

Datum: 25.04.2010. 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 strujno regulisanog pretvarača 200kVA za retrofit napajanja elektrostatičkih izdvajača bez zamene 50Hz-nog transformatora (*Projekat sa ev. br. ZS007: Razvoj i primena visokonaponske visokofrekventne ekološke opreme za otklanjanje aerozagadženja u industriji i elektroprivredi-rukovodilac projekta: prof. dr Slobodan N. Vukosavić*).

Autori: Slobodan N., Vukosavić, Željko Despotović, Obrad Đorđević

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: 15.12.2009 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:

Ovo rešenje predstavlja kombinaciju VNVF pretvarača sa strujnom kontrolom i postojećeg 50Hz-nog transformatora. Motivacija za razvojem jednog ovakvog pretvarača je upravo nastala iz razloga što većina postrojenja elektrostatičkih izdvajača (ESI) na termoelektranama poseduje grupe transformator/ispravljač za 50Hz, tao da je na izlaznim elektrodama ESI moguće postići jednosmerni napon zanemarljivo male talasnosti, upravo korišćenjem ovog hibridnog rešenja tzv. retrofitnog napajanja. Na izlaz VF energetskog pretvarača sa H-mostom koga čine IGBT je vezan VN 50Hz-ni transformator podizač napona. Ovaj pretvarač kombinuje dobre osobine VF i 50Hz-nog napajanja i baziran na strujnoj kontroli i daje na svom izlazu pravougaoni talasni oblik struje učestanosti 50Hz. Ovom strujom se napaja primar visokonaponskog transformatora (VNT). Na izlazu pripadajućeg visokonaponskog ispravljača (VNI) je moguće dobiti napone od 20-100kVDC veoma male talasnosti.

Stanje rešenosti problema u svetu:

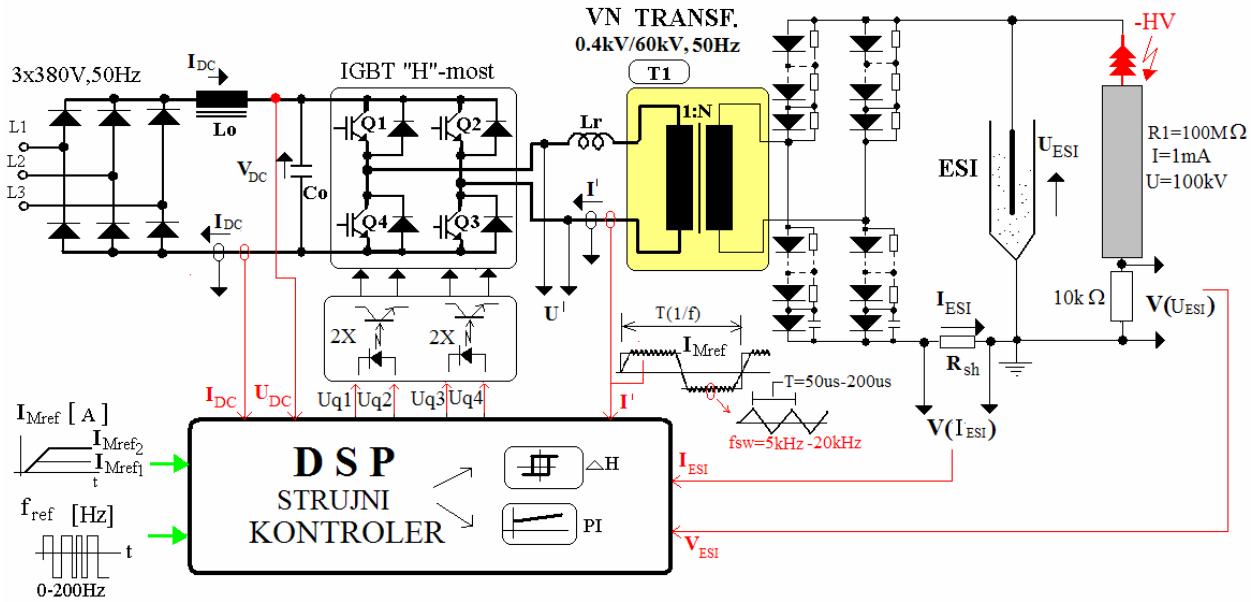
Pretvaranje monofaznih i trofaznih mrežnih napona u visoke jednosmerne napone ($>30\text{kV}$), pri velikim snagama ($>20\text{kW}$), je postalo jedna od značajnih oblasti tehnologije koja se primenjuje u mnogim industrijskim procesima, a naročito u izdvajajući i kontroli emisije čestica dimnih gasova na postrojenjima elektrostatičkih izdvajača (ESI). U većini slučajeva zahtev za podešavanjem visokog DC napona se danas konvencionalno ostvaruje AC regulatorima koji se baziraju na tiristorskoj kontroli [1-4]. Regulator kontroliše napajanje ESI posredstvom VNT i odgovarajućeg VN ispravljača. Kontrola izlazne snage i napona se postiže promenom ugla paljenja antiparalelnog vezanih tiristora, koji se nalaze na primarnoj strani VNT. 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 VNT značajne snage (potopljenog u izolacionom ulju), pri povišenim učestanostima. 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 zahtevani obim i cena građevinskih radova pri gradnji jednog takvog VN postrojenja su značajni. 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].

U nekim aplikacijama se veoma popularna hibridna rešenja koja kombinuju dobre osobine VF izvora napajanja velike snage i postojećih $50/60\text{Hz-nih}$ transformatora. U ovim slučajevima se primarni namotaji VNT napajaju sa relativno niskom učestanošću, ali sa primenjenom strujnom kontrolom čime su obezbeđeni pravougaoni talasni oblici struje [6-7]. Opseg primenjene učestanosti strujnog talasa je od $50\text{Hz}-500\text{Hz}$, dok je prekidačka učestanost na kojoj se ostvaruje strujna kontrola i praćenje referentne vrednosti struje od $10-20\text{kHz}$.

Suština tehničkog rešenja:

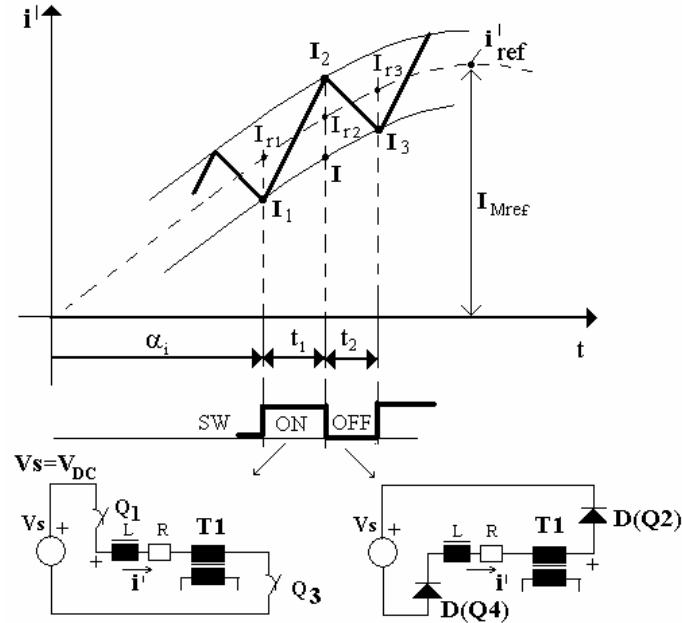
Blok šema predloženog retrofitnog napajanja ESI, baziranog na strujnoj kontroli je data na Sl.1. DSP kontroler sa implementiranim strujnom kontrolom pripadajućeg IGBT mosnog pretvarača, se koristi za napajanje primara 50Hz-nog VNT. U okviru DSP kontrolera su implementirana dva tipa strujne kontrole: histerezisna strujna kontrola i PI strujna kontrola. U ovom tehničkom rešenju je prikazana histerezisna strujna kontrola. Napajanje IGBT pretvarača se ostvaruje iz mreže $3x380\text{V}$, 50Hz preko trofaznog diodnog ispravljača i *LoCo* DC-međukola na čijem izlazu se dobija napon oko 540VDC . Zadavanje parametara strujne regulacije, kao i učestanosti i amplitudu referentnog strujnog talasa se ostvaruju preko operator panela. Na ovaj način se ostvaruje pravougaoni strujni talas kroz namotaje primara VNT, kome je moguće podešavati učestanost i amplitudu.



Sl.1. Blok šema realizovanog retrofitnog napajanja ESI sa 50Hz visoko-naponskim transformatorom

Pobudni signali U_{q1} , U_{q2} , U_{q3} i U_{q4} IGBT prekidača u H-mostu se dobijaju iz DSP strujnog kontrolera. Ovi signali su galvanski odvojeni od samog IGBT mosta optokaplerima. Za potrebe strujne regulacije se koriste povratne sprege po signalima koji su na Sl.1. označeni crvenom bojom. To su pre svega struja primara VNT i napon jednosmernog DC međukola LoCo.

Principska šema histerezisne struje kontrole za jednu poluperiodu referntnog pravougaonog polusalasa je data na Sl.2. Sličan princip se odnosi i na negativnu poluperiodu. U pozitivnoj pluperiodi su aktivni tranzistori Q1 i Q3 i povratne diode iz suprotnih grana koje su inherentno ugrađene u tranzistore Q2 i Q4. Stoga su ove povratne diode označene sa D(Q2) i D(Q4) respektivno.



Sl.2. Principska šema histerezisne strujne kontrole

Histerezisna strujna kontrola je zasnovana na principu ograničenja odstupanja trenutne vrednosti struje od zadate. Uobičajeno je da je veličina odstupanja (prozor histerezisa) simetrično postavljena u odnosu referentnu vrednost i označava se sa ΔH .

U intervalu $(\alpha_i, \alpha_i + t_1)$ kada su prekidači Q_1 i Q_3 uključeni promena struje kroz namotaj aktuatora se ostvaruje prema relaciji:

$$i(t) = I_1 + \frac{V_s - e}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (1)$$

U intervalu $(\alpha_i + t_1, \alpha_i + t_1 + t_2)$ kada su prekidači Q_1 i Q_3 isključeni, a kada provode povratne diode $D(Q_2)$ i $D(Q_4)$ promena struje kroz namotaj aktuatora se ostvaruje prema relaciji:

$$i(t) = I_2 - \frac{V_s}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (2)$$

Na osnovu prikaza na Sl.2 mogu se napisati sledeće relacije:

$$I_2 = I_1 + \frac{V_s}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{R}{L}t_1}) \quad (3)$$

$$I_3 = I_2 - \frac{V_s}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{R}{L}t_2}) \quad (4)$$

Obzirom da je induktivni otpor u primarnom kolu VNT (zbir rasipne induktivnosti transformatora i redne prigušnice L_r) mnogo veći od omskih otpora prethodne relacije je moguće napisati u obliku:

$$I_2 = I_1 + \frac{V_s}{L} \cdot t_1 \quad (5)$$

$$I_3 = I_2 - \frac{V_s}{L} \cdot t_2 \quad (6)$$

kao i dodatnu jednačinu:

$$I_3 = I_1 + \frac{V_s}{L} \cdot (t_1 - t_2)$$

Ako definišemo širinu histerezisa H kao:

$$\Delta H = I_2 - I_1 \quad (7)$$

Na osnovu prikaza na Sl.2 se lako može pokazati da je :

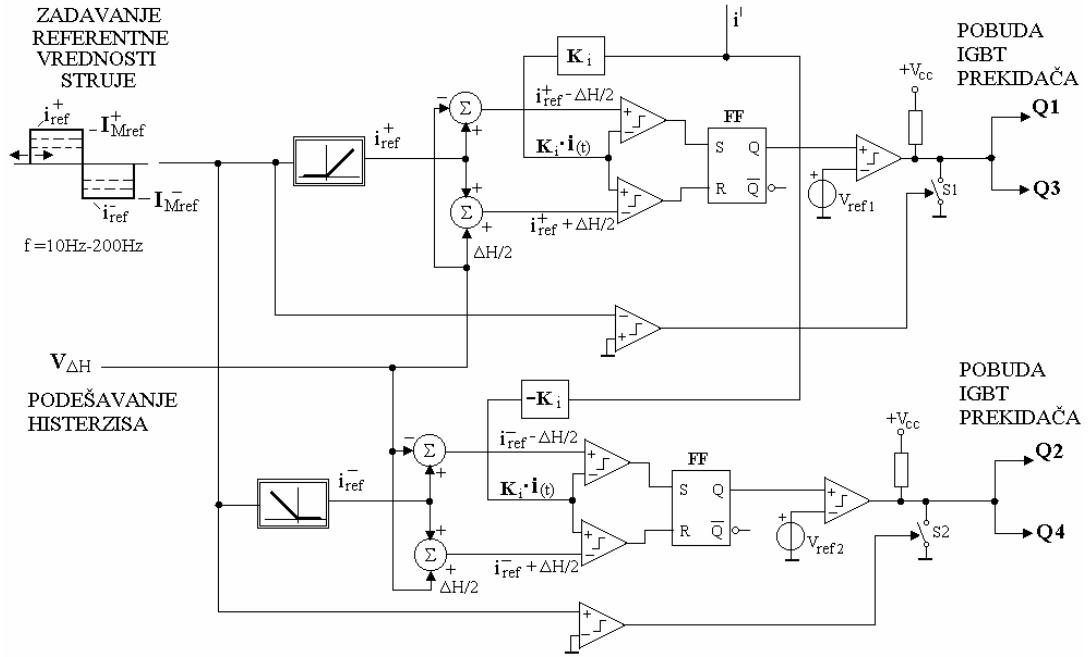
$$\frac{\Delta H}{2} = I_2 - I_{r2} = I_{r2} - I \approx I_{r1} - I_1 \quad (8)$$

Odnosno:

$$\Delta H = \frac{V_s}{2 \cdot L \cdot f_{sw}} \quad (9)$$

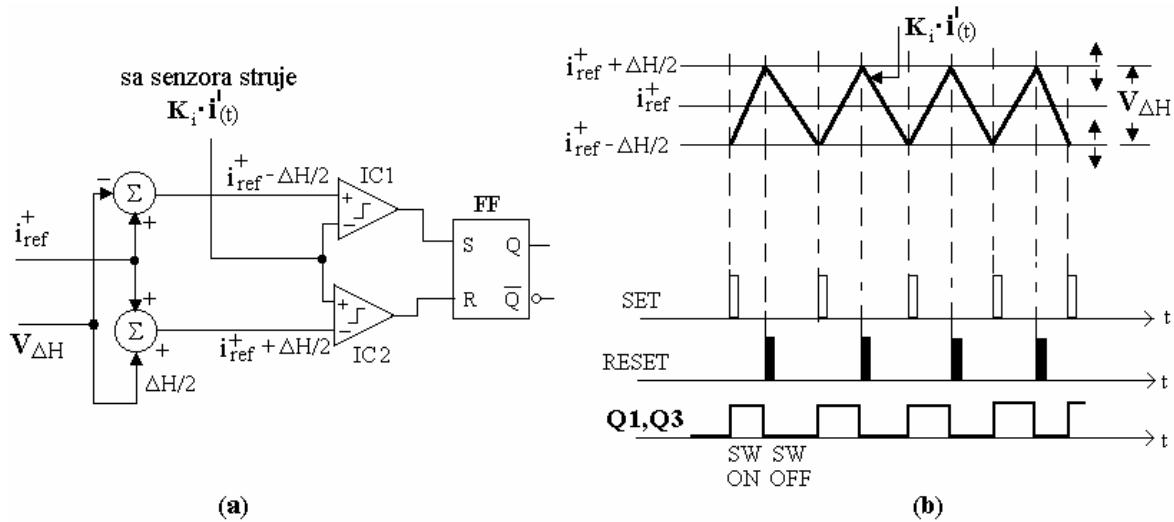
To znači da sa povećanjem histerezisa ΔH dolazi do smanjenja prekidačke učestanosti f_{sw} i obrnuto.

Histerezisna strujna kontrola je praktično realizovana u sklopu pomenute IGBT topologije sa električnim upravljačkim kolom koje je dato na Sl.3. Osnovu kontrolnog kola čine komparator prozora realizovan sa dva operaciona pojačavača i jednim memorijskim elementom FF (RS flip-flopom).



Sl.3. Blok šema primjenjene histerezisne strujne kontrole VNT

Detaljni prikaz rada kontrolnog kola sa komparatorom prozora za pozitivnu poluperiodu referentnog strujnog polusalasa i^+_{ref} je dano na Sl.4. Slična logika važi i za negativnu poluperiodu kada je referentna vrednost i^-_{ref} . Na Sl.4(a) su prikazani komparator prozora tzv. windows komparator koji je realizovan sa dva operaciona pojačavača (IC1 i IC2) i jednim memorijskim elementom (RS flip-flopom). Na Sl.4(b) su prikazani karakteristični talasni oblici pojedinih kontrolnih signala.



Sl.4. Realizacija kontrolnog kola sa komparatorm prozora

Referentnoj vrednosti struje i^+_{ref} se u sabiračima u jednom slučaju dodaje, a u drugom oduzima vrednost polovine histerezisa $\Delta H / 2$, tako da je izlaz jednog sabirača $i^+_{ref} + \Delta H / 2$, dok je izlaz drugog sabirača $i^+_{ref} - \Delta H / 2$. U komparatoru prozora se ovi signali porede sa skaliranim

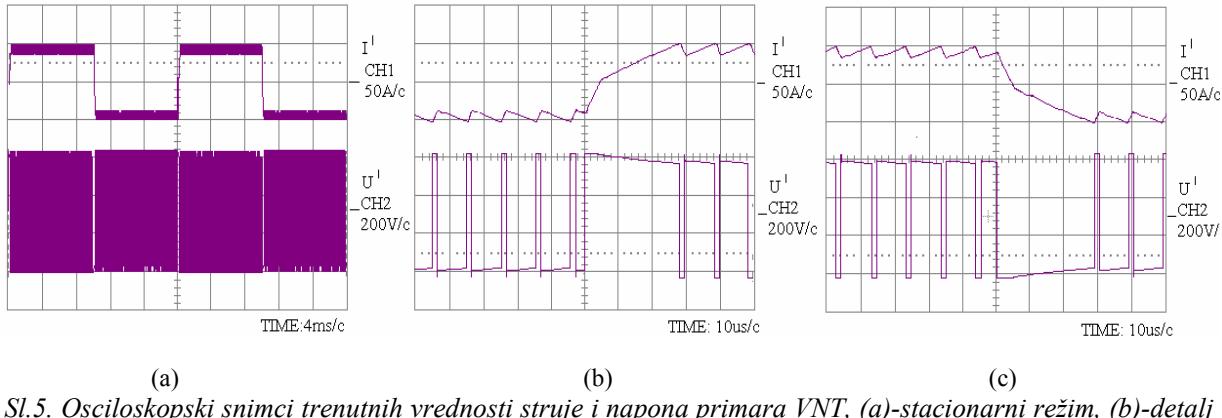
signalom stvarne vrednosti struje primara transformatora $K_i \cdot i'(t)$. Kada je $K_i \cdot i'(t) < i_{ref}^+ - \Delta H / 2$ izlaz komparatora IC1 odlazi u stanje logičke "1", odnosno generiše se signal SET koji setuje flip-flop FF. U tom stanju je izlaz komparatora IC2 u stanju logičke "0", odnosno odsutan je signal RESET. Na osnovu ovoga je izlaz Q flip-flopa u stanju logičke "1", odnosno dolazi do istovremenog uključenja prekidača $Q1$ i $Q3$ u H mostu, odnosno dolazi do porasta struje namotaja primara VNT. Kada je $K_i \cdot i'(t) > i_{ref}^+ + \Delta H / 2$ izlaz komparatora IC2 odlazi u stanje logičke "1", odnosno generiše se signal RESET koji resetuje flip-flop FF. U tom stanju je izlaz komparatora IC1 u stanju logičke "0", odnosno odsutan je signal SET. Na osnovu ovoga je izlaz Q flip-flopa je u stanju logičke "0" tako da dolazi do istovremenog isključenja prekidača $Q1$ i $Q3$, odnosno dolazi do opadanja struje primarnog namotaja VNT, koju sada preuzimaju povratne diode diode $D(Q_2)$ i $D(Q_4)$.

Eksperimentalni rezultati

Razvijeno retrofitno napajanje koje se bazira na VF histerezisnoj strujnoj kontroli primarne struje VN 50Hz-nog transformatora je primenjeno na TE „Morava“ i intergralni je deo VNI koji se koristi za pobudu taložnih elektroda postrojenja ESIu svrhu odvajanje čestica dima i čadi. U ovom odeljku su predstavljeni eksperimentalni rezultati koji su dobijeni tokom eksploatacionih ispitivanja i podešavanja retroftnog napajanja.

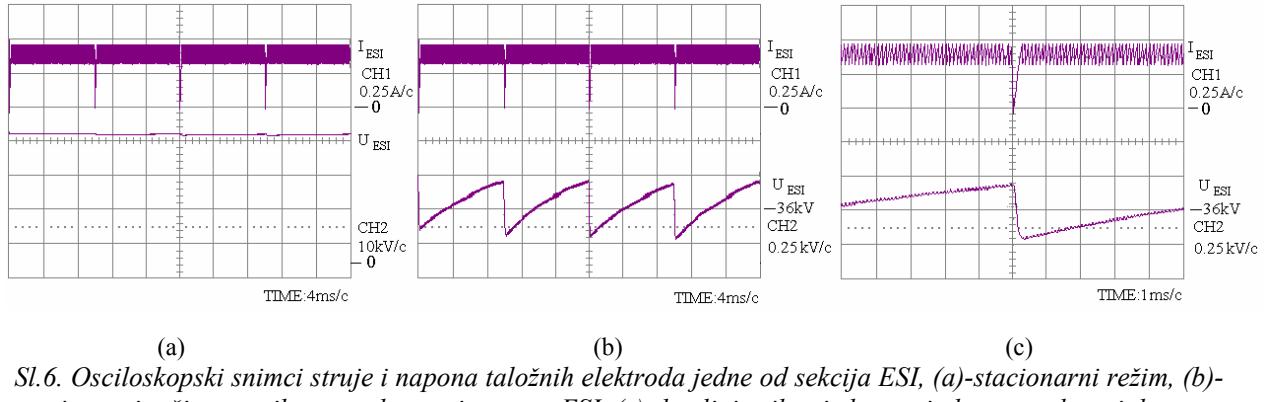
U ovim eksperimentima je napon DC međukola iznosio 540VDC. Mrežni napon je iznosio 3x380V, 50Hz. Referentna vrednost struje je podešena na 50A, dok je prekidačka učestanost PWM impulsa za pobudu IGBT prekidača iznosila oko 10kHz.

Na Sl.5 su dati osciloskopski snimci struje i napona primara VNT. Na Sl.5(a) su dati ovi snimci za stacionarni režim. Na Sl.5(b) je dat detaljni osciloskopski snimak kada je primenjena rastuća referentna vrednost struje, odnosno kada se ona menja sa $i_{ref}^- \rightarrow i_{ref}^+$. Na Sl.5(c) je dat detaljni osciloskopski snimak kada je primenjena opadajuća referentna vrednost struje, odnosno kada se ona menja sa $i_{ref}^+ \rightarrow i_{ref}^-$.



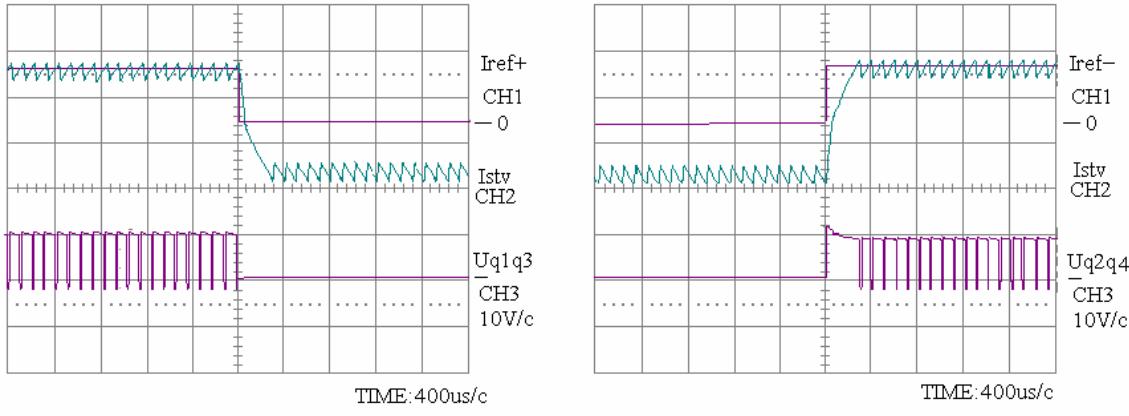
Sl.5. Osciloskopski snimci trenutnih vrednosti struje i napona primara VNT, (a)-stacionarni režim, (b)-detalj za slučaj rastuće referentne vrednosti struje $i_{ref}^- \rightarrow i_{ref}^+$, (c)- detalj za slučaj opadajuće referentne vrednosti struje $i_{ref}^+ \rightarrow i_{ref}^-$.

Uočava se da pri naponu Vs=540V porast (opadanje) struje ostvaruje se za oko $tr=30\mu s$, što odgovara induktivnosti od $1.5mH$. Ovo je u skladu sa činjenicom da je stvarna rasipna induktivnost ispravljačkog VNT $0.4/55kV$, $100kVA$, $50Hz$, proizvodnje TuR Dresden oko $1mH$ a da je vrednost redne prigušnice koja se na red dodaje primarnom namotaju VNT iznosila $L_r=500 \mu H$.



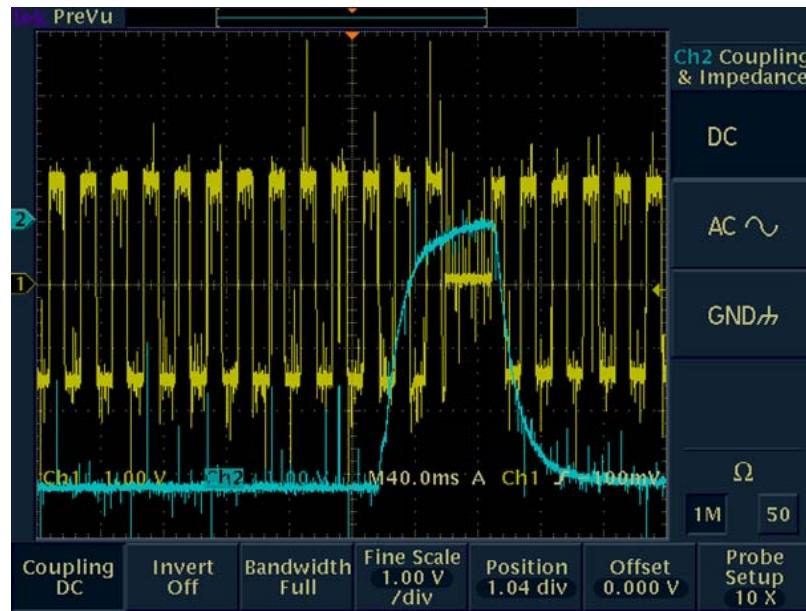
Sl.6. Osciloskopski snimci struje i napona taložnih elektroda jedne od sekcija ESI, (a)-stacionarni režim, (b)-stacionarni režim sa prikazom talasnosti napona ESI, (c)-detaljni prikaz jedne periode naponskog ripla

Na Sl.6 su prikazani talasni oblici struje i napona na taložnim elektrodama ESI pri čemu su napon i struja primara podešeni na vrednosti prikazane osciloskopskim snimcima na Sl.5. Merenje trenutne vrednosti napona ESI je ostvareno VN razdelnikom $100M\Omega/10k\Omega$, dok je merenje trenutne vrednosti struje ESI ostvareno merenjem pada naponu na otpornom šantu R_{sh} referisanim prema uzemljenom kraju, kao što je prikazano na Sl.1. Na Sl.6(a) su dati osciloskopski snimci struje i napona ESI u stacionarnom režimu. Izmerena je vrednost napona ESI od 36kVDC. Pri čemu je srednja vrednost struje iznosila 0.4A. U struci ESI se uočava jedan mali propad na svakih 10ms, što je posledica ispravljanja sekundarne struje posredstvom VNI. Naime ovaj propad struje je posledica sumarnog efekta rasipne induktivnosti VNT i redne prigušnice L_r koji postaju dominantni u intervalima promene referentne vrednosti struje. Na Sl.6(b) je prikazan stacionarni režim, ali je detaljno prikazana trenutna vrednost talasnosti (ripla) izlaznog napona VNI, odnosno napona ESI. Uočava se da je ovaj ripl manji od 500Vp-p što što je manje od 1%. Učestanost ripla napona ESI je 50Hz što je u skladu sa primjenom strujnom kontrolom retrofitnog napajanja. Na Sl.6(c) je prikazan detaljni osciloskopski snimak jedne periode naponskog ripla u trajanju od 10ms.



Sl.7. Osciloskopski snimci kontrolnih signala histerezisnog strujnog regulatora; (a)-pozitivna poluperioda, (b)-negativna poluperioda

Na Sl.7 su dati osciloskopski snimci karakterističnih signala histerezisnog strujnog kontrolera (referentne vrednosti struje, skalirane stvarne vrednosti struje i naponskih pobudnih signala IGBT prekidača). Na Sl.7(a) su prikazani snimljeni karakteristični signali za slučaj pozitivne poluperiode strujne reference i_{ref+}^+ , dok su na Sl.7(b) prikazani snimljeni karakteristični signali za slučaj negativne poluperiode strujne reference i_{ref-}^- . Ovi snimci su u koincidenciji sa osciloskopskim snimcima prikazanim na Sl.5.



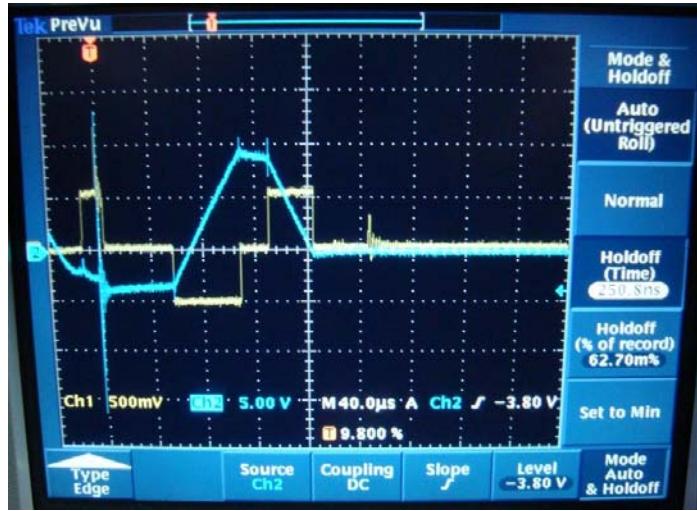
Sl.8. Struja primara VNT i izlazni napon na taložnim elektrodoma ESI u trenutku preskoka; CH1-struja primara VNT (žuti trag)100A/V, CH2-negativna vrednost napona na ESI (plavi trag)10kV/V, vremenska podela 40ms/c.

Na Sl.8 su dati osciloskopski snimci struje primara VNT i napona ESI u trenutku kada je nastao preskok. Uočava se da je neposredno nakon preskoka došlo do smanjenja primarne struje VNT na vrlo malu vrednost, odnosno do relativno brzog smanjenja vrednosti napona ESI na vrednost $\leq 5\text{kV}$. Vreme pauze je trajalo oko 60ms.



Sl.9. Napon is struja primara VNT u trenutku preskoka; CH1-napon primara VNT (plavi trag)1kV/V, CH2-struja primara VNT (žuti trag) 50A/V, vremenska podela 20ms/c.

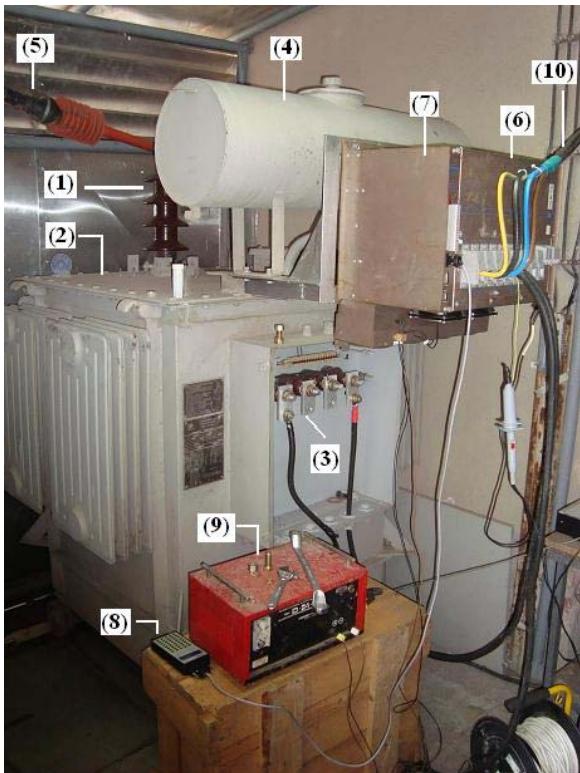
Na Sl.9 su dati osciloskopski snimci primarnog napona i primarne struje VNT u trenutku preskoka, kojim su dodatno potvrđeni zaključci doneti na osnovu analize osciloskopskog snimka sa Sl.8. Treba napomenuti da je u intervalu pauze za dejonizaciju od 60ms, uočljivo da su i napon i struja primara VNT jednaki nuli.



Sl.10. Napon i struja IGBT pretvarača u trenutku delovanja zaštite od direktnog kratkog spoja na izlaznim priključcima; CH1-napon primara VNT (žuti trag) 1kV/V, CH2-struja primara VNT (plavi trag) 40A/V, vremenska podela 40μs/c.

Na Sl.10 su prikazani osciloskopski snimci izlazne struje i napona IGBT mosnog pretvarača u trenutku delovanja zaštite od direktnog kratkog spoja. Vrednost kratkotrajnog strujnog preopterećenja je podešena na 2.25 vrednosti nominalne struje od 160A, odnosno na 360A. U trenutku neposredno pre nastanka kratkog spoja struja je iznosila 160A. Sa osciloskopskog snimka se uočava de je prekostrujna zaštita delovala u vremenskom intervalu od oko 100μs. Sa snimka se takođe uočava da je porast struje sa vrednosti od -160A na vrednost +360A u intervalu od 60 μs, ostvarena pri naponu primara od 500V. Iz ovih podataka se dobija da je ukupna induktivnost petlje kratkog spoja iznosila $L_k = 500 \times 60 \mu s / 520 = 57 \mu H$.

Izgled realizovanog retrofitnog napajanja



Sl.11. Izgled realizovanog retrofitnog napajanja 200kVA u realnom okruženju na TE "Morava".

1-VN izolator na 60kV strani VN transformatora

2-VN 50Hz transformator 0.4/55kV, 100kVA, proizvodnje TuR Dresden, napona kratkog spoja 15%.

3-Priključne tačke primara VN transformatora

4-Ekspanzionni sud VN transformatora

5-VN kabl koji povezuje VN izolator ispravljača i taložne elektrode ESI.

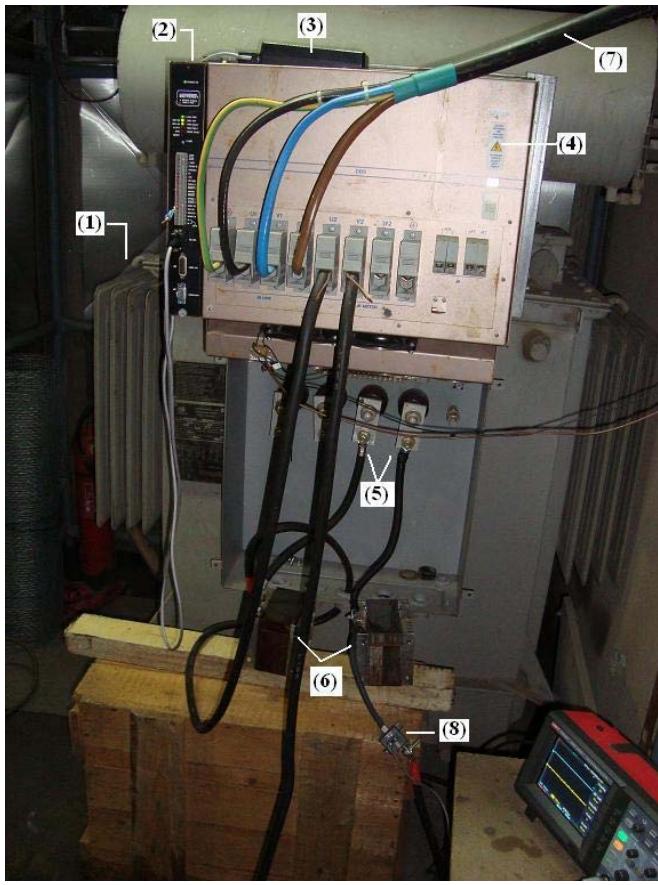
6-Energetski pretvarač 200kVA, baziran na IGBT prekidačima u H-mostu

7-DSP kontrolna jedinica za kontrolu IGBT pretvarača

8-Operatorski panel za zadavanje parametara strujne regulacije (učestanosti i amplitude primarne struje, strujnog pojačanja kao i pragova zaštite).

9-Pomoćno napajanje 24VDC (pogon ventilatora za hlađenje pretvarača)

10-NN kabl PPOO-y 4x35mm² za napajanje pretvarača



Sl.12. Izgled IGBT energetskog prekidača i pripadajuće opreme

1-Rebra za hlađenje VN 50Hz-nog transformatora

2-DSP kontrolna jedinica energetskog IGBT pretvarača

3-Operatorski panel za zadavanje parametara strujne regulacije (učestanosti i amplitude primarne struje, strujnog pojačanja kao i pragova zaštite)

4-IGBT pretvarač sa implementiranim strujnom kontrolom

5-Priklučci primarnih namotaja VN transformatora

6-Redne prigušnice $L_{r1}=L_{r2}=250\mu H$ ($L_r=500\mu H$) u svakoj od priključnih grana primarnog kola VN transformatora

7-NN priklučni kabl za dovod napajanja $3 \times 0.4 \text{kV} + \text{PE}$, 50Hz.

8-Strujni senzor LEM 0-1000A, sa podešenim mernim otpornikom i pojačanjem 40A/V, za merenje primarne struje VN transformatora



Sl.13. Izgled VN priklučka i VN izolatora preko koga se VNT povezuje sa elektrodnim sistemom ESI

Karakteristike predloženog tehničkog rešenja su sledeće:

| | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Napajanje električnom energijom: | 3x380V+PE, 50Hz |
| Ulagna prividna snaga: | 210kVA |
| Ulagni faktor snage: | > 0.95 |
| Opterećenje: | elektrodni sistem ESI |
| Tačnost strujne regulacije: | <3% |
| Talasnost struje: | 10% |
| Učestanost strujnog ripla: | 5-25kHz |
| Izlazni napon: | 100kV DC |
| Izlazna struja: | 2000mA DC |
| Izlazna prividna snaga: | 200kVA |
| Stepen zaštite: | IP44 |
| Temperaturni opseg: | -25°C...+60°C |
| Vlažnost: | do 90% |
| Dimenzije: | 400x250x300mm |

Mogućnosti primene predloženog tehničkog rešenja:

Predloženim pretvaračem sa strujnom kontrolom je postignuto nekoliko značajnih poboljšanja u odnosu na konvencionalni tiristorski 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 predložena strujna kontrola omogućava *korišćenje postojećih 50Hz-nih VN transformatora* uz obezbeđenje veoma male talasnosti napona ESI, tako da se ustvari jedan ovakav sistem ponaša kao VF sistem napajanja. Naročita prednost jednog ovakvog retrofitnog 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. Razvijeno retrofitno napajanje 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.

LITERATURA:

- [1] K. Parker, "Electrical operation of electrostatic precipitators", The Institution of Electrical Engineers, London, 2003.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] J.Macan, "Eksplotaciona ispitivanja regulisanih ispravljača za napajanje elektrostatičkih otprašivača", *VI simpozijum Energetska elektronika – Ee '86*, Subotica (YU), jun 1986, pp.382-392.
- [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.

- [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] Norbert Grass, Werner Hartmann, Michael Klöckner: "Application of different types of high-voltage supplies for electrostatic precipitators", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 40, No 6, 2004
- [7] Norbert Grass, "150/300kV High Voltage Supply with IGBT Inverter for Large Industrial Electrostatic Precipitators", *Industry Applications Conference, 2007, 42nd IAS Annual Meeting*, Conference Record of the 2007 IEEE, 23/10/2007; DOI: 10.1109/IAS.2007.127, New Orleans, LA, September 2007.

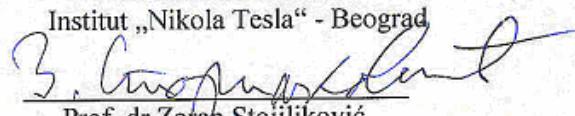
MIŠLJENJE RECENZENATA

Autori tehničkog rešenja Slobodan Vukosavić, Željko Despotović i Obrad Đorđević su jasno prikazali i obradili kompletну strukturu tehničkog rešenja. Na osnovu svega navedenog recenzenti su ocenili da tehničko rešenje pod nazivom: " Prototip strujno regulisanog pretvarača 200kVA za retrofitno napajanje elektrostatičkih izdvajača bez zamene 50Hz-nog transformatora" 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:

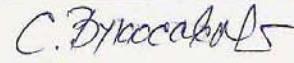
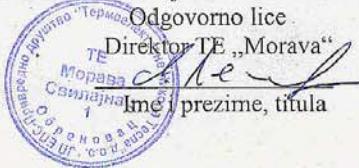


Dr Miloje Kostić,
Viši naučni saradnik
Institut „Nikola Tesla“ - Beograd



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. Србеновац ТЕ Морава Свилајнац Број: 862/1 30.03.2011 год. | ОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ БЕОГРАД 2011 ПОДАРУНОЧЕНО ОДЛУД. ВРОЈ ПРИЛОГ ВРЕДНОСТ 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 (VNF) AC/DC napajanja za potrebe postrojenja elektrostatičkih izdvajača na TE "Morava": 1. VNF napajanje sa pripadajućim VNF transformatorom i 10kHz-nim rezonantnim IGBT AC/DC pretvaračem 3x0.4kV, 50Hz/70kVDC, pravidne sage 70kVA, sa LC-rezonantnim međukolom. 2. VNF napajanje sa pripadajućim VNF 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 VNF 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 VNF 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 VNF 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 ПИБ: 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 | | |

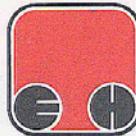
PRILOG-2: Potvrda o eksploraciji tehničkog rešenja od strane korisnika



ЈП ЕПС-Привредно друштво
"Термоелектране Никола Тесла" д.о.о.
Обреновац
ТЕ Морава Свилајнац
Број: 2053/1
10-06-2011 20 год.

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



INSTITUT „МИХАЈЛО ПУПИН“
Dr. Željko Despotović
11160 **БЕОГРАД**
Улица Volgina 15.

У оквиру програма истражivanja u области tehnološkog razvoja Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije , за 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 aerozagadženja u industriji i elektroprivredi"-evidencijski broj TR-21007

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.

U okviru datog projekta je realizovano tehničko rešenje "Prototip strujno regulisanog pretvarača 200kVA za retrofit napajanja elektrostatičkih izdvajača bez zamene 50Hz-nog transformatora" (čiji su realizatori Prof. dr. Slobodan Vukosavić -ETF, Dr Željko Despotović -Institut "M.Pupin", Obrad Đorđević -ETF). Tehničko rešenje je realizovano u periodu 01.07.-15.12. 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 15.12.2009 godine.

Odgovorno lice:
Директор TE "Morava"-Svilajnac
Dragan Nešić, dipl.el.inž

