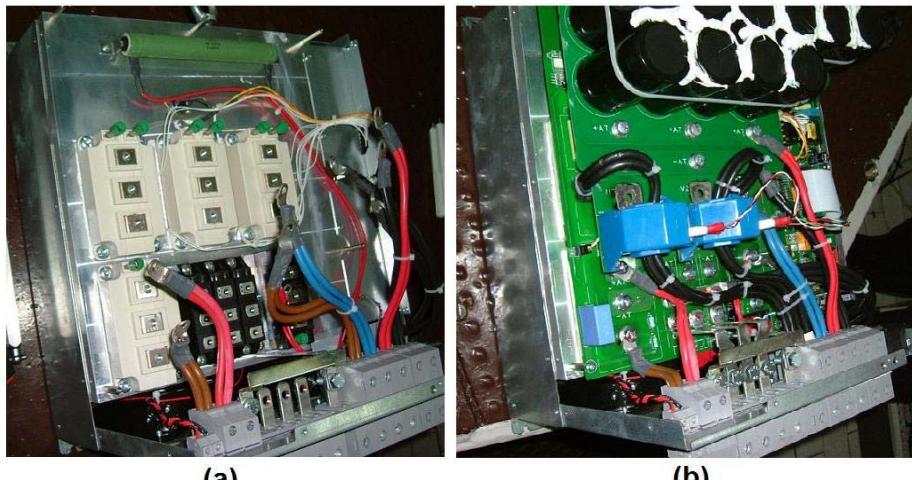
Slika 7: Simulacioni rezultati za kolo multirezonantne topologije , pri nominalnom režimu opterećenja; $RESF=100k\Omega$; $V_{ESF}=100kV$, $I_{ESF}=1A$, $\delta=100\%$

Praktična realizacija uređaja

Nakon izvršenih simulacija i projektovanja se pristupilo realizaciji šest visoko-naponskih jedinica sa ugradenim pretvaračem sa multi-rezonantnom topologijom. U ovom delu će biti opisana jedna jedinica, a svi opisi se odnose i na ostalih pet jedinica.

U ovom delu će biti opisani realizovani ključni sklopovi multi-rezonantne topologije prikazane na Slici 2: trofazni mrežni diodni ispravljač sa DC među-kolom, IGBT pretvarač (H –most), redna prigušnica L_s u primaru VNVF transformatora, VNVF transformator, diodni VN ispravljač i izlazni priključak 100kVDC preko VN izolatora koji mora imati specifične zahteve.

Na slici 8 je predstavljen integralno, ulazni diodni ispravljač sa DC među-kolom i IGBT pretvarač (H – most). DC/AC deo koga u osnovi čini IGBT pretvarač, odnosno puni (H-most), prikazan na Slici 8(a), je predstavljen svojim modulima koji se montiraju na masivnom hladnjaku sa njegove glatke strane zajedno sa modulom trofaznog ispravljača, dok je druga strana orebrena, sa koje se razvijena toplota odvodi forsirano ventilatorima. Na Slici 8(b) je prikazana nadgradnja koju čini DC međukolo sa bankom elektrolita 10000uF/800, LEM strujni moduli za merenje struje u širokom propusnom opsegu 0-100MHz, RC zaštite i tzv. "snaberska" kola. Inače, ovakav raspored je usvojen zbog minimiziranja rasipnih induktivnosti međusobnih veza unutar samog pretvarača.



Slika 8: Integralni prikaz AC/DC/AC pretvarača; (a) izlazni IGBT H-most, (b) DC međukolo 540VDC, sa pripadajućom opremom

Na Slici 9 je prikazan realizovani VNVF transformator prenosnog odnosa 1:200, podizač napona. Transformator je sačinjen od feritnog jezgra i bakarnih namotaja. Sekundarno kolo je sekcionisano i sačinjeno od 4 namotaja, tako da se celokupni visoki izlazni napon deli u približno istom iznosu. Na ovoj slici je potrebno uočiti integriranu prigušnicu L_s koja se nalazi na gornjoj strani VNVF transformatora.



Slika 9: VNVF trafo sa integrisanom prigušnicom u primaru; VNVF trafo pre montaže u transformatorski sud sa uljem, (b) VNVF transformator sa prigušnicom L_s koja je montirana na gornjoj strani.

Na Slici 10 je prikazan VN ispravljač i izlazni izolator preko kojeg se izlazni napon 100kV odvodi na elektrode ESF. VN ispravljač čine osam diodnih lanaca (nizovi dioda) sa pripadajućim RC članovima. Diodni lanci su tako povezani da obrazuju jedinstven ispravljač u Grec spoju. Otpornici služe za izjednačenje inverznih napona na diodama, dok kondenzatori C_s koji su raspodeljeni duž diodnih lanaca čine distribuiranu (raspodeljenu) topologiju koja značajno utiče na rad multi-rezonantnog pretvarača. Izlazni izolator je smešten unutar VN komore koja se nalazi na samom VNVF pretvaraču.



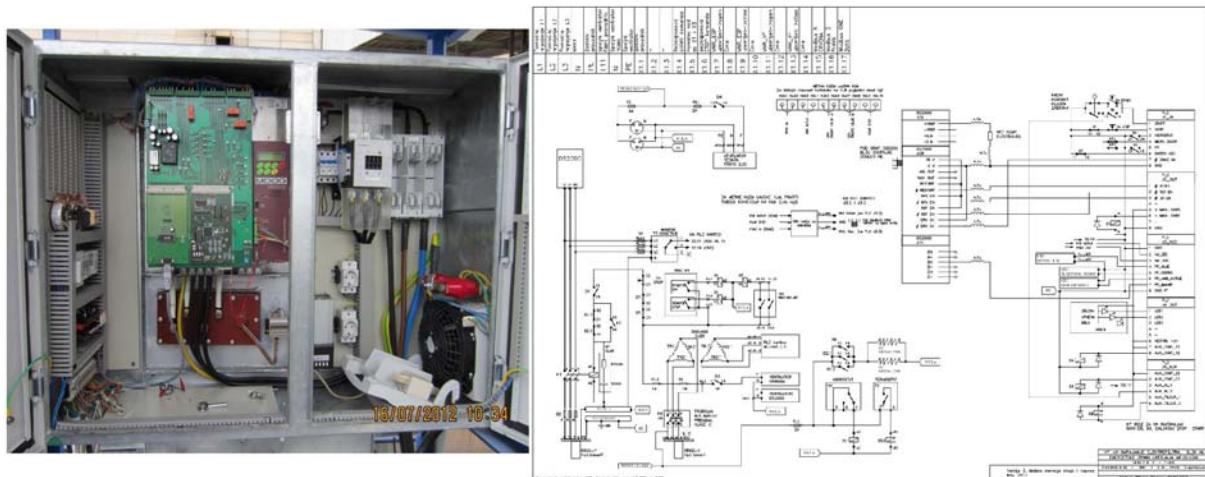
Slika 10: VN ispravljač (slika levo) i VN izolator smešten u VN komori (slika desno), preko koga se generiše visoki napon 100kVDC

Na Slici 11 je prikazan izgled realizovanog uređaja AR100/1000 (multi-rezonantni pretvarač), pre konačne montaže opreme (slika levo) i nakon konačne montaže (slika desno), a pre isporuke u realne eksploracione uslove na termoelektranu TENT-A1. Na slici se jasno uočavaju: dispozicija pojedinih komponenti unutar energetskog ormana, dispozicija VN dela sa izolatorom, sistem za hlađenje unutrašnjosti ormana, prednja vrata ormana sa tasterima START/STOP uređaja, priključci, kao i izgled ostale opreme. Treba naglasiti da na Slici 11 je prikazano stanje kada nije bio montiran kontroler i ostala kontrolna i merna elektronika.

Prikaz kompletiranog ormana sa upravljačkim modulom, kao i električna šema ormana VNVF napajanja su prikazani na Slici 12.



Slika 11: Unutrašnjost VNPF napajanja AR100/1000 (slika levo) i izgled napojne jedinice sa distribuiranom multi-rezonantnom topologijom (slika desno), a pre isporuke u realne eksploracione uslove na termoelektrani.

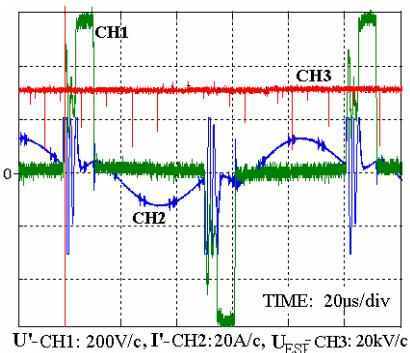


Slika 12: Montaža upravljačke kartice unutar ormana energetike kod AR 100/1000 i električna šema uređaja.

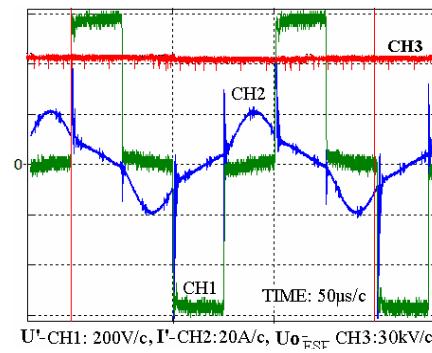
Eksperimentalni rezultati

U ovom delu će biti prikazan deo eksperimentalnih rezultata koji su urađeni pre isporuke 6 VNPF jedinica sa multi-rezonantnom topologijom energetskog pretvarača.

Testiranje i verifikacija su obavljeni u tri režima: prazan hod (bez opterećenja), kratak spoj i režim pri nominalnom opterećenju.



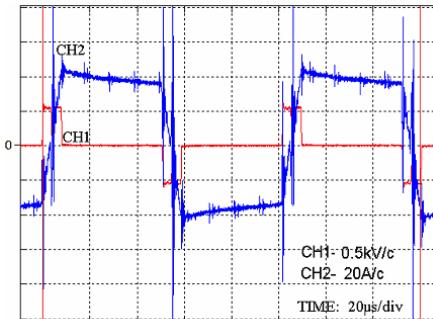
Slika 13: Osciloskopski snimci izlaznog napona (CH1) i struje (CH2) IGBT pretvarača; izlazni napon VNPF jedinice AR100/1000 (CH3), UESF=30kVc. Širina naponskih impulsa 10 μ s.



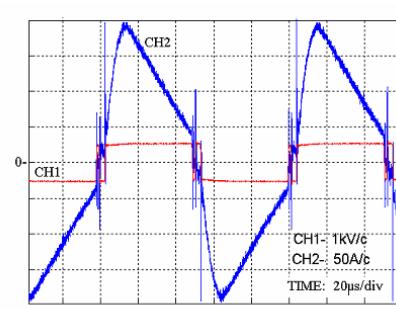
Slika 14: Osciloskopski snimci izlaznog napona (CH1) i struje (CH2) IGBT pretvarača; izlazni napon VNPF jedinice AR70/1000 (CH3), UESF=60kVc. Širina naponskih impulsa 50 μ s.

Uslovi pod kojima su vršeni eksperimenti: ulazna prigušnica u primarnom kolu VNPF transformatora

$L_d = 60\mu H$, radna učestanost IGBT rezonantnog pretvarača $f_{SW} = 10$ kHz, napon jednosmernog (DC) međukola $V_s = 540Vdc$.



Slika 15: Osciloskopski snimci izlaznog napona (CH1) i struje (CH2) IGBT pretvarača; izlaz VNVF jedinice AR100/1000 kratko spojen.; duty cycle” $\delta = 15\%$

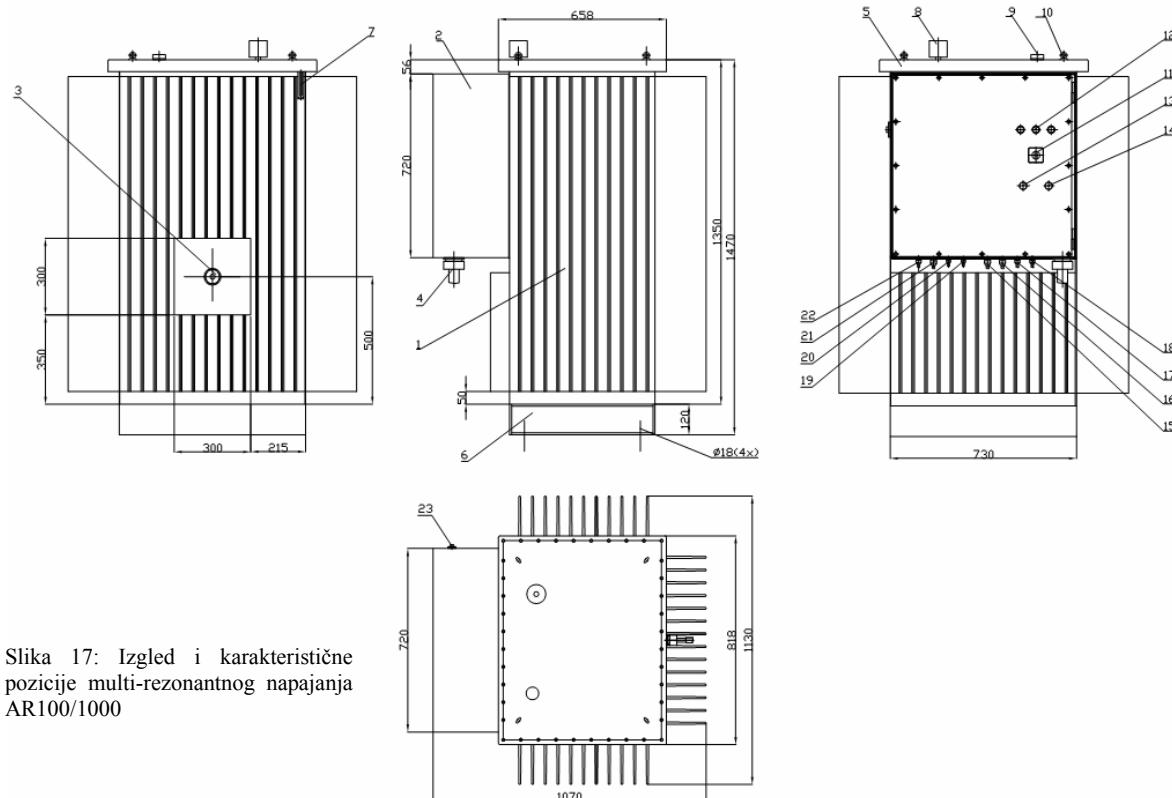


Slika 16: Osciloskopski snimci izlaznog napona (CH1) i struje (CH2) IGBT pretvarača; izlazni napon VNVF jedinice AR100/1000, UESF=100kV, izlazna struja IESF=1000mA.

Na Slici 13 su prikazani osciloskopski snimci izlazne struje i napona IGBT pretvarača u režimu praznog hoda. U ovom režimu izlazni napon VNVF jedinice AR100/1000 je iznosio 30kV. Pod ovim uslovima maksimalna ulazna struja primara VNVF transformatora je iznosila 15A. Na Slici 14 su dati snimci istih talasnih oblika, ali za slučaj kada je izlazni napon VNVF jedinice AR100/1000 iznosio 60kV, dok je maksimalna vrednost struje primara VNVF transformatora pri ovim uslovima iznosila 20A. Na Slici 15 su dati osciloskopski snimci struje i napona IGBT pretvarača u režimu kratkog spoja, pri koeficijentu režima rada $\delta=15\%$. Širina naponskih impulsa u ovom režimu je iznosila 10μs. Na Slici 16 su dati osciloskopski snimci struje i napona IGBT pretvarača u nominalnom režimu pri koeficijentu režima rada $\delta=100\%$. Širina naponskih impulsa je iznosila oko 55μs. Pri ovim uslovima napon na ESF je iznosio 100kV, dok je struja ESF iznosila 1000mA (nominalni parametri).

Karakteristike predloženog tehničkog rešenja:

Tehnički crtež i ugradne mere predstavljenog rešenja su dati na Slici 17.



Slika 17: Izgled i karakteristične pozicije multi-rezonantnog napajanja AR100/1000

Osnovni tehnički podaci sa opisima pojedinih delova su dati u Tabeli II

POZ.	NAZIV	OPIS
1	Transformatorski sud dimenzija 730mm x 650mm x 1350mm (ŠxDxV), napunjen uljem	Sadrži VNVF transformator, nelinearno sekundarno multirezonantno kolo kao i primarnu prigušnicu i sve energetske komponente sa značajnom disipacijom
2	Kutija za smeštaj energetskog pretvarača i pripadajućeg upravljačkog dela, dimenzija 720mm x 250mm x 720mm (ŠxDxV)	Energetski pretvarač i komponente sa niskom disipacijom i niskonaponska i elektronska kola.
3	Visokonaponski konektor (izlazni napon uređaja)	Visokonaponski izlaz 100kVDC, 1A
4	Niskonaponski kabl sa uvodnicom	3x0.4kV+PE, 50Hz, 3x120mm ² +95mm ²
5	Poklopac transformatorskog suda	Sa pritisnim ventilom i indikatorom nivoa ulja
6	Postolje transformatorskog suda	
7	Vizuelni pokazivač nivoa ulja u transformat. sudu	
8	Ventil nadpritiska	
9	Senzor nivoa ulja	
10	Nosači	Za transport uređaja
11	Glavni prekidač-grebensata sklopka	Uključenje glavnog kontaktora 0.4kV/200A
12	Svetlosna signalizacija	-uredaj u radu/upozorenje/kvar
13	Taster START	Startovanje uređaja
14	Taster STOP	Isključenje uređaja
15	Signalni kabl sa uvodnicom ka otresačima	<u>Kabl:</u> 12x1.5mm ² , LUTZE-SILFLEX N PUR, <u>Uvodnica:</u> M20x1.5
16	Signalni kabl- relejni izlazi	<u>Kabl:</u> 12x1.5mm ² , LUTZE-SILFLEX N PUR, <u>Uvodnica:</u> M20x1.5
17	Signalni kabl-upravljačka grupa	<u>Kabl:</u> 7x1.5mm ² , LUTZE-SILFLEX N PUR, <u>Uvodnica:</u> M16x1.5
18	Signalni kabl-pomoćni ulazi	<u>Kabl:</u> 7x1.5mm ² , LUTZE-SILFLEX N PUR, <u>Uvodnica:</u> M16x1.5
19	Signalni kabl-analogni ulaz koncentracije dimnog gasa (recirkulacija)	<u>Kabl:</u> 2x0.75mm ² , LUTZE-SILFLEX EN (C) Y, <u>Uvodnica:</u> M12x1.5 <u>Signal:</u> AIN1 (4-20mA)
20	Signalni kabl-analogni ulaz koncentracije dimnog gasa (izlazni dimnjak)	<u>Kabl:</u> 2x0.75mm ² , LUTZE-SILFLEX EN (C) Y, <u>Uvodnica:</u> M12x1.5 <u>Signal:</u> AIN2 (4-20mA)
21	Signalni kabl-analogni izlazi	<u>Kabl:</u> 4x1.5mm ² , LUTZE-SILFLEX EN (C) Y, <u>Uvodnica:</u> M20x1.5 <u>Signali:</u> AOOUT1 (4-20mA) AOOUT2 (4-20mA)
22	Signalni kabl-veza sa SCAD-om (MODEBUS)	<u>Kabl:</u> 1x2x0.25+3G1.0 mm ² , LUTZE-SILFLEX EN (C) Y, <u>Uvodnica:</u> M16x1.5
23	Konektor za vezu sa operator panelom	DB9-water proff, IP65

Tabela II- Osnovni tehnički podaci sa opisom pojedinih pozicija

Mogućnosti primene predloženog tehničkog rešenja:

Predloženim tehničkim rešenjem VNPF multirezonantnog energetskog pretvarača je postignuto nekoliko značajnih poboljšanja kako u odnosu na konvencionalne 50Hz-ne sistema sa tiristorskom kontrolom, tako i u odnosu na postojeće VF sisteme koji se nude na tržištu.

Kao prvo moguće je obezbediti mnogo *precizniju kontrolu* radnih parametara ESF, 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 ESF se odnosi na *sposobnost modulacije izlaznog napona*. U nekim aplikacijama mogućnost ostvarenja pulsacija izlaznog DC napona konvertora od jednog naponskog nivoa do drugog, pri specificiranim i podešljivom intenzitetu, vremenu vođenja i periodi, ima znatne prednosti koje se odnose na poboljšanje punjenja čestica prašine/gasa i njihovo efikasnije sakupljanje u ESF.

Pored ovoga predloženo i razvijeno tehničko rešenje VNPF multirezonantnog energetskog pretvarača bi se osim primene u postrojenjima za odvajanje čestica u dimnim gasovima, moglo primeniti i u sistemima za desumporizaciju i denitrifikaciju dimnih gasova, odnosno za odvajanje čvrstih produkata (sulfata i nitrata) koji nastaju u ovim procesima kao nusprodukti. Takođe, rešenje je moguće primeniti za filtraciju dimnih gasova na toplanama i industrijskim energeticima, postrojenjima za proizvodnju cementa, ali i na kotlovske postrojenjima koja sagorevaju biomasu (pelet). Problematika koja se javlja na ovim postrojenjima je trenutno vrlo aktuelna.

NAPOMENE:

A) Prikazano tehničko rešenje je u pojedinim svojim delovima publikovano u časopisu sa SCI liste, kategorije M21:

1. Vukosavic S.N, Peric Lj.S, Susic S. D., "A Novel Power Converter Topology for Electrostatic Precipitators", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, vol. 31, br. 1, str. 152-164 , 2015.
Link: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=7045562&tag=1

B) Prikazano tehničko rešenje je u pojedinim svojim delovima publikovano u predavanju i radu po pozivu na međunarodnoj konferenciji Power Plants 2012 (kategorija M31):

1. S.Vukosavic, Z.Despotovic, N.Popov, "The Multiresonant Power Converter Topology for Supplying Electrostatic Precipitators on Thermal Power Plants, (Invited Lecture), V International Symposium Power Plants 2012- Society of Thermal Engineers of Serbia, Zlatibor 30.X-2.XI 2012.
Link: <http://www.e2012.drustvo-termicara.com/papers/download/16>

B) Prikazano tehničko rešenje je u pojedinim svojim delovima publikovano na međunarodnim konferencijama (kategorija M33):

1. S.Vukosavic, Z.V.Despotovic, N.Popov, M.Terzic, "Multi Resonant Topology of ESP Power: Simulations and Experimental Results", 17th INTERNATIONAL SYMPOSIUM on POWER ELECTRONICS- 2013, Novi Sad, 30.10-1.11.2013
2. Z.Despotovic, S.Vukosavic, M.Terzic, "Contemporary Approach to Power of Electrostatic Precipitators", XII International Conference INFOTEH 2013, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 20-22.03.2013.

C) Uredaj je predstavljen na Međunarodnim sajmovima tehnike i tehničkih dostignuća u Beogradu u maju 2013 i maju 2014 godine, na štandu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja (potvrda u prilogu).

LITERATURA:

- [1] 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.
- [2] K. Parker, Electrical operation of electrostatic precipitators, The Institution of Electrical Engineers, London, 2003.
- [3] Laurentiu M. Dumitran, Pierre Atten, Didier Blanchard, and Petru Notinger, " Drift Velocity of Fine Particles Estimated From Fractional Efficiency Measurements in a Laboratory-Scaled Electrostatic Precipitator " IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 38, no. 3, pp. 852-857, May/June 2002
- [4] 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 Technologys,Feb.1999., Chicago , USA.
- [5] Norbert Grass, "150kV/300kW High Voltage Supply with IGBT Inverter for Large Industrial Electrostatic Precipitator", Industry Applications Conference, 2007, 42nd IAS Annual Meeting of the 2007, pp. 808-811.
- [6] Norbert Grass, Werner Hartmann, Michael Klöckner, "Application Of Different Types Of High- Voltage Supplies On Industrial Electrostatic Precipitators", IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 40, no. 6, pp. 1513-1520, Nov/Dec 2004.
- [7] N. Grass, "Fuzzy logic-optimizing IGBT inverter for electrostatic precipitators," IEEE-IAS Annual Meeting, vol. 4, Phoenix, AZ, Oct. 4–7, 1999, pp. 2457–2462.
- [8] S.Vukosavić, Ž.Despotović, "Retrofitno napajanje elektrostatičkih izdvajača čestica iz dimnih gasova na termoelektranama ", TEHNIKA-Elekrotehnika, Vol.64, No4, pp. 597-605, 2011.
LINK: <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0040-21761104597V>
- [9] S.Vukosavic, Ž.Despotovic, N.Popov,"Retrofit Power Supply of Electrostatic Precipitators on Thermal Power Plant-Morava", PROCEEDINGS of the XVI International Symposium of the Power Electronics, N.Sad 26-28.X.2011, Vol.T1-1.9, pp. 1-5.
- [10] P. Ranstad, C. Mauritzson, M. Kirsten, and R. Ridgeway,"On experiences of the application of high-frequency power converters for ESP energization," International Conference on Electrostatic Precipitation ICESP 2004.
- [11] Sanbao Zheng and Darisuz Czarkowski, "High-Voltage High-Power Resonant Converter For Electrostatic Precipitator", in APEC Conf. Record 2003.vol. 2, pp. 1100-1104.
- [12] J. Liu, Sheng, J. Shi, Z. Zhang, X. He, "LCC Resonant Converter Operating under Discontinuous Resonant Current Mode in High Voltage, High Power and High Frequency Applications", in Applied Power Electronics Conference APEC2009, pp. 1482-1486.
- [13] R. L. Streigerwald, "A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies" in IEEE Trans. on PE, vol 3, no. 2, April 1988, pp. 174-182
- [14] Ž.Despotović, S.Vukosavić, D.Arnavutović, I. Stevanović "Visokofrekventno napajanje i njegov uticaj na kvalitet rada ESP", ELEKTROPRIVREDA,Vol.4, pp.132-143, Dec. 2008 (*in serbian*).
- [15] H.Huang, "Designing an LLC Resonant Half-Bridge Power Converter", http://focus.ti.com/asia/download/Topic_3_Huang_28pages.pdf
- [16] 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", in IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 16, no. 1, January 2001. pp. 89-98.
- [17] Ž.Despotović, S.Vukosavić, "Razvoj prototipa visokonaponskog visokofrekventnog transformatora za napajanje elektrostatičkih izdvajača", ELEKTROPRIVREDA, Godina:LXIII Vol.2, pp.107-116, Septembar 2010 (*in serbian*).
- [18] H.A.Pohl, Dielectrophoresis. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
- [19] Vukosavic S.N, Peric Lj.S, Susic S. D., "A Novel Power Converter Topology for Electrostatic Precipitators", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, vol. 31, br. 1, str. 152-164 , 2015.

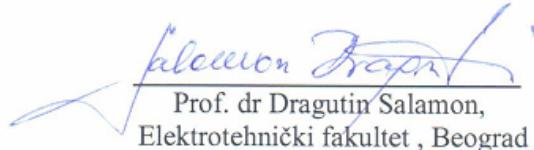
MIŠLjENJE RECENZENATA

Autori tehničkog rešenja Prof. dr Slobodan Vukosavić, Dr Željko Despotović, M.Sc. Nikola Popov i M.Sc.Nikola Lepojević su jasno prikazali i obradili kompletnu strukturu tehničkog rešenja. Na osnovu svega navedenog u tehničkom rešenju recenzenti su ocenili da tehničko rešenje pod nazivom: " **Visokonaponski visokofrekventni (VNVF) multi-rezonantni energetski pretvarač u sistemima filtracije dimnih gasova** ", predstavlja rezultat koji ima originalni stručni i naučno-istraživački doprinos. Sa zadovoljstvom predlažemo da se opisano tehničko rešenje **prihvati kao tehničko rešenje u kategoriji M82 – industrijski prototip**.

Recenzenti:



Prof. dr Zoran Stojiljković,
Elektrotehnički fakultet, Beograd



Prof. dr Dragutin Salamon,
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Predmet: Mišljenje recenzenta o ispunjenosti kriterijuma za priznavanje 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) recenzent Prof. dr Zoran Stojiljković, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, ocenjuje da su ispunjeni uslovi za priznanje svojstva tehničkog rešenja:

NAZIV: Visokonaponski visokofrekventni (VNVF) multi-rezonantni energetski pretvarač u sistemima filtracije dimnih gasova

Autori: Prof. dr Slobodan Vukosavić, Dr Željko Despotović*, M.Sc. Nikola Popov, M.Sc. Nikola Lepojević, Elektrotehnički fakultet, Univerziteta u Beogradu, Institut "Mihajlo Pupin", Univerziteta u Beogradu *

Kategorija tehničkog rešenja: M(82) – industrijski prototip

OBRAZOŽENJE

Recenzent je utvrdio da je predloženo rešenje uradeno za firmu JP EPS Beograd-Privredno društvo "Termoelektrane Nikola Tesla" d.o.o, Bogoljuba Uroševića Crnog 44, Obrenovac, Ogranak: TENT-A1.

Predloženo rešenje je urađeno: u periodu mart 2012 – oktobar 2015. godine.

Subjekt koji je rešenje prihvatio i primenjuje: TENT-A1, Obrenovac

Rešenje je rezultat projekta:

Projekat Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije:

TR33022- Integrirani sistemi za uklanjanje štetnih sastojaka dima i razvoj tehnologija za realizaciju termoelektrana i energana bez aerozagadenja

Predloženo rešenje se koristi na sledeći način: Integralni je deo VNVF postrojenja elektrostatičkih izdvajača na bloku A1- TE "Nikola Tesla", Obrenovac (ugrađeno je 6 ovakvih jedinica)

Oblasti na koju se tehničko rešenje odnosi: energetika, energetska efikasnost, ekologija, elektronika, i uže oblasti: energetski pretvarači i energetska elektronika

Autori ovog tehničkog rešenja su predložili novu topologiju VNVF multi-rezonatnog energetskog pretvarača, koji je praktično primenjen na VNVF postrojenju za prečišćavanje dimnih gasova na TE „N.Tesla“-blok A1, Obrenovac. Autori su razvili novi tip energetskog multi-rezonantnog pretvarača, novi tip VNVF transformatora i ispravljača i postigli performanse koje se zahtevaju za ovaj tip uređaja na postrojenjima za prečišćavanje dimnih gasova. Autori su jasno formulisali problem koji se ovim tehničkim rešenjem rešava, dali pregledno stanje rešenosti problema u svetu, opisali suštinu tehničkog rešenja i dali jasnu mogućnost njegove dalje primene. Takođe, suština tehničkog rešenja je sadržana u publikaciji u vrhunskom međunarodnom časopisu : "A Novel Power Converter Topology for Electrostatic Precipitators", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, vol. 31, br. 1, str. 152-164 , 2015 (autori: S.Vukosavić, Lj.Perić, S.Sušić) i publikaciji na međunarodnoj konferenciji (rad po pozivu): . "The Multiresonant Power Converter Topology for Supplying Electrostatic Precipitators on Thermal Power Plants, V International Symposium Power Plants 2012- Society of Thermal Engineers of Serbia, Zlatibor 30.X-2.XI 2012 (autori: S.Vukosavic, Z.Despotovic, N.Popov).

Na osnovu svega navedenog recenzent je ocenio da rezultat naučno istraživačkog rada „Visokonaponski visokofrekventni (VNVF) multi-rezonantni energetski pretvarač u sistemima filtracije dimnih gasova“ predstavlja rezultat u kategoriji M82-industrijski prototip i da pored stručnog doprinosa sadrži i originalni naučni doprinos.

U Beogradu 24.11.2015 god.

RECENZENT:

Prof. dr Zoran Stojiljković, dipl.el.inž
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Predmet: Mišljenje recenzenta o ispunjenosti kriterijuma za priznavanje 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) recenzent Prof. dr Dragutin Salamon, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, ocenjuje da su ispunjeni uslovi za priznanje svojstva tehničkog rešenja:

NAZIV: Visokonaponski visokofrekventni (VNVF) multi-rezonantni energetski pretvarač u sistemima filtracije dimnih gasova

Autori: Prof. dr Slobodan Vukosavić, Dr Željko Despotović*, M.Sc. Nikola Popov, M.Sc.Nikola Lepojević, Elektrotehnički fakultet, Univerziteta u Beogradu, Institut "Mihajlo Pupin", Univerziteta u Beogradu *

Kategorija tehničkog rešenja: M(82) – industrijski prototip

OBRAZLOŽENJE

Recenzent je utvrdio da je predloženo rešenje urađeno za firmu JP EPS Beograd-Privredno društvo "Termoelektrane Nikola Tesla" d.o.o, Bogoljuba Uroševića Crnog 44, Obrenovac, Ogranak: TENT-A1.

Predloženo rešenje je urađeno: u periodu mart 2012 – oktobar 2015. godine.

Subjekt koji je rešenje prihvatio i primenjuje: TENT-A1, Obrenovac

Rešenje je rezultat projekta:

Projekat Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije:

TR33022- Integrисани sistemi za uklanjanje štetnih sastojaka dima i razvoj tehnologija za realizaciju termoelektrana i energana bez aerozagadženja

Predloženo rešenje se koristi na sledeći način: Integralni je deo VNVF postrojenja elektrostatičkih izdvajača na bloku A1- TE "Nikola Tesla", Obrenovac (ugrađeno je 6 ovakvih jedinica)

Oblasti na koju se tehničko rešenje odnosi: energetika, energetska efikasnost, ekologija, elektronika, i uže oblasti: energetski pretvarači i energetska elektronika

Autori ovog tehničkog rešenja su razvili novi tip visokonaponskog visokofrekventnog (VNVF) pretvarača baziranog na multi-rezonantnim efektima VNVF transformatora i VN ispravljača, praktično realizovali 6 ovakvih VNVF jedinica i ugradili na VNVF postrojenju za prečišćavanje dimnih gasova na TE „N.Tesla“-blok A1, Obrenovac. Autori su jasno formulisali problem koji se ovim tehničkim rešenjem rešava, dali pregledno stanje rešenosti problema u svetu, opisali suštinu tehničkog rešenja i dali jasnu mogućnost njegove dalje primene. Takođe, suštinu tehničkog rešenja je sadržana u publikaciji u vrhunskom međunarodnom časopisu : "A Novel Power Converter Topology for Electrostatic Precipitators", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, vol. 31, br. 1, str. 152-164 , 2015 (autori: S.Vukosavić, Lj.Perić, S.Sušić) i publikaciji na međunarodnoj konferenciji (rad po pozivu): . "The Multiresonant Power Converter Topology for Supplying Electrostatic Precipitators on Thermal Power Plants, V International Symposium Power Plants 2012- Society of Thermal Engineers of Serbia, Zlatibor 30.X-2.XI 2012 (autori: S.Vukosavic, Z.Despotovic, N.Popov).

Na osnovu svega navedenog recenzent je ocenio da rezultat naučno istraživačkog rada „Visokonaponski visokofrekventni (VNVF) multi-rezonantni energetski pretvarač u sistemima filtracije dimnih gasova“ predstavlja rezultat u kategoriji M82-industrijski prototip i da pored stručnog doprinosa sadrži i originalni naučni doprinos.

U Beogradu 24.11.2015 god.

RECENZENT:


Prof. dr Dragutin Salamon, dipl.el.inž
Elektrotehnički fakultet, Beograd

ИНСТИТУТ „МИХАЈЛО ПУПИН“ ДОО
Број: 2884/27-15
26. новембар 2015. године
Београд

На основу чл. 24. Статута Института „Михајло Пупин“ ДОО Београд – *Пречишћен текст* („Билтен“ бр.15/2014.), а у складу са одредбама Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Службени гласник РС“ бр. 38/2008), Научно веће Института „Михајло Пупин“ доноси следећи:

ОДЛУКУ

Прихвата се техничко решење под називом: Високонапонски високофреквентни (ВНВФ) мулти-резонантни енергетски претварач у системима филтрације димних гасова

Техничко решење је резултат рада на пројекту:

TP33022- *Интегрисани системи за уклањање штетних састојака дима и развој технологија за реализацију термоелектрана и енергана без аерозагађења*

Техничко решење спада у категорију: М(82) – индустриски прототип

Аутори: Проф. др Слободан Вукосавић, Др Желько Деспотовић*, М.Sc. Никола Попов, М.Sc. Никола Лепојевић, Електротехнички факултет, Универзитета у Београду, Институт "Михајло Пупин", Универзитета у Београду*.

Кратак опис решења:

Предложеним техничким решењем ВНВФ мултирезонантног енергетског претварача је постигнуто неколико значајних побољшања како у односу на конвенционалне 50Hz-не система са тиристорском контролом, тако и у односу на постојеће ВФ системе који се нуде на тржишту. Као прво могуће је обезбедити много прецизнију контролу радних параметара електростатичких филтара (ЕСФ), као што су излазни напон и струја. Као друго, могуће је остварити брз пораст напона и *веома брз одзив* на промене оптерећења. Поред тога високо фреквентни (ВФ) рад обезбеђује *значајно смањење величине и тежине* ВН трансформатора. Ова редукција води компактнијем дизајну уз *минимизирање цене* уграђење и одржавања. Висока учестаност обезбеђује много већу реактансу

трансформаторског језгра и сходно томе бољу ефикасност извора напајања. Нарочита предност ВФ напајања ЕСФ се односи на способност модулације излазног напона. У неким апликацијама могућност остварења пулсација излазног DC напона конвертора од једног напонског нивоа до другог, при специфицираном и подешљивом интензитету, времену вођења и периоди, има знатне предности које се односе на побољшање пуњења честица прашине/гаса и њихово ефикасније сакупљање у ЕСФ. Поред овога предложено и развијено техничко решење ВНВФ мултирезонантног енергетског претварача би се осим примене у постројењима за одвајање честица у димним гасовима, могло применити и у системима за десумпоризацију и денитрификацију димних гасова, односно за одвајање чврстих продуката (сулфата и нитрата) који настају у овим процесима као нуспродукти. Такође, решење је могуће применити за филтрацију димних гасова на топланама и индустријским енерганама, постројењима за производњу цемента, али и на котловским постројењима која сагоревају биомасу (пелет). Проблематика која се јавља на овим постројењима је тренутно врло актуелна.

Рецензенти:

- Проф.др Зоран Стојиљковић, Електротехнички факултет, Београд,
- Проф. др Драгутин Саламон, Електротехнички факултет, Београд.

На основу позитивног мишљења два рецензента – експерта из области техничког решења, Научно веће је донело предметну одлуку.



Достављено:

- ауторима
- Секретаријату Института