

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

**NAZIV: Eksperimentalno postrojenje za visokonaponsko testiranje i hardversku simulaciju realnog okruženja napojnih jedinica elektrostatičkih filtera**

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

**Kategorija tehničkog rešenja:** M(83) – novo laboratorijsko postrojenje-novo eksperimentalno postrojenje

### **OBRAZLOŽENJE**

Recenzentska komisija je utvrdila da je predloženo rešenje urađeno za firmu STEMP, Vidikovački venac 25, Beograd.

**Subjekt koji rešenje koristi:** STEMP, Beograd

**Predloženo rešenje je urađeno:** u periodu januar 2014 – mart 2015. godine.

**Subjekt koji je rešenje prihvatio i primenjuje:** STEMP, Beograd

**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 Dragutin Salamon, ETF-Beograd, Prof.dr Zoran Stojiljković, ETF-Beograd

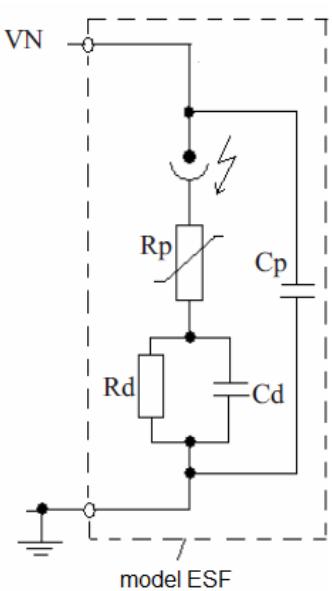
3.Naučno veće Instituta "Mihajlo Pupin" d.o.o. , Beograd, na osnovu mišljenja reczenzata i priloženih dokaza izdalo je Odluku br. 2884-24/15, od 28. novembra 2015, o priznavanju Tehničkog rešenja koje potvrđuje da ono ispunjava uslove da bude priznato kao tehničko rešenje iz kategorije M83 (Novo laboratorijsko postrojenje-novo eksperimentalno postrojenje).

**Predloženo rešenje se koristi na sledeći način:** *Integralni je deo linije za testiranje napojnih jedinica elektrostatičkih filtera u firmi za proizvodnju i testiranje transformatora STEMP-Beograd*

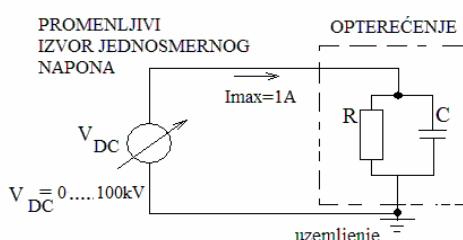
**Oblasti na koju se tehničko rešenje odnosi:** *energetika, energetska efikasnost, visokonaponska tehnika, i uže oblasti: visokonaponska oprema i energetska elektronika*

## Problem koji se tehničkim rešenjem rešava:

Visokonaponske jedinice za napajanje elektrodnog sistema elektrostatickih filtera moraju pre isporuke u eksploracione uslove biti testirane i verifikovane u pogledu izlaznih parametara: vrednost izlaznog jednosmernog visokog napona (tipičan opseg 50kV-100kV), vrednost impulsne izlazne struje (tipičan opseg 0-1000mA), reakcija na proboje i nivo proboja, proborna čvrstoća, adaptacija na promene opterećenja. Realni elektrostaticki filtri i pripadajući elektrodnii sistem u električnom pogledu su nelinearna opterećenja, pretežno kapacitivnog karaktera, sa raspodeljenim parametrima. Do sada nije izveden tačan matematički model ovih opterećenja, ali su učinjeni brojni pokušaji da se dode do približnih modela ESF koji bi ih adekvatno mogli opisati u elektrostatickom i elektro-dinamičkom pogledu. Jedan od najviše prihvaćenih modela je model koji je dat ekvivalentnim električnim kolom na Slici 1, koje je predložio S. Oglesby [1]. 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 [2], dok se kapacitet  $C_p$  određuje iz opšte poznate formule [1], i zavisi od geometrije elektroda ESF i dielektrične permitivnosti prostora unutar njega. Pored ovog načina parametre je moguće identifikovati merenjem struje i napona ESF korišćenjem tzv. „mirnog režima“ rada [3], [4]. Dinamička impedansa sloja praha je predstavljena i modelirana parametrima  $R_d$  i  $C_d$ .



Slika 1: Oglesby model ESF [1]



Slika 2 : Ekvivalentna šema opterećenja VN napojnih jedinica ESF promenljivog napona 0....100kVDC

U realnim slučajevima je dinamička otpornost usled sloja praha mnogo manja od nelinearne otpornosti  $R_p$ , a kapacitivnost  $C_d$  je relativno mala (mnogo manja od kapacitivnosti elektrodnog sistema  $C_p$ ). U tom slučaju ekvivalentna impedansa celog ESF je predstavljena paralelnom vezom otpornosti  $R_p$  i kapacitivnosti  $C_p$ .

U trenutku preskoka ( simbol označen VN strelicom) naglo dolazi do pada otpornosti  $R_p$  tako da se ima stanje veoma blisko kratkom spoju. Na osnovu prethodno iznetog potrebno je bilo napraviti električni ekvivalent opterećenja kakvo je elektrodnii sistem ESF. Opterećenje koje je od interesa je paralelna veza visokonaponskog (VN) otpornika i VN kondenzatora, kao što je prikazano na Slici 2. Ova kombinacija se napaja iz promenljivog naponskog izvora napona  $V_{DC}=0....100kV$ , struje  $I=1000mA$ , odnosno snage  $100kW$ . Ovo su uslovi koji približno vladaju na realnom delu sistema. U laboratorijskim uslovima je potrebno simulirati realni sistem. Dakle potrebno je obezbediti ispitivanje izvora promenljivog napona i struje (napojna jedinica ESF ) a cilj je obezbediti zahtevano RC opterećenje (u laboratorijskim uslovima), pri čemu se kao zahtev postavlja i simulacija preskoka, odnosno proboga koja se ima u realnim eksploracionim uslovima. Pored ovih zahteva, obzirom na aktivnu snagu opterećenja od  $100kW$ , potrebno je adekvatno rešiti hlađenje i odvođenje topline sa jednog ovakvog opterećenja. Takođe potrebno je rešiti problem merenja visokog napona na opterećenju kao i merenje struje opterećenja. Potrebne vrednosti za RC opterećenje dato na Slici 2 su date i to za:

- VN otpornik :  $R=100k\Omega$ , za max. struju od  $1A$ , max. napona  $100kV$  (snaga  $P=100kW$ )
- VN kondenzator:  $C=25nF/100kV$  (realna vrednost na ESF)
- Potrebno je rešiti problem izolacije na VN priključku kao i obezbediti priključke donjih krajeva  $R$  i  $C$  za spajanje na pogonsko uzemljenje.

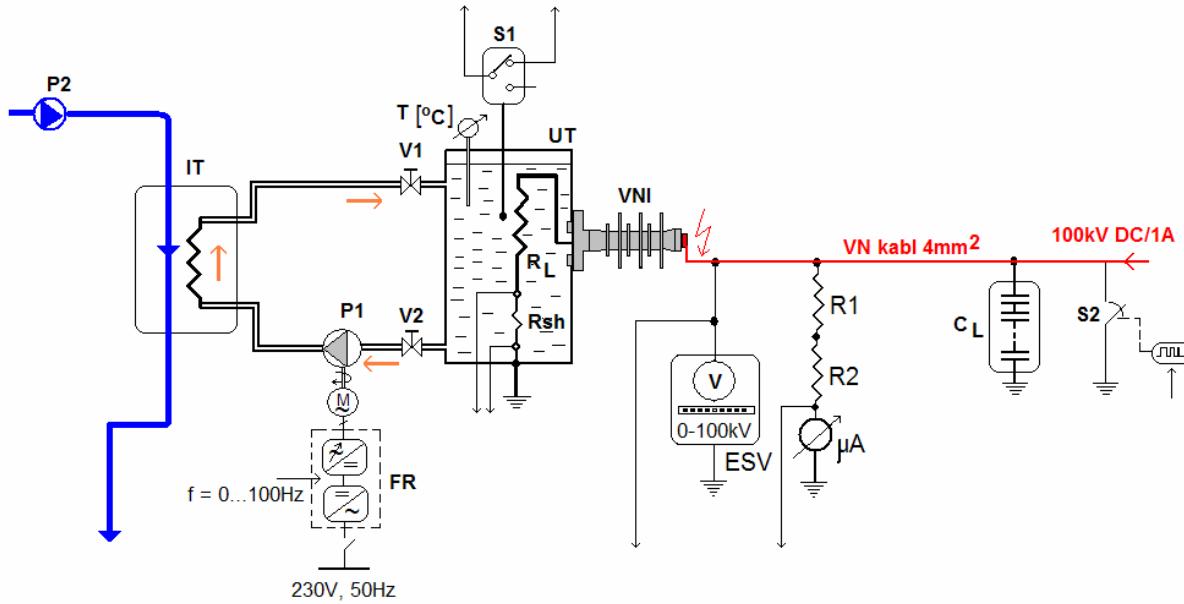
## Stanje rešenosti problema u svetu:

Problematika rada ESF je na svetskom nivou obrađena veoma detaljno, naročito u poslednjih desetak godina kada je filtriranje dimnih gasova na postrojenjima termoelektrana i toplana postalo interesantno sa stanovišta rešavanja ekoloških problema, koji se ogledaju u smanjenju emisija na vrednosti manje od  $50\text{mg}/\text{m}^3$ . Na Internetu se mogu naći brojne reference koje se odnose na simulaciju procesa u ESF. Uglavnom su dostupni softverski simulatori od kojih je veoma interesantan [5]. Na tržištu se čak ne mogu naći ni diskretne komponente  $100\text{k}\Omega/100\text{kW}$ , kao što je zahtevana vrednost otpornosti ESF koja je navedena u prethodnom poglavlju. Na tržištu se nude značajno manje snage kao što je dato u referenci [6]. Za razliku od veoma snažnih visokonaponskih visoko-omskih otpornika, na tržištu se mogu naći visokonaponski kondenzatori  $20\text{-}50\text{nF}$  za napon  $120\text{kVDC}$ . Jedan od poznatih proizvođača, čija je komponenta [7] ugrađena u uređaj predstavljen u ovom rešenju je HIVOLTCAPACITORS – Severna Irska. U trenutku kada je realizovano ovo tehničko rešenje na svetskom tržištu nije se mogao naći realni hardverski simulator ESF, performansi  $100\text{kV}/1\text{A}/100\text{kW}$ . Pored zahteva za ispitivanje napojnih jedinica ESF (pre isporuke u realne eksploracione uslove), ova manjkavost na svetskom tržištu je bila dodatna motivacija autora da se upuste u realizaciju ovog tehničkog rešenja, stvarnog (realnog simulatora) ESF sa svom pratećom instalacijom za hlađenje i odvodenje velike količine razvijene topote, visoko-naponskim zahtevima, simulacijom proboga i na kraju sa VN merenjima struje i napona.

## Suština tehničkog rešenja:

Da bi se izvršilo korektno visokonaponsko testiranje i simulacija realnog opterećenja VN jedinica za napajanje elektrostatičkih filtera (ESF), potrebno je bilo obezbediti visokonaponsko RC opterećenje (paralelna veza R i C) nominalnog napona  $100\text{kVDC}$ , nominalne jednosmerne struje  $1\text{A}$ , odnosno nominalne snage  $100\text{kW}$ , koje približno odgovara stvarnom opterećenju kao što je elektrodni sistem ESF.

Principska blok šema eksperimentalnog postrojenje za visokonaponsko testiranje i simulaciju realnog okruženja napojnih jedinica, koje ustvari "simulira" stvarno opterećenje kao što je ESF, je data na Slici 1.



Slika1: Principska blok šema eksperimentalnog postrojenje za VN testiranje i simulaciju realnog okruženja napojnih jedinica elektrostatičkih filtera (ESF)

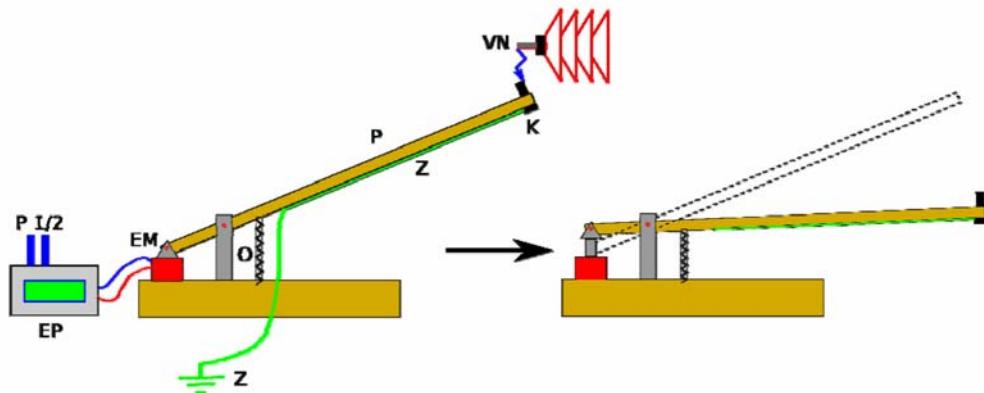
Osnovni elementi ovog opterećenja su: uljni tank (UT) sa pripadajućom opremom, rashladni sistem za odvođenje razvijene topote na opterećenju, visokonaponski izolator (VNI), visokonaponski kondenzator  $C_L = 25\text{nF}/120\text{kV}$ , uređaj za simulaciju proboga S2 između elektroda ostvarivanjem intermitentnog kratkog spoja na visokonaponskoj strani napojne jedinice koja se testira, naponskomerno kolo

za merenje visokog napona 100kVDC na izlazu uređaja, koga čine mikroampermetar  $\mu$ A i elektrostatički voltmeter ESV

U sklopu UT dimenzija 600x600x1200mm, se nalaze četiri redno vezana VN otpornika od po  $25\text{k}\Omega/25\text{kW}$ , označena na Slici 1 simbolički sa  $R_L = 100\text{k}\Omega$  ukupne snage  $100\text{kW}$ , jedan merni otporni šant  $R_{sh} = 220\Omega$ , na kojem se preko pada napona meri struja koja protiče kroz visokonaponski otpornik  $R_L$  i pripadajuća merna oprema. Tokom testiranja se neprekidno meri i prikazuje temperatura ulja u UT putem termo sonde sa pokazivačem (merni opseg 0-100°C), ali je u tank ugrađen termički senzor odnosno termički prekidač (tzv. "thermo-switch") S1 koji poseduje jedan bez-naponski kontakt koji daje signal o maksimalnoj graničnoj temperaturi ulja od 70°C. Kada temperatura ulja pređe ovaj prag, bezuslovno se tokom testiranja isključuje iz pogona visokonaponsko ESF napajanje (tiristorsko 50Hz ili VNVF napajanje) koje se testira. Kućište UT ima posebno izvedeni visokonaponski priključak predstavljen VNI specijalne konstrukcije, kao i priključak za uzemljenje, a na njemu su sa jedne strane izvedena dva otvora za dovod i odvod cirkulacionog ulja, dok je sa suprotne strane izведен otvor na kojem je montiran VN izolator. VN izolator je pouzdano montiran na prednju stranu UT. Ova montaža je izvedena uz izuzetno dobro zaptivanje i na kraju VN izolatora je vezan VN kondenzator  $C_L = 25\text{nF}/120\text{kV}$ . Merenje visokog napona na krajevima  $R_L - C_L$  tereta (opterećenja) je ostvareno VN grupom otpornika  $R_1$  i  $R_2$  čije su vrednosti za svaki od  $2.45\text{M}\Omega$  (koji dele visoki napon na pola) i pripadajućim mikro-ampermetrom. Pored ovoga obezbeđeno je i dodatno merenje visokog napona elektrostatičkim voltmetrom (ESV) sa svetлом tačkom na linearnoj podeli. Na ovaj način je moguće i vizuelno sa određene udaljenosti pratiti vrednost napona na VN opterećenju. Kao dodatna mera zaštite od direktnog dodira VN instalacije je obezbeđen Faradejev kavez načinjen od rešetkaste metalne mreže, koja se takođe uzemljuje na više mesta.

Na dovodu i odvodu ulja u UT su postavljena dva ventila V1 i V2 sa pripadajućim ručnim slavinama. Cirkulacija ulja u UT je obezbeđena cirkulacionom pumpom P1 koja je frekventno regulisana regulatorom FR, čiji je opseg podešavanja učestanosti od 1Hz-100Hz. Ovim regulisanim pogonom se podešava protok cirkulacionog ulja, posredstvom koga se ostvaruje forsirano hlađenje VN otpornika  $R_L$ . U izmenjivaču topote IT koji je tipa "ulje-voda", je obezbeđeno pouzdano odvođenje topote na rashladni fluid (voda) koja se pumpom P uzima iz vodovoda i odvodi u šaht.

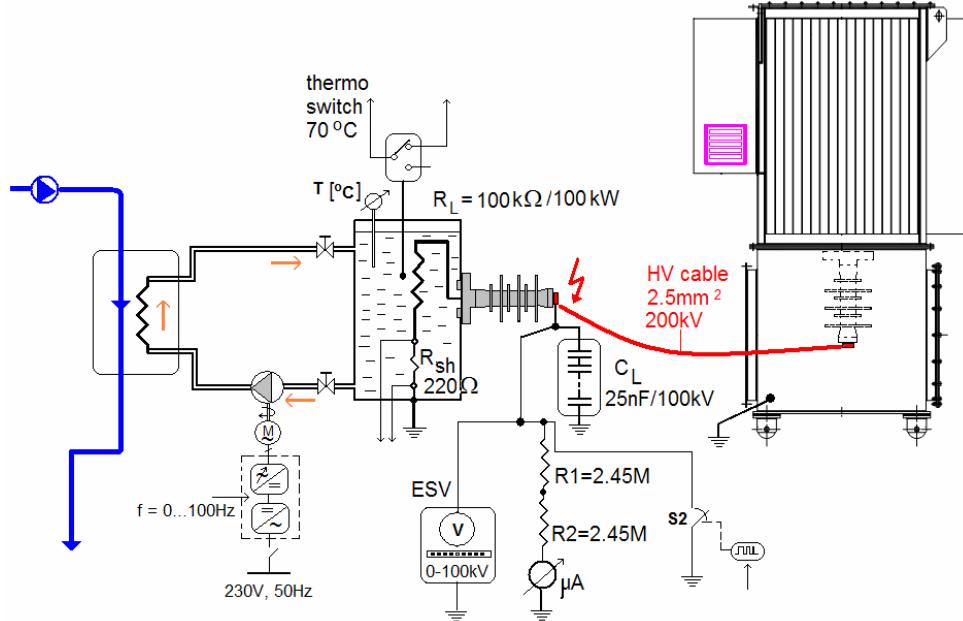
Principska šema uređaja S2 za simulaciju probaja između elektroda ostvarivanjem intermitentnog kratkog spoja na visokonaponskoj strani (na strani napojne jedinice ESF koja se testira) sa najvažnijim delovima i njegov položaj prema VN izvodu je dat na Slici 2. Uredaj ostvaruje intermitentan kratak spoj visokonaponskog izvoda sa masom tako što u određenom vremenskom periodu približava metalnu kotvu, koja je napotencijalu zemlje, visokonaponskom priključku. Kada se kotva dovoljno približi visokonaponskom izvodu događa se preskok od izvoda ka kotvi odnosno masi. To se dešava trenutno, nakon čega se kotva vraća u prvobitni položaj daleko od visokonaponskog izvoda.



Slika 2: Principska skica uređaja koji "simulira" kratak spoj na elektrodama elektrostatičkog filtra (ESF)

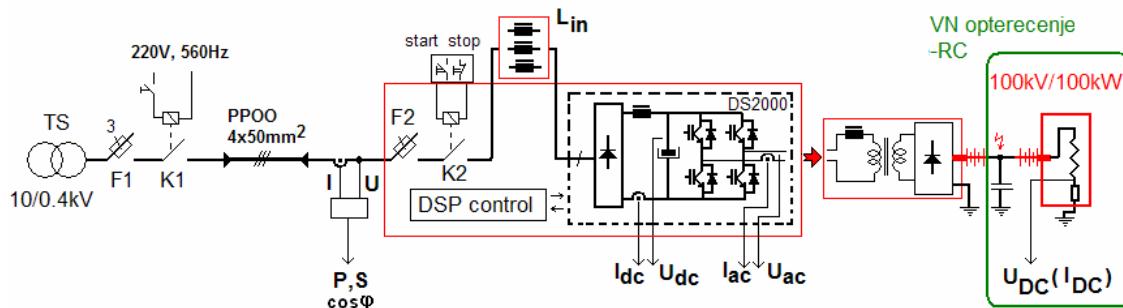
Kao što se može videti sa Slike 2 kotva (K) se nalazi na kraju poluge (P) čiji se drugi kraj periodično privlači pomoću elektromagneta (EM). Elektromagnetu se određenom učestanostu šalje impuls određene dužine

trajanja sa elektronske pločice (EP) na kojoj se nalazi PIC mikrokontroler koji obavlja upravljačku funkciju. Frekvencija i trajanje impulsa koji se prosleđuje EM mogu se podešavati pomoću dva potenciometra (P 1/2) koji se takođe nalaze na EP. Dok traje naponski impuls na kotvi (K) je blizu visokonaponskog priključka (VN) zbog čega se javlja preskok ka zemlji preko kabla (Z) koji je vezan za kotvu. Nakon završetka impulsa poluga odnosno kotva se vraća u položaj daleko od (VN) priključka. Brzo vraćanje u taj položaj, odnosno prekidanje kratkog spoja omogućava oprugu (O).



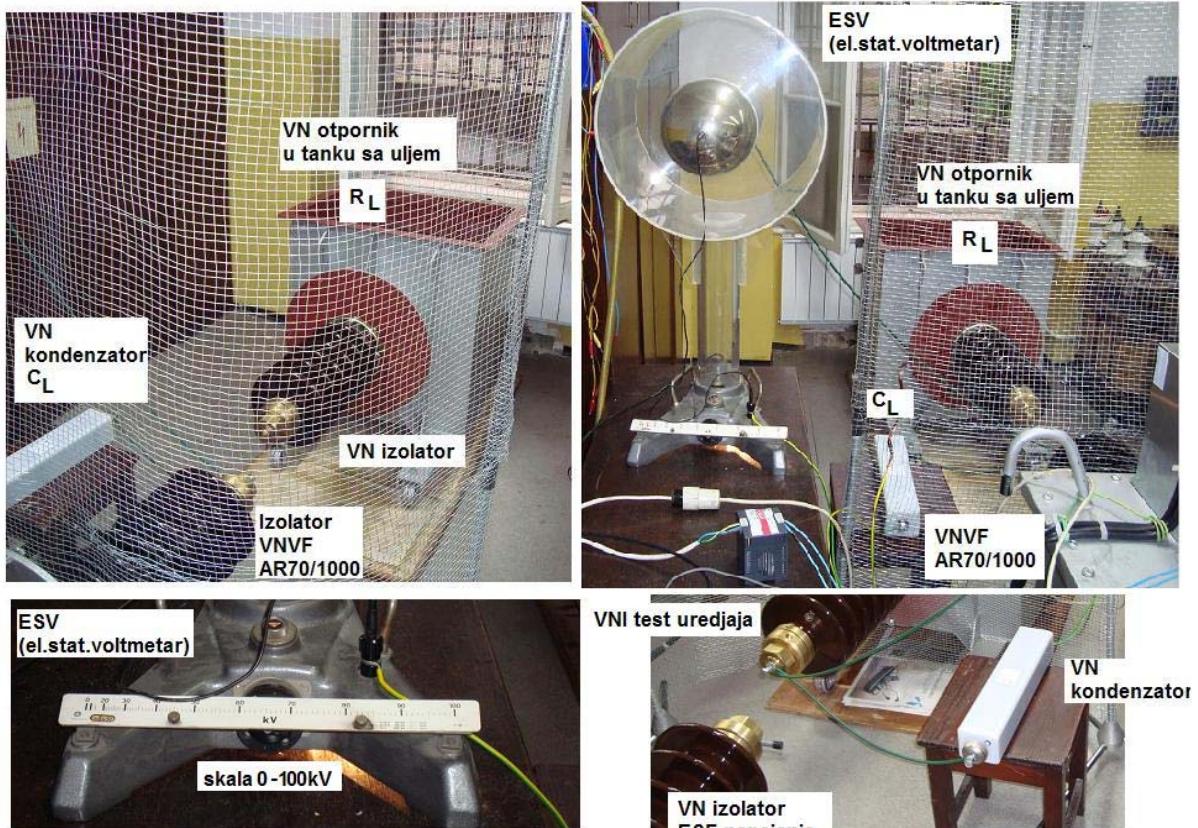
Slika 3: Povezivanje VN jedinice testiranje (RC tereta) sa konkretnom napojnom jedinicom elektrostatičkih filtera (u ovom slučaju AR100/1000)

VN napajanje koje se testira (tiristorsko 50Hz-no[8], AR70/1000 ili AR 100/1000[9]) se preko svojeg izolatora vezuje na VNI RC jedinice, VN kablom preseka 2.5mm<sup>2</sup>, odnosno 4mm<sup>2</sup>. Izolacija kabla je izvedena materijalima sa trajnim podnosišvim naponom 200kV. Svi spojevi u okviru elektro dela su izuzetno pouzdano izvedeni kao i spojevi metalnih masa sa uzemljjenjem (PE): priključci na UT, VN kondenzatoru, napajanju koje se testira i mernoj VN opremi. Na Slici 3 je prikazana principska šema povezivanja RC opterećenja na realnu napojnu jedinicu ESF (u ovom slučaju AR100/1000). Na Slici 4 je prikazana tipična električna šema po kojoj se vrši testiranje VNVF napojnih jedinica ESF, sa RC opterećenjem koje je razvijeno u ovom tehničkom rešenju.



Slika 4: Šema povezivanja RC tereta sa VNVF napojnom jedinicom

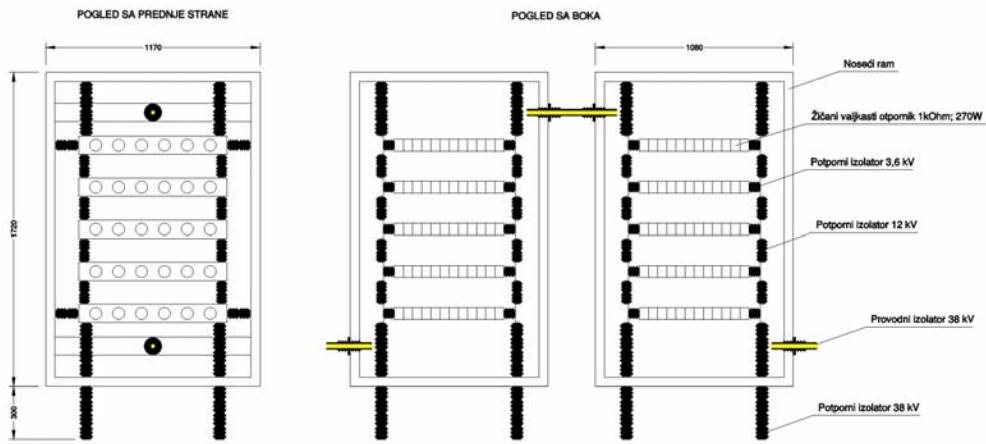
U ovom delu će biti prikazani praktično realizovana eksperimentalna postrojenja, kao i njegovi pojedini delovi, na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu (laboratorijska za visoki napon) i u laboratorijskoj za VN ispitivanja Minel- ELVO, Beograd.



Slika 5: Eksperimentalno postrojenje realizovano u laboratorijskoj za VN, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu



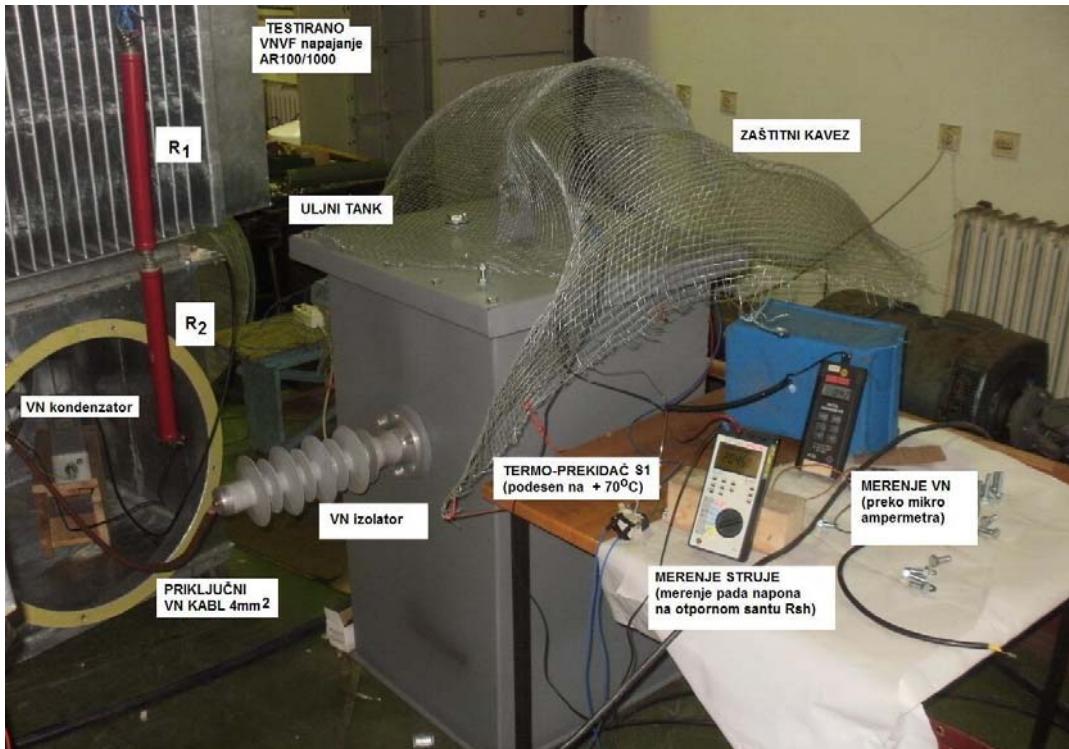
Slika 6: Sud u kome se smešta VN otpornik, sa izolatorom sa VN priključkom (slika gore levo); Izgled VN otpornika u sudu bez ulja (slika gore desno); Detalj povezivanja VN otpornika i VN izolatora (slika dole levo) i dispozicija pertinaks nosećih ploča bifilarno motanog VN otpornika (slika dole desno)



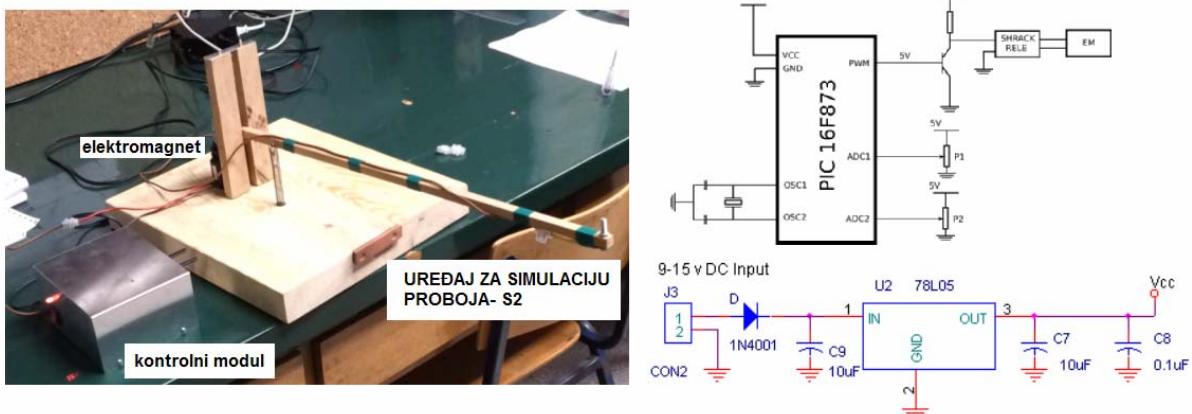
Slika 7: Tehnički crtež nosača VN otpornik kao i dispozicija njegovih segmenata (VN otpornik  $60\text{k}\Omega/60\text{kW}$ )



Slika 8: Dispozicije VN otpornika u uljnom tanku (UT), potopljen u transformatorskom ulju korišćenom kao izolacioni medijum ( radni napon  $60\text{kV DC}$ , izlazna snaga  $60\text{kW}$  ).



Slika 9: Eksperimentalno postrojenje realizovano u laboratoriji za VN, Minel-ELVO, Beograd



Slika 11: Uredaj za simulaciju probaja (integralni deo eksperimentalnog postrojenja) sa pripadajućim elementima (slika levo) i električna šema sklopa (slika desno)



Slika 11: Eksperimentalno postrojenje realizovano u laboratoriji za VN, Minel-ELVO, Beograd; Dispozicija VN kondenzatora CL i njegovo povezivanje sa VN komorom testirane VNPF napojne jedinice AR100/1000 (slika levo); Dispozicija cirkulacione pumpe P1, pripadajućeg frekventnog regulatora FR, izmenjivača topline ("ulje-voda") i uljnog tanka u kojem je smešten VN otpornik 100kΩ/100kVDC/100kW (slika desno)

### Karakteristike predloženog tehničkog rešenja:

Realizovano tehničko rešenje ustvari predstavlja eksperimentalno postrojenje, odnosno laboratorijski prototip koji simulira otpornost i kapacitivnost elektrostatickih filtera i shodno tome se koristi za testiranje visokonaponskih jedinica koje napajaju elektrostaticke filtre. To je u principu pasivno visokonaponsko opterećenje sa ugrađenim sistemom za simulaciju preskoka, čime ono dobija dinamički karakter. Osnovni tehnički podaci ovog eksperimentalnog prototipa su:

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1. OTPORNOST:                     | 100kΩ   |
| 2. KAPACITIVNOST:                 | 25nF/Max napon 120kV DC   |
| 3. NAPON:                         | 100kV DC  |
| 4. STRUJA:                        | 1000mA DC   |
| 5. AKTIVNA SNAGA:                 | 100kW   |
| 6. HLAĐENJE:                      | forsirano sa uljem (frekventno regulisana cirkulaciona pumpa 0-100Hz) |
| 7. TRAFO ULJE:                    | NYNAS 60  |
| 8. IZMENJIVAČ:                    | ulje-voda   |
| 9. TERMIČKA ZAŠTITA:              | Termo-prekidač podešen na 70°C  |
| 10. Napajanje simulatora probaja: | 9-15VDC   |

## **Mogućnosti primene predloženog tehničkog rešenja:**

Razvijeno tehničko rešenje se može primeniti kako za statičko, tako i za dinamičko testiranje (testiranje na probije i preskoka) najrazličitijih tipova VN jedinica koje se koriste za napajanje elektrodnog sistema elektrostatickih filtara (ESF): VNVF jedinice najrazličitijih topologija (rezonantna, multirezonantna, prekidačka PWM i sl.), VN hibridna (retrofitna) napajanja koja koriste 50Hz-ne transformatore, visokonaponske tiristorske 50Hz-ne napojne jedinice ESF. Pored testiranja ovih tipova VN jedinica razvijeni prototip bi se mogao primeniti za testiranje najrazličitijih tipova ostalih VN jedinica (jonizatori velikih snaga, VN izvori jednosmernog napona, napojne jedinice rentgen aparata, X- spektrometri i svi ostale klase VN uređaja koje su snaga do 100kW. Ovaj prototip bi se mogao prodati na tržištu mnogim laboratorijama koje se bave razvojem pomenutih VN jedinica. Prednosti ovog rešenja se ogledaju u tome da se u laboratorijskim uslovima mogu ispitati VN jedinice, pre montaže i ugradnje na postrojenjima sa realnim eksplotacionim uslovima. Na ovaj način se smanjuje bilo kakva mogućnost otkaza VN napojnih jedinica, njihova demontaža, pa ponovna montaža i sl. Jednom rečju, razvijeni prototip predstavlja jedan realni simulator okruženja VN napojnih jedinica i kao takav bi se mogao prodati na tržištu.

## **NAPOMENE:**

### **A) Prikazano tehničko rešenje je korišćeno u verifikaciji eksperimentalnih rezultata u publikaciji 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](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 na međunarodnoj konferenciji Power Plants 2014 (kategorija M33):**

1. S.N.Vukosavić, Ž.V.Despotović, N.Popov, N.Lepojevic, "ELECTRO-THERMAL TESTING OF HIGH VOLTAGE HIGH FREQUENCY ESP POWER AR70/1000", Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2014", 28-31.October 2014, Zlatibor Serbia, ISBN 978-86-7877-024-1. .

Link: <http://e2014.drustvo-termicara.com/papers/download/90>

### **C) Prikazano tehničko rešenje je u pojedinim svojim delovima publikovano u nacionalnom vodećem časopisu ENERGIJA (kategorija M51):**

Ž.Despotović, S.Vukosavić, N.Lepojević, D.Mihić, "Termička karakterizacija VNVF energetskog pretvarača 100kV/1A za napajanje elektrostatičkih izdvajača", ENERGIJA-ekonomija-ekologija, Vol.3-4, Godina XVII, pp. 289-296, Mart 2015, UDC 620.9, ISSN 0354-8651.

## **LITERATURA:**

- [1] V. Dimić, B. Buha, M. Ilić, IMPULSNO NAPAJANJE I NJEGOVA PRIMENA NA POSTOJEĆIM I NOVOINSTALIRANIM ELEKTROSTATIČKIM IZDVAJAČIMA, Studija br. 21-92-01 Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd, 1990.
- [2] C. Buccella, QUASI-STATIC AND DYNAMICAL COMPUTATION OF V-I CHARACTERISTICS OF A DUST LOADED PULSE-ENERGIZED ELECTROSTATIC PRECIPITATOR, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 35, No. 2, March/April 1999, pp. 366-372
- [3] J. Macan, EKSPLAOTACIONA ISPITIVANJA REGULISANIH ISPRAVLJAČA ZA NAPAJANJE ELEKTROSTATIČKIH OTPRAŠIVAČA, VI simpozijum Energetska elektronika – Ee ‘86, Subotica (YU), jun 1986, pp.382-392.
- [4] Z. Stojiljković, Ž. Despotović, REGULISANI ISPRAVLJAČ ZA NAPAJANJE ELEKTROSTATIČKIH FILTARA, XII simpozijum Energetska elektronika – Ee’03, N.Sad, 5-7 Nov. 2003, Vol. T1-2.1, pp.1-5
- [5] M.Hausmann, N.Grass, B.Piepenbreier, "Power Electronic Modelling and Emulation of an Electrostatic Precipitator"  
[http://www.isesp.org/ICESP%20XII%20PAPERS/pdfs/14\\_thu\\_m/003\\_Hausmann.pdf](http://www.isesp.org/ICESP%20XII%20PAPERS/pdfs/14_thu_m/003_Hausmann.pdf)
- [6] Resistor for HV application - Digikey

<https://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/tt-electronics-welwyn-985/pdf/welwyn-an-resistors-for-hi-voltage.pdf>

[7] <http://www.hivoltcapacitors.com/product-catalogue>

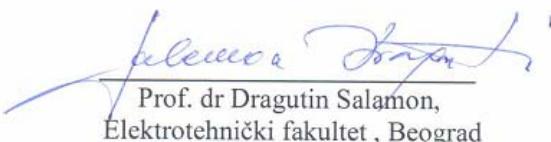
[8] <http://www.int.bg.ac.rs/prototip/datoteke/20134/0204130138021114.pdf>

[9] [http://esp.etf.rs/HFESP\\_2010.pdf](http://esp.etf.rs/HFESP_2010.pdf)

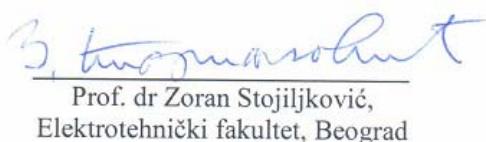
## MIŠLjENJE RECENZENATA

Autori tehničkog rešenja Prof. dr Slobodan Vukosavić, Dr Mladen Terzić, M.Sc. Nikola Popov, M.Sc.Nikola Lepojević i M.Sc. Dragan Mihić, sa Elektrotehničkog fakulteta-Univerziteta u Beogradu, i Dr Željko Despotović iz Instituta Mihajlo Pupin, Univerziteta u Beogradu, su jasno prikazali i obradili kompletну strukturu tehničkog rešenja. Na osnovu svega navedenog u tehničkom rešenju recenzenti su ocenili da tehničko rešenje pod nazivom: "Eksperimentalno postrojenje za visokonaponsko testiranje i hardversku simulaciju realnog okruženja napojnih jedinica elektrostatičkih filtera", predstavlja rezultat koji ima originalni stručni i naučno-istraživački doprinos. Sa zadovoljstvom predlažemo da se opisano tehničko rešenje prihvati kao tehničko rešenje u kategoriji M83 – novo laboratorijsko postrojenje-novo eksperimentalno postrojenje .

Recenzenti:



Prof. dr Dragutin Salamon,  
Elektrotehnički fakultet, Beograd



Prof. dr Zoran Stojiljković,  
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:** *Eksperimentalno postrojenje za visokonaponsko testiranje i hardversku simulaciju realnog okruženja napojnih jedinica elektrostatičkih filtera*

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

**Kategorija tehničkog rešenja:** M(83) – novo laboratorijsko postrojenje-novo eksperimentalno postrojenje

### OBRAZLOŽENJE

Recenzent je utvrdio da je predloženo rešenje urađeno za firmu STEMP, Vidikovački venac 25, Beograd.

**Predloženo rešenje je urađeno:** u periodu januar 2014 – mart 2015. godine.

**Subjekt koji je rešenje prihvatio i primenjuje:** STEMP, Beograd

**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 aerozagadjenja

**Predloženo rešenje se koristi na sledeći način:** Integralni je deo linije za testiranje napojnih jedinica elektrostatičkih filtera u firmi za proizvodnju i testiranje transformatora STEMP-Beograd

**Oblasti na koju se tehničko rešenje odnosi:** energetika, energetska efikasnost, visokonaponska tehnika, i uže oblasti: visokonaponska oprema i energetska elektronika

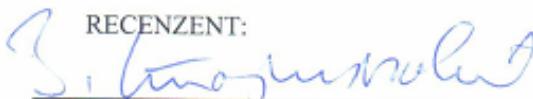
Autori ovog tehničkog rešenja su razvili novo eksperimentalno postrojenje za visokonaponsko (VN) testiranje i hardversku simulaciju realnog RC opterećenja, kakav je elektrodni sistem napojnih jedinica elektrostatičkih filtera. Autori su dali jasno stanje u oblasti, konstatovali da takav tip proizvoda ne postoji na tržištu i detaljno prikazali razvijeno eksperimentalno postrojenje. Rešenje je korišćeno za testiranja pomenutih napojnih jedinica (VN laboratorijski ETF-a i ispitna laboratorijska firma STEMP). Razvijeno rešenje je univerzalno jer se može primeniti za testiranje sile grupe VN napojnih jedinica: 50Hz-nih napajanja, retrofitnih napajanja i visokofrekventnih napajanja elektrostatičkih filtera. Tehničko rešenje je prikazano u sledećim publikacijama:

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.
2. Ž.Despotović, S.Vukosavić, N.Lepojević, D.Mihić, "Termička karakterizacija VNPF energetskog pretvarača 100kV/1A za napajanje elektrostatičkih izdvajača", ENERGIJA-ekonomija-ekologija, Vol.3-4, Godina XVII, pp. 289-296, Mart 2015, UDC 620.9, ISSN 0354-8651.
- 3.S.N.Vukosavić, Ž.V.Despotović, N.Popov, N.Lepojević, "ELECTRO-THERMAL TESTING OF HIGH VOLTAGE HIGH FREQUENCY ESP POWER AR70/1000", Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2014", 28-31.October 2014, Zlatibor Serbia, ISBN 978-86-7877-024-1.

Na osnovu svega navedenog recenzent je ocenio da rezultat naučno istraživačkog rada „Eksperimentalno postrojenje za visokonaponsko testiranje i hardversku simulaciju realnog okruženja napojnih jedinica elektrostatičkih filtera“ predstavlja rezultat u kategoriji M83- novo laboratorijsko, novo eksperimentalno postrojenje i da pored stručnog doprinosa sadrži i originalni naučni doprinos.

U Beogradu 30.11.2015 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:** *Eksperimentalno postrojenje za visokonaponsko testiranje i hardversku simulaciju realnog okruženja napojnih jedinica elektrostatičkih filtera*

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

**Kategorija tehničkog rešenja:** M(83) – novo laboratorijsko postrojenje-novo eksperimentalno postrojenje

### OBRAZLOŽENJE

Recenzent je utvrdio da je predloženo rešenje urađeno za firmu STEMP, Vidikovački venac 25, Beograd.

**Predloženo rešenje je urađeno:** u periodu januar 2014 – mart 2015. godine.

**Subjekt koji je rešenje prihvatio i primenjuje:** STEMP, Beograd

**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 aerozagađenja*

**Predloženo rešenje se koristi na sledeći način:** *Integralni je deo linije za testiranje napojnih jedinica elektrostatičkih filtera u firmi za proizvodnju i testiranje transformatora STEMP-Beograd*

**Oblasti na koju se tehničko rešenje odnosi:** energetika, energetska efikasnost, visokonaponska tehnika, i uže oblasti: visokonaponska oprema i energetska elektronika

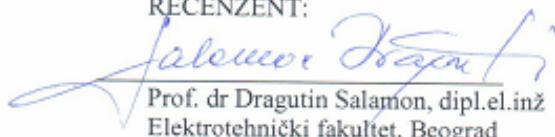
Autori ovog tehničkog rešenja su razvili novi tip eksperimentalnog postrojenja za visokonaponsko testiranje i hardversku simulaciju realnog opterećenja napojnih jedinica elektrostatičkih filtera. Na osnovu detaljnog prikaza stanja u oblasti i konstatacije o nepostojanju takvih uređaja na tržištu, autori su prikazali detaljno tehničko rešenje, kao i prikaze u eksploatacionim uslovima (VN laboratorija ETF-a i ispitna laboratorija firme STEMP, koja je ujedno korisnik tehničkog rešenja. Razvijeno rešenje je univerzalno jer se može koristiti za ispitivanje i testiranje 50Hz-nih napajanja, retrofitnih napajanja i visokofrekventnih napajanja elektrostatičkih filtera. Tehničko rešenje je u pojedinim delovima prikazano u sledećim publikacijama:

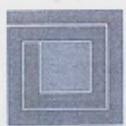
1. Vukosavic S.N, Peric Lj.S, Susic S. D., "A Novel Power Converter Topology for Electrostatic Precipitators", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, vol. 31, br. 1, str. 152-164 , 2015.
2. S.N.Vukosavić, Ž.V.Despotović, N.Popov, N.Lepojević, "ELECTRO-THERMAL TESTING OF HIGH VOLTAGE HIGH FREQUENCY ESP POWER AR70/1000", Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2014", 28-31.October 2014, Zlatibor Serbia, ISBN 978-86-7877-024-1. .
3. Ž.Despotović, S.Vukosavić, N.Lepojević, D.Mihić, "Termička karakterizacija VNPF energetskog pretvarača 100kV/1A za napajanje elektrostatičkih izdvajača", ENERGIJA-ekonomija-ekologija, Vol.3-4, Godina XVII, pp. 289-296, Mart 2015, UDC 620.9, ISSN 0354-8651.

Na osnovu svega navedenog recenzent je ocenio da rezultat naučno istraživačkog rada „*Eksperimentalno postrojenje za visokonaponsko testiranje i hardversku simulaciju realnog okruženja napojnih jedinica elektrostatičkih filtera*“ predstavlja rezultat u kategoriji M83- novo laboratorijsko, novo eksperimentalno postrojenje i da pored stručnog doprinosa sadrži i originalni naučni doprinos.

U Beogradu 30.11.2015 god.

RECENZENT:

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



**STEMP**  
BEOGRAD

SPECIJALIZOVANA ZANATSKA RADNJA ZA PROIZVODNJU I POPRAVKU  
SUVIH TRANSFORMATORA, ELEKTROMAGNETA I PRIGUŠNICA

SOPOT Kneza Milosă 42 ; BEOGRAD Vidikovački venac 25  
TEL/FAX: 011/807-0-458 TEL: 011/233-2-225 MOB.TEL: 064/1213596  
[www.stemp-transformatori.com](http://www.stemp-transformatori.com) email:[stemp.susic@gmail.com](mailto:stemp.susic@gmail.com)

Za: Elektrotehnički fakultet,  
Bulevar Kralja Aleksandra 73, Beograd, 11000  
Institut Mihajlo Pupin,  
Volgina 15, Beograd 11000

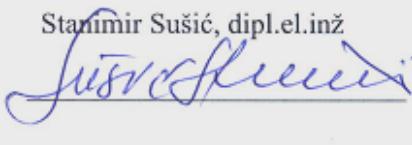
### POTVRDA O KORIŠĆENJU TEHNIČKOG REŠENJA

U periodu januar 2014 - mart 2015. godine, Prof. dr Slobodan Vukosavić, Dr Mladen Terzić, M.Sc. Nikola Popov, M.Sc. Nikola Lepojević i M.Sc. Dragan Mihić, sa Elektrotehničkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu i Dr Željko Despotović, viši naučni saradnik iz Instituta "Mihajlo Pupin", Univerziteta u Beogradu, su za potrebe specijalizovane firme STEMP, Vidikovački venac 25, Beograd razvili eksperimentalno postrojenje za visokonaponsko testiranje i hardversku simulaciju realnog okruženja napojnih jedinica elektrostatičkih filtera, koje uključuju visokonaponski transformator, visokonaponski ispravljač i energetski pretvarač. Razvijeno rešenje je urađeno i u okviru projekta TR33022- "Integrirani sistemi za uklanjanje štetnih sastojaka dima i razvoj tehnologija za realizaciju termoelektrana i energana bez aerozagadjenja", a eksploataciono se koristi, počev od 15. septembra 2015 godine, kao integralni deo ispitne linije za testiranje visokonaponskih napojnih jedinica elektrostatičkih filtera, u firmi STEMP.

U Beogradu 20.11.2015 god

Direktor :

Stanimir Sušić, dipl.el.inž

  
Stanimir Sušić, predunatočnik  
BEOGRAD-SOPOT

ИНСТИТУТ „МИХАЈЛО ПУПИН“ ДОО  
Број: 2884/26-15  
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

**Прихвате се техничко решење под називом:** Експериментално постројење за високонапонско тестирање и хардверску симулацију реалног окружења напојних јединица електростатичких филтара

**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(83) – ново лабораторијско постројење- ново експериментално постројење

**Аутори:** Проф. др Слободан Вукосавић, Др Желько Деспотовић\*, Др Младен Терзић, M.Sc. Никола Попов, M.Sc.Никола Лепојевић, M.Sc.Драган Михић, Електротехнички факултет, Универзитета у Београду, Институт "Михајло Пупин", Универзитета у Београду\*.

**Кратак опис решења:**

Реализовано техничко решење уствари представља експериментално постројење, односно лабораторијски прототип који симулира отпорност и капацитивност електростатичких филтара и сходно томе се користи за тестирање високонапонских јединица које напајају електростатичке филltre. То је у принципу пасивно високонапонско оптерећење са угађеним системом за симулацију прескока, чиме оно добија динамички карактер. Да би се извршило коректно високонапонско тестирање и симулација реалног оптерећења ВН јединица за напајање електростатичких филтара (ЕСФ), нужно је обезбедити

високонапонско РЦ оптерећење (паралелна веза Р и Ц) номиналног напона 100кВДЦ, номиналне једносмерне струје 1A, односно номиналне снаге 100kW, које приближно одговара стварном оптерећењу као што је електродни систем ЕСФ. У тренутку када је реализовано ово техничко решење на светском тржишту није се могао наћи реални хардверски симулатор ЕСФ, перформанси 100kV/1A/ 100kW. Поред захтева за испитивање напојних јединица ЕСФ (пре испоруке у реалне експлоатационе услове), ова мањкавост на светском тржишту је била додатна мотивација аутора да се упuste у реализацију овог техничког решења, стварног (реалног симулатора) ЕСФ са свом пратећом инсталацијом за хлађење и одвођење велике количине развијене топлоте, високо-напонским захтевима, симулацијом пробоја и на крају са ВН мерењима струје и напона.

**Рецензенти:**

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

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



**Достављено:**

- ауторима
- Секретаријату Института