

## TEHNIČKO REŠENJE

### SISTEM ZA TROFAZNO NAPAJANJE I REGULACIJU NAPONA ELEKTROSTATIČKOG FILTERA SNREF-14 NA BLOKU A3 U TE „NIKOLA TESLA A”, OBRENOVAC

**Autori:** Ilija Stevanović, Rajko Prole, Mladen Ostojić, Darko Jevtić, Sava Dobričić, Dušan Arnautović

**Urađeno za :** JP EPS, Ogranak TE“Nikola Tesla“, TENT A

**Korisnik:** TENT A

**Datum realizacije:** 2015. godina

**Rešenje primenjuje:** Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“

**Verifikacija rezultata:** Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“

**Način korišćenja:** Napajanje i upravljanje radom elektrostatičkog filtera bloka A3 u TE „Nikola Tesla A“

#### 1. Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi

Tehničko rešenje se odnosi na razvoj i primenu sistema za napajanje i regulaciju napona elektrostatičkih filtera za prečišćavanje dimnih gasova u elektranama i toplanama koje sagorevaju fosilna goriva.

Sistem za napajanje obezbeđuje visoki jednosmerni napon između elektroda elektrofiltera. Klasični sistem napajanja je jednofazno napajanje iz razvoda 0,4kV. Poslednjih godina intenzivno se radi na unapređenju napajanja elektrofiltera tako da se razvijaju: trofazna napajanja mrežne frekvencije, srednjefrekventna napajanja, visokofrekventna napajanja i impulsna napajanja.

Regulacija kod elektrofiltera podrazumeva upravljanje naponom i strujom u različitim režimima rada elektrofiltera. Pored ovog osnovnog zahteva realizovani su i brojni zahtevi vezani za komunikaciju, automatizaciju rada, detekciju kvarova i opomena kao i mernu opremu.

#### 2. Problem koji se tehničkim rešenjem rešava

Za prečišćavanje industrijskih otpadnih gasova nastalih sagorevanjem čvrstih goriva služe uređaji koji se zovu elektrostatički filteri ili jednostavno elektrofilteri. Oni vrše

izdvajanjem letećeg pepela i sitne prašine raspršene u dimnom gasu postupkom jonizacije čestica i njihovih sakupljanjem na elektrodama odgovarajućeg polariteta. Međutim, postojeće metode izdvajanja letećeg pepela iz dimnog gasa ne zadovoljava savremene ekološke zahteve.

To se prvenstveno odnosi na izdvajanje  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ . Zbog toga se u svetu grade postrojenja za odsumporavanje i denitrifikaciju dimnog gasa. Sastavni deo ovih postrojenja su i elektrostatički filteri koji su u stanju da izdvajaju i čestice sulfata i nitrata nastalih u ovim postrojenjima. Na taj način povećanje efikasnost rada elektrofiltera dobija sve više na značaju.

Klasična jednofazna tiristorska napajanja elektrostatičkog filtra i pored veoma široke primene imaju veoma značajne nedostatke. Ovi nedostaci se ogledaju u nesimetričnim strujama po fazama, malom faktoru snage, malom stepenu iskorišćenje, velikom sadržaju viših harmonika u mrežnom naponu i struji, velikom izobličenju jednosmernog napona i struje i sporom odzivu pri proboju.

Unapređenje napajanja elektrostatičkih filtera se vrši razvojem i primenom napajanja koja rade na frekvencijama većim od mrežne frekvencije. To su srednjefrekventna napajanja (50-1000Hz) i visokofrekventna napajanja (10-50kHz). Obe ove vrste napajanja imaju sličnu koncepciju. Zasnovani su na ispravljačkom stepenu koji formira jednosmerni napon određenog nivoa i inverteru koji obezbeđuje energiju za visokonaponsku transformatorsko-ispravljačku jedinicu. Energetski pretvarački deo je baziran na savremenim IGBT tranzistorima koji imaju zadovoljavajuće strujne i naponske karakteristike za ove potrebe za razliku od klasičnih jednofaznih napajanja baziranim na antiparalelnim tiristorima. Moguće je realizovati različite koncepcije upravljanja ovakvom vrstom napajanja.

Drugi put za poboljšanje napajanja elektrofiltera je razvoj i primena trofaznog napajanja mrežne frekvencije. Kao i kod klasičnih jednofaznih napajanja i u ovom napajanju se koriste tiristori kao regulacioni elementi. Dakle, umesto jednog, upotrebljavaju se tri sklopa antiparalelnih tiristora, po jedan za svaku fazu. Transformatorsko-ispravljačka jedinica je, takođe, trofazna. Magnetno kolo transformatora je napravljeno od lameliranih magnetnih limova. Na ovaj način iskorišćene su prednosti i dugogodišnje iskustvo koje je vezano za komponente jednofaznog napajanja. To se prvenstveno odnosi na tiristore, ispravljački transformator i sam visokonaponski ispravljač. Za očekivati je da se nedostaci jednofaznog napajanja primenom trofaznog znatno ublaže, što bi dovelo do veće energetske efikasnosti elektrofiltera i veće efikasnosti čišćenje dimnog gasa.

### 3. Stanje rešenosti problema u svetu

Ideja za razvojem trofaznog napajanja mrežne frekvencije se pojavila relativno rano. Kod prvih uređaja ove vrste pojavili su se problemi oko brzine reagovanja uređaja pri probojima u elektrofilteru, a posebno pri pojavi električnih lukova. Poteškoću su predstavljali i nešto veće dimenzije i težina transformatorsko-ispravljačke jedinice.

Poslednjih godina se zbog potrebe za smanjenjem emisije čvrstih čestica pri sagorevanju fosilnih goriva intenzivno vrši rekonstrukcija postojećih elektrofiltera. Pri ovoj rekonstrukciji povećavaju se ukupne dimenzije postrojenja, konstrukcija je znatno jača, a veće su i dimenzije krova na koji se T/R jedinice postavljaju.

Savremeni regulatori su zasnovani na mikrokontrolerima koji se odlikuju velikom brzinom rada i u stanju su da obrade i arhiviraju veliku količinu podataka.

To je dovelo do ponovnog intenziviranja istraživanja i razvoja ovih uređaja, posebno u Evropi. Danas imamo određen broj svetskih proizvođača opreme, doduše relativno mali, kao što su "Rico" i "Kraft" u čijem proizvodnom programu se nalaze i uređaji za trofazno napajanje elektrofiltera. U domaćoj privredi pri rekonstrukciji elektrofiltera na bloku B1 u TE "Nikola Tesla B" ugrađene su trofazne jedinice na ulaznim sekcijama.

#### **4. Suština tehničkog rešenja**

Razvijen je, napravljen, ispitan i pušten u rad uređaj (upravljački orman) sa energetsom opremom (tiristorski regulisani naizmjenični pretvarač), opremom za regulaciju (mikroprocesorski regulator), upravljanje, zaštitu, merenje i signalizaciju koji omogućava trofazno napajanje pojedinih sekcija elektrofiltera. Takođe je, projektovan, napravljen i ispitan odgovarajući trofazni ispravljački transformator i visokonaponski neupravljivi ispravljač.

Zahvaljujući razvoju ovih pojedinačnih uređaja formiran je sistem za napajanje i regulaciju napona elektrostatičkog filtera koji je primenjen na bloku A3 u TE "Nikola Tesla A". Ovo je prvi uređaj ove vrste domaće proizvodnje.

#### **5. Detaljan opis tehničkog rešenja**

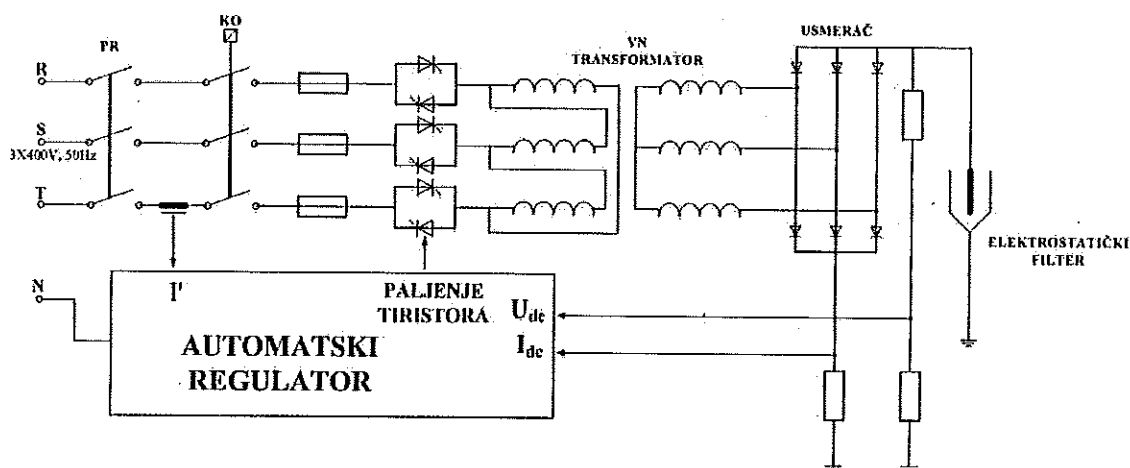
##### **1. Blok šema sistema**

Napajanje 3x400V, 50 Hz je dovedeno na trofazni antiparalelni spoj tiristora, koji su fazno kontrolisani i napajaju primar trofaznog visokonaponskog ispravljačkog transformatora. Napajanje je ostvareno preko ulaznog prekidača sa zaštitom, kontaktora za komandovanje radom i ultrabrzih osigurača za zaštitu tiristora.

Primarni napon se meri sa naponskim transformatorima 400/10V/V i u obliku +-10V je odvedeno na DSP karticu. Primarna struja je merena strujnim transformatorima 300/1A i dodatnim transformatorima 1A/0.01A i u obliku napona +-10V odvedeno na DSP karticu.

Sekundar transformatora je spojen na diodni VN usmerač. Transformator, VN usmerač i VN otpornik za merenje izlaznog napona, smešteni su u zajednički sud u ulju.

Pozitivni pol usmerača je, preko shunt otpornika od 2.7Ω (za merenje DC struje) spojen za pozitivnu, uzemljenu, elektrodu elektrofiltera.



Slika 1. Blok dijagram trofaznog napajanja i regulacije elektrofiltera.

Negativni pol usmerača spojen je za negativnu elektrodu filtra. Napon negativne elektrode se meri pomoću VN otpornika od 100M $\Omega$  koji, sa otporom od 6.8K $\Omega$  čini razdelnik napona. Signal dobijen na razdelniku napona je preko elektronskog prilagođenja doveden na DSP karticu u obliku 0-10V. Tu se ovaj signal transformiše i u oblik 0-2,5V kojim se napaja instrument na ormanu regulatora.

$I_{dc}$ , struja merena shunt otpornikom u "+" polu usmerača je preko elektronskog prilagođenja dovedena na DSP karticu u obliku 0-10V. Tu se ovaj signal transformiše i u oblik 0-2,5V kojim se napaja instrument na ormanu regulatora.

## 2. Funkcionalni opis

### 2.1. Upravljanje naponom i strujom

Postoje četiri režima rada:

#### 2.1.1. Kontinualni rad (detekcija korone):

Napon se u početku ubrzano uvećava do određene vrednosti, na kojoj se zadržava u vremenu stabilizacije, posle čega se sporije približava limitu kako bi se ostvario što veći napon bez proboja. U slučaju pojave varnice vrši se smanjivanje napona, suzbijanje varnice, kako bi se izbegla pojava luka. Pojava luka dovodi do mnogo većeg smanjivanja napona u odnosu na varnicu, na kojoj se napon zadržava u vremenu smirenja posle kojeg počinje ponovo da raste.

U slučaju pojave povratne korone parametri regulatora se smanje na vrednost pri kojoj nema smanjenja napona filtera pri povećavanju struje.

Lista parametara za ovaj mod regulacije:

- vrednosti parametara (+dU/dt), za porast napona
- vrednost parametra(-dU/dt), za smanjenje napona
- suzbijanje varnice
- vreme redukcije parametara pri varnici

- vrednost napona do koje se brzo povećava napon
- vreme stabilizacije
- vreme smirenja

#### 2.1.2. Intermitentni rad:

Intermitentni rad se odvija u režimu regulacije struje. U intermitentnom radu tiristori vode u vremenu označenom kao vreme vođenja nakon čega sledi vreme pauze kada je struja jednaka nuli. Posle pauze vrši se brz povratak na vrednost pre pauze sa podesivim brojem koraka povrataka.

Parametri za podešavanje su:

- $T_{on}$  - trajanje vođenja,
- $T_{off}$  - trajanje intervala sa nultom strujom,
- $R_{pov}$  - vrednost povrataka
- $n$  - broj koraka povrataka

Ukupan broj poluperioda uvek je paran, kako bi se postigla simetrija rada transformatora.

#### 2.1.3. Ručni režim rada:

Vrednosti struje i napona filtera se postavljaju ručno, preko tastature, tako što se podešava vrednost reference na koju se regulator odaziva.

Parametri za podešavanje su:

- vrednost reference

#### 2.1.4. Test režim rada:

Vrednosti struje i napona filtera se postavljaju ručno, preko tastature, tako što se direktno podešava vrednost ugla vođenja tiristora.

Parametri za podešavanje su:

- vrednost ugla vođenja

### 2.2. Redukcija napona pri otresanju elektroda

U toku otresanja elektroda vrši se smanjenje napona elektrofiltera, odnosno struje korone za podešenu vrednost. Stanje uključenosti otresača se detektuje preko odgovarajućeg digitalnog ulaza.

### 2.3. Regulacija po broju proboja u minuti

U zavisnosti od broja proboja u minuti menja se promena reference po kojoj se povećavaju parametri regulatora.

## 2.4. Parametriranje i komunikacija (alfanumerička tastatura)

Displej LCD sa 20x4 karaktera i tastatura sa 8 tastera je na raspolaganju, skupa sa softverskom podrškom (menu) za izmenu parametara, pozive funkcija, ispitivanja, konfigurisanje itd.

Tastatura i displej su povezani sa DSP pločom neizolovano, preko flet kabla. Oni se nalaze na prednjim vratima.

## 3. Definisane I/O upravljačke DSP kartice

### Displaj i tastatura:

Ukupno 15 pinova i 2 pina za napajanje se koriste za povezivanje.

### Serijska veza:

Na ivici DSP kartice, sa prednje strane je ugrađen DB9 ženski konektor na kome su raspoloživi signali potrebni za programiranje DSP-a preko serijske veze iz PC računara.

Na svakom od uređaja je, takođe, ugrađen modul za izolovanu RS485 serijsku vezu sa MAX1480/90 izolatorom za povezivanje nadređenog računara.

### Digitalni ulazi:

Signali koji definišu stanje uključenosti opreme. Čitaju se preko optokaplernih ulaza napajanih sa 24VDC. U DSP modul ulaze kao naponski signal od 5VDC.

### Analogni ulazi:

Svi signali su u formatu čija vršna vrednost ne prelazi +/- 10V.

### Digitalni izlazi:

Signali za uključenje opreme. Iz DSP modula izlaze kao naponski signali od 5VDC. Ovaj signal se vodi u tranzistorski drajver sa otvorenim emiterom koji uključuje odgovarajući relej.

### PWM izlazi

Generiše se šest signala za okidanje tiristora. Maksimalna širina im je 1 ms. Signali su sa češljem, 50% duty cycle, 16 kHz učestanost. Opterećenje je manje od 10mA, signal je active - HI, +5V.

## 4. Softver i hardver regulatora

Regulator napona i struje elektrofila se sastoji od elektronske osnovne ploče i DSP modula.

Na osnovnoj ploči se nalaze optokaplerni digitalni ulazi, tranzistorski drajveri za digitalne izlaze, analogni pretvarači, blok za upravljanje tiristorima i blok za komunikaciju.

DSP modul je 96-pinskim konektorom povezan sa osnovnom pločom. Na njemu se nalaze svi neophodni ulazni konvertori koji digitalne signale od 5V pretvaraju u 3,3V, a analogne

signale od +/-10V takodje, u 0-3,3V. Mikroprocesor obrađuje primljene signale i na osnovu algoritma upravljanja realizovanog u softveru generiše odgovarajući signal za upravljanje tiristorima.

## 5. Mehanički aspekti

Svi uređaji se nalaze u istoj prostoriji i smešteni su jedan do drugog. Uređaji imaju zajedničko uzemljenje koje omogućuje da se RS485 serijska veza realizuje bez optičke ili galvanske izolacije.

Komunikacija sa upravljačkom sobom, koja je udaljena oko 100m, obavlja se preko serijske RS485 veze standardnim MODBUS protokolom do PLC ormara koji šalje signale do SCADA-e. Ovaj čvor RS485 veze mora biti galvanski izolovan za 1 kV.

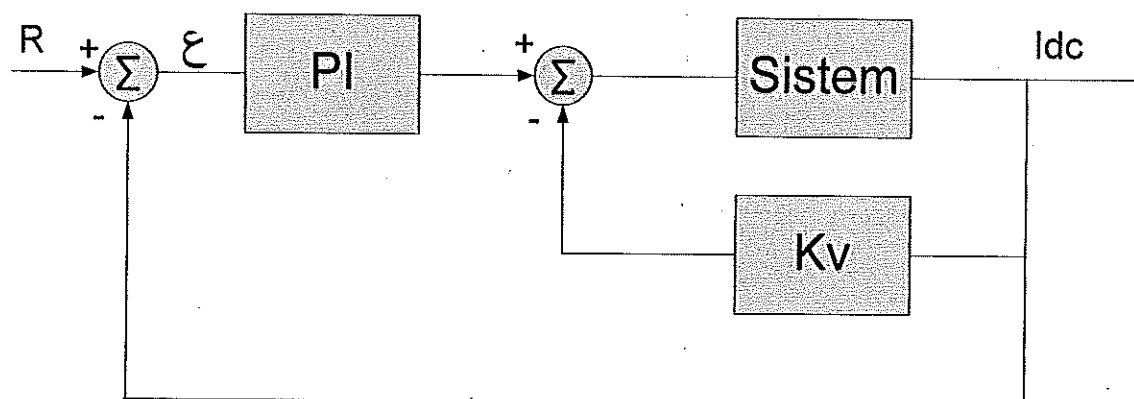
## 6. Regulator napona i struje elektrofiltera REF-14

Osnovna uloga ovog uređaja je regulacija napona i struje elektrofiltera. Upravljačka veličina se održava promenom ugla vođenja tiristora koja se dobija kao rezultat primene PI upravljačkog algoritma na svakih 3.33ms. ovom vremenskom intervalu, u zavisnosti od stanja u filteru, se zadaje nova vrednost reference na koju se regulator odaziva postavljajući novi ugao vođenja. Promena ugla vođenja omogućava da se parametri filtera postepeno povećavaju do svojih ograničenja kako bi se postigao što veći napon filtera koji je manji od probojnog napona ili da se ti parametri smanje kada je to potrebno. Pri pojavi probojnog napona ugao vođenja se naglo promeni tako da omogući smanjivanje parametara filtera posle čega se ponovo postepeno povećavaju parametri do novog proboja. U tom smislu, ovaj uređaj ima mogućnost detekcije proboja, luka, ali i mogućnost detekcije varnice kao pojave koja prethodi pojavi luka. Kada se varnica pojavi regulator će delimično spustiti parametre filtera kako bi se izbegla eventualna pojava luka dok se kod pojave luka parametri filtera drastično smanje.

Druga važna osobina je ispitivanje stanja pojedinih signala kao što su kvarovi i opomene. Stanja kvarova su jako bitna za rad filtera. Ako su ova stanja nedozvoljena sekcija se ne može uključiti u rad ili, sekcija će se isključiti ako je u radu i dođe do pojave kvara. Stanja opomena nisu uslov za uključenje sekcije ali predstavljaju bitnu informaciju o pojedinim elementima sistema.

Uređaj može raditi u četiri različita moda rada. To su test mod, ručni mod, kontinualni mod i intermitentni mod rada. Svaki režim rada zahteva i podešavanje odgovarajućih parametara.

Takođe, omogućena je i komunikacija sa nadzornim sistemom, SCADA, radi nadzora i upravljanja regulatorom filtera. Komunikacija je realizovana pomoću MODBUS protokola sa podržanim funkcijama za čitanje željenih vrednosti i daljinske komande. Takođe, ka SCADA-i se prosleđuje odgovarajući odgovor u slučaju mogućih grešaka prilikom prozivanja neke od sekcija kao što je: pogrešan zahtev, previše zahtevanih registara za čitanje, pogrešna početna adresa, itd.



Slika 2. Šema regulatora elektrofiltera

Pored ovih, najbitnijih osobina filtera, uređaj može izvršavati i sporedne funkcije kao što su: redukcija napona pri otresanju, optimizacija potrošnje, regulacija po broju proboja u minuti, prikaz odgovarajućih merenja, detekcija povratne korone. Neke od ovih funkcija kao što je prikaz merenja predstavljaju sastavni deo rada uređaja bez obzira kakvo je stanje u sistemu dok se neke funkcije moraju uključiti posebno.

Ugao vođenja tiristora je rezultat primene modifikovanog PI upravljačkog algoritma čija je šema prikazana na slici 2. Modifikacija u odnosu na standardni PI algoritam se odnosi na dodatnu lokalnu povratnu spregu. Povratna sprega je zatvorena po struji sekundara.

Na ovaj način je obezbeđena stabilizacija odziva u oblasti kada mala promena upravljačke veličine dovodi do znatnog porasta odziva. Takođe, postiže se i bolji uticaj ulazne veličine, reference, na izlaz sistema, struju sekundara, u trenutcima kada treba redukovati parametre sistema.

Ovaj regulator je mikroprocesorski namenjen za trofazno napajanje elektrofiltera. Regulator upravlja trofaznim tiristorskim pretvaračem na čije gejtove se dovode impulsi u trajanju od 1ms učestanosti 16kHz. Ovim upravljačkim signalom u obliku češlja se obezbeđuje sigurno uključivanje tiristora. Regulator uključuje tiristore po redosledu faza pri čemu se faza R uzima kao faza u odnosu na koju se određuje i sinhronizacija.

Pri uključivanju sekcije referenca se postepeno diže do vrednosti koja se obeležava kao stabilizacija reference. Na toj vrednosti se zatim zadržava u vremenu stabilizacije koliko je potrebno da se i odziv, struja sekundara, postavi na vrednost koja odgovara referenci ako već nije na toj vrednosti. Do ove vrednosti se stiže tako što se reference povećava u koracima koji su označeni kao brza promena reference. Posle toga, referenca, a samim tim i struja, se podižu znatno sporije, brzinom koja je označena kao spora promena reference. Vrednosti se povećavaju do ograničenja ako ne dođe do proboja. Postoje dve vrste proboja, i to su varnica i luk.



## Osnovne karakteristike automatike elektrofiltera

- Nominalni napon napajanja 3x400V
- Nominalna frekvencija napona napajanja 50Hz
- Nominalna naizmjenična struja 190A i 227A
- Maksimalna vrednost jedn. napona elektrofiltera u praznom hodu 95 kVp i 125kVp
- Maksimalna vredn. jedn. napona elektrofiltera pri opterećenju 80 kVp i 100kVp
- Srednja vrednost jedn. napona elektrofiltera pri opterećenju 75 kV i 90kV
- Nominalna jednosmerna struja elektrofiltera 1400mA i 1250mA
- Prenosni odnos strujnog mernog transformatora 300/1A/A
- Prenosni odnos naponskog mernog transformatora 400/10V/V
- Opseg merenja jednosmernog napona elektrofiltera 0 – 125 kV
- Opseg merenja jednosmerne struje elektrofiltera 0-1400mA i 0-1250mA
- Opseg merenja analognih ulaza 4 – 20mA
- Karakteristike digitalnih ulaza relejni, 5A, 230V
- Karakteristike digitalnih izlaza relejni, 5A, 230V
- Karakteristike PWM izlaza iz regulatora  
češalj, 50% duty cycle, 16kHz, 10mA, active - HI, +5V
- Broj raspoloživih analognih ulaza u regulatoru 16
- Broj raspoloživih digitalnih ulaza u regulatoru 20
- Broj raspoloživih digitalnih izlaza iz regulatora 8
- Broj PWM izlaza iz regulatora 6
- Serijska komunikacija RS485
- Protokol za komunikaciju MODBUS
- Vizualizacija: lokalna LCD displej 20x4 karaktera, tastatura sa 8 tastera  
daljinska ekran na SCADI
- Vrsta upravljanja lokalno/daljinski
- Napon upravljanja 24VDC
- Režimi rada automatskog regulatora kontinualni, intermitentni, ručni, test
- Osnovna funkcija: regulacija napona i struje elektrofiltera
- Ograničavači: DC napona, DC struje i AC struje
- Dodatne funkcije: sniženje napona pri radu motora otresača,  
merenje aktivne snage, napona i struja  
prikazivanje broja proboja u minuti,  
regulacija broja proboja u minuti,  
detekcija povratne korone,  
redukcija parametara pri pokretanju
- Realizacija energetskeg sklopa antiparalelni tiristori W3C
- Zaštite energetskeg sklopa RC i temperaturna
- Vrsta hlađenja prirodno vazdušno
- Temperatura okoline +35°C

## 7. Zaključak

U zavisnosti od vrste napajanja primenjenog na elektrostatičkom filteru mogu se dobiti različite srednje i vršne vrednosti jednosmernog napona neophodne za efikasan rad postrojenja.

Klasična jednofazna tiristorska napajanja, zbog velike talasnosti jednosmernog napona i struje ostvaruju velike vršne vrednosti napona pri zahtevanoj srednjoj vrednosti jednosmerne struje.

Trofazna tiristorska napajanja imaju malu talasnost pa se zbog toga vršna i srednja vrednost jednosmernih veličina veoma malo razlikuju. Zahvaljujući tome pri zadatoj gustini struje između elektroda, kod trofaznog napajanja se postižu znatno niže vrednosti vršnog napona. U suprotnom slučaju, ako se želi postići veći vršni napon, potrebno je značajno povećati struju elektrofiltera.

Pomoću trofaznog napajanja ostvareno je simetrično napajanje iz mreže, smanjen je sadržaj viših harmonika u naponu napajanja, povećan je faktor snage i povećana efikasnost rada elektrofiltera u odnosu na klasična jednofazna napajanja.

Realizovani uređaj je primenjen na elektrofilterskom postrojenju bloka A3 u TE „Nikola Tesla A“.

## **ИЗЈАВА**

Овом изјавом потврђујемо да је Електротехнички институт „Никола Тесла“ закључно са 2015. годином развио, израдио и пустио у рад

### **Високонапонски трофазни исправљач за електростатички филтер блока А3 у ТЕ “Никола Тесла А”, Обреновац,**

Изјава се даје искључиво за потребе пријаве техничког решења у оквиру пројекта Интегралних и интердисциплинарних истраживања под насловом „Смањење аерозагађења из термоелектрана у ЈП Електропривреда Србије”, чији је евиденциони број пројекта III42010 код Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У Обреновцу, 27.11.2015. године

**ЈП ЕПС, Огранак ТЕНТ**  
**Директор за производњу енергије**

Саво Безмаревих, дипл. инж.

## IZVEŠTAJ RECENZENTA

Predloženo je tehničko rešenje

### **Sistem za trofazno napajanje i regulaciju napona elektrostatičkog filtera SNREF-14 na bloku A3 u TE "Nikola Tesla A", Obrenovac**

autora Ilije Stevanovića, Rajka Prola, Mladena Ostojića, Darka Jevtića, Save Dobričića i Dušana Arnautovića.

U predlogu tehničkog rešenja je dat tehnički opis uređaja za trofazno napajanje elektrofiltera na bloku A3 u TE „Nikola Tesla A“ koji je ugrađen u ovaj elektrofilter prilikom rekonstrukcije elektrofilterskog postrojenja. Ova vrsta uređaja sa trofaznim napajanjem je prvi put razvijena, napravljena i puštena u rad od strane domaćeg proizvođača opreme.


U tehničkom opisu je dat strukturni blok dijagram sistema, tehničke karakteristike uređaja, opis funkcija i parametara za podešenje. Na kraju su navedene prednosti ove vrste napajanja elektrofiltera u odnosu na klasična jednofazna napajanja. One se ogledaju u sledećem: Pomoću trofaznog napajanja ostvareno je simetrično napajanje iz mreže, smanjen je sadržaj viših harmonika u naponu napajanja, povećan je faktor snage i povećana efikasnost rada elektrofiltera u odnosu na klasična jednofazna napajanja.

Regulator elektrofiltera pored osnovne funkcije koja se zasniva na održavanju struje i napona elektrofiltera na vrednostima bliskim nominalnim kontroliše i reguliše broj proboja što je veoma važno jer ova pojava negativno utiče na celokupnu energetska opremu posebno na elektrodni sistem i visokonaponski transformator. Intermitentni režim rada elektrofiltera u kome postoje pauze u vođenju tiristora sprečava nagomilavanje čestica na taložnim elektrodama i ostvaruje znatnu uštedu električne energije.

Kratak opis različitih vrsta napajanja elektrofiltera koji je naveden u predlogu tehničkog rešenja upućuje na moguće pravce istraživanja kada se radi o napajanju elektrofiltera. Trofazno napajanje sa svojim karakteristikama sasvim dobro može da konkuriše najsavremenijim visokofrekventnim sistemima napajanja, ali ima i dodatne prednosti. Prednost mu je što koristi pouzdane komponente čiji kvalitet i izdržljivost su dokazani u toku eksploatacije sličnih jednofaznih uređaja. Ovaj uređaj je kroz praktičnu realizaciju u privredi pokazao svoju tehničku i ekonomsku opravdanost.

Predloženo tehničko rešenje može se kategorisati kao „novi proizvod ili tehnologija uvedeni u proizvodnju“.

U Beogradu, 27.11.2015. god.

Recenzent:  
  
Dr Tomislav Šekafa, vanr. prof.

## IZVEŠTAJ RECENZENTA

Predloženo je tehničko rešenje

### **Sistem za trofazno napajanje i regulaciju napona elektrostatičkog filtera SNREF-14 na bloku A3 u TE "Nikola Tesla A", Obrenovac**

autora Ilije Stevanovića, Rajka Prole, Mladena Ostojića, Slobodana Josifovića, Darka Jevtića, Save Dobričića i Dušana Arnautovića

Tehničko rešenje „Sistem za trofazno napajanje i regulaciju napona elektrostatičkog filtera SNREF-14 na bloku A3 u TE "Nikola Tesla A", Obrenovac razvijeno u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla“ se može svrstati u kategoriju „novi proizvod ili tehnologija uvedeni u proizvodnju“. U realizaciji projekta učestvovali su mr. Ilije Stevanović, dipl.inž., Rajko Prole, dipl. inž. Mladen Ostojić, dipl.inž. Sava Dobričić, dipl. inž. Darko Jevtić, dipl. inž. i dr Dušan Arnautović, dipl. inž.

U okviru projekta zamene starog elektrofilterskog postrojenja na bloku A3 u TE „Nikola Tesla A“ pojavila se potreba za ugradnjom nove opreme za napajanje i regulaciju napona elektrofiltera. Projektant je predvideo da navedena oprema bude u skladu sa savremenim tendencijama koje zahtevaju primenu naprednih tehnologija i metoda za napajanje ovih uređaja. Odabrano je da se koristi trofazno napajanje sa kontinualnom i intermitentnom regulacijom. Posao je poveren Elektrotehničkom institutu Nikola Tesla pa je iz toga i proizašao ovaj predlog tehničkog rešenja. Prvi uređaj ove vrste u Elektroprivredi Srbije isporučen od strane poznatog svetskog proizvođača „Rico“ ugrađen je 2012. godine na ulaznim sekcijama elektrofiltera na bloku B1 u TE „Nikola Tesla B“. Dakle, ovo tehničko rešenje predstavlja prvi domaći uređaj ove vrste koji je razvijen, proizveden i pušten u rad u domaćoj privredi.


Prednosti primene ove vrste napajanja elektrofiltera (trofazno) u odnosu na klasična dvofazna napajanja su: simetrično opterećenje mreže, smanjen sadržaj viših harmonika u naponu napajanja, veći faktor snage, manje opterećenje po fazama pa se mogu koristiti kablovi manjeg preseka. Ispravljeni jednosmerni napon je značajno manje talasnosti što omogućava veću proizvodnju naelektrisanja između elektroda. Na taj način ostvarena je veća efikasnost izdvajanja čestica pepela iz dimnog gasu u elektrofilteru.

U regulatoru su primenjeni savremeni algoritmi upravljanja naponom i strujom elektrofiltera, kao što su kontinualni i intermitentni. Zahvaljujući korišćenju robustnog mikrokontrolera, pomoću koga je moguće u jako kratkom vremenskom intervalu izvršavati složene matematičke operacije, omogućeno je brzo detektovanje varnice i redukcija parametara filtera čime se sprečava nastanak električnog luka. Pored toga, realizovane su i sledeće funkcije: detekcija povratne korone, realizacija generatora reference, limitera primarnih i sekundarnih parametara, obezbeđenje odgovarajućih zaštita i nadzora nad radom elektrostatičkog filtera.

Prilikom razvoja predmetnog tehničkog rešenja dati su doprinosi u rešavanju sledećih problema: upravljanje industrijskim procesorima pomoću mikrokontrolera, realizacija komunikacije sa nadređenim sistemom upravljanja i nadzora, projektovanje i dimenzionisanje energetske opreme, upravljanje energetskim pretvaračima, projektovanje, realizacija i podešavanje električnih zaštita sa odgovarajućom signalizacijom i delovanjem.

U Beogradu, 27.11.2015.

Recenzent:

  
Dr Ninel Čukalevski, dipl. inž.