

# TEHNIČKO REŠENJE

## Rekonstrukcija upravljačkih sekcija elektrostatičkog filtera na bloku A3 u TE „Kolubara A“

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

**Urađeno za :** Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“

**Korisnik:** TE „Kolubara A“

**Datum realizacije:** 2012

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

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

**Način korišćenja:** Upravljanje radom elektrostatičkog filtera bloka A3 u TE „Kolubara A“ zasniva se na regulaciji napona i struje elektrofiltera koja je ostvarena upotrebom savremenih mikrokontrolera.

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

- Sistemi za napajanje i regulaciju elektrostatičkih filtera

Regulacija rada elektrofiltera podrazumeva upravljanje naponom i strujom u različitim režimima rada filtera. 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

Potreba za usavršavanjem uređaja koji se upotrebljavaju u radu elektrostatičkog filtera zbog efikasnijeg izdvajanja čestica pepela nameće kompleksne zahteve.

Jednu grupu čine zahtevi koji se odnose na tehničke karakteristike opreme, broj funkcija, fleksibilnost u smislu proširanja novim funkcijama, novim digitalnim ili analognim ulazima i izlazima i sl.

Drugu grupu čine zahtevi da uređaji budu maksimalno korisnički orjentisani: lako manipulisanje uređajem, mogućnosti povezivanja uređaja (komunikacije) sa različitom opremom i različitim nivoima upravljanja, jednostavna promena parametara, konfiguracije, automatsko arhiviranje pojedinih događaja, pregled arhiva, izgled uređaja, vizuelizacija procesa i sl.

Treću grupu čine ekonomski zahtevi: cena, kreditiranje, rokovi isporuke i ispunjavanje uslova različitih sistema kvaliteta i posedovanje odgovarajućih međunarodnih sertifikata.

U ovakvim uslovima proizvođači uređaja u energetici su često primorani da koriste industrijski gotove komponente za napajanje, galvansku izolaciju, merenje (različiti pretvarači snage stuje, napona, frekvencije i dr.), regulaciju i upravljanje (mikrokontroleri). Serijska proizvodnja ovih komponenti učinila ih je nezaobilaznim ne samo po ceni, kvalitetu već i zbog posedovanja odgovarajućih sertifikata iz sistema kvaliteta na kojima naručioci uređaja sve češće insistiraju.

Mikroprocesorski uređaji (digitalni signal procesori) su dosta fleksibilni za projektovanje i po brzini rada dominantni u odnosu na druge uređaje. Današnji mikroprocesori čiji je osnovni takt preko 300MHz su pouzdani u radu u energetici i obavljaju veliki broj operacija u veoma kratkom vremenu. Iz tog razloga je za upravljanje radom elektrofiltera upotrebljen mikroprocesor koji pored regulacije osnovnih parametara filtera omogućava i detekciju varnice i luka, odradu limitera i zaštita, komunikaciju sa nadređenim sistemom kao i niz drugih operacija koristeći brojne digitalne ulaze i izlaze.

### **3. Stanje rešenosti problema u svetu**

Elektrostatički filteri (izdvajači) se dugo upotrebljavaju u termoelektranama i drugim industrijskim postrojenjima gde se sagoreva uglj. Leteći pepeo koji se stvara sagorevanjem uglja mora biti odstranjen i sveden na minimalni nivo. Upotrebom ovakvih filtera širom sveta izdvaja se preko 99,9% pepela.

### **4. Suština tehničkog rešenja**

Na osnovu savremenih saznanja o algoritmima upravljanja radom elektrostatičkih filtera izvršena je rekonstrukcija upravljačkih jedinica čime su obuhvaćeni postavljeni zahtevi. Rekonstrukcija je pored provere i zamene hardverskih komponenti obuhvatila i razvoj softvera koji je lak za upotrebu sa mogućnošću nadogradnje.

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

Rekonstrukcija upravljačkih jedinica je izvršena zbog velike emisije čestica dimnog gasa na elektrostatičkom filteru bloka A3 u TE „Kolubara“. Prvo je bilo potrebno izvršiti analizu postojećeg stanja elektrofiltera, uočiti mogućnosti zamene upravljačkih jedinica čime će se ostvariti parametri filtera koji će dovesti do smanjenja emisije čestica dimnog gasa.

#### **Opis stanja postojećeg elektrofiltera na bloku A3**

Elektrostatički filter na bloku A3 u TE „Kolubara“ je proizveden 1974. godine. U toku dugogodišnje eksploatacije bio je izložen velikim opterećenjima koji su posledica izdvajanja velike količine pepela i promenjivih karakteristika dimnog gasa koje su se svakako javljale pri različitim režimima rada parnih kotlova.

Takođe, njegov uobičajeni normalni rad karakteriše pojava čestih električnih proboja i kratkih spojeva između elektroda koje su dovodile do njihovih oštećenja. Neke od ovih elektroda su zamenjene novim elektrodama u vreme remonata, a neke su potpuno izbačene iz elektrofiltera i na njihovo mesto nisu postavljene druge elektrode. To je dovelo do slabljenja moći izdvajanja pepela samog elektrodnog sistema.

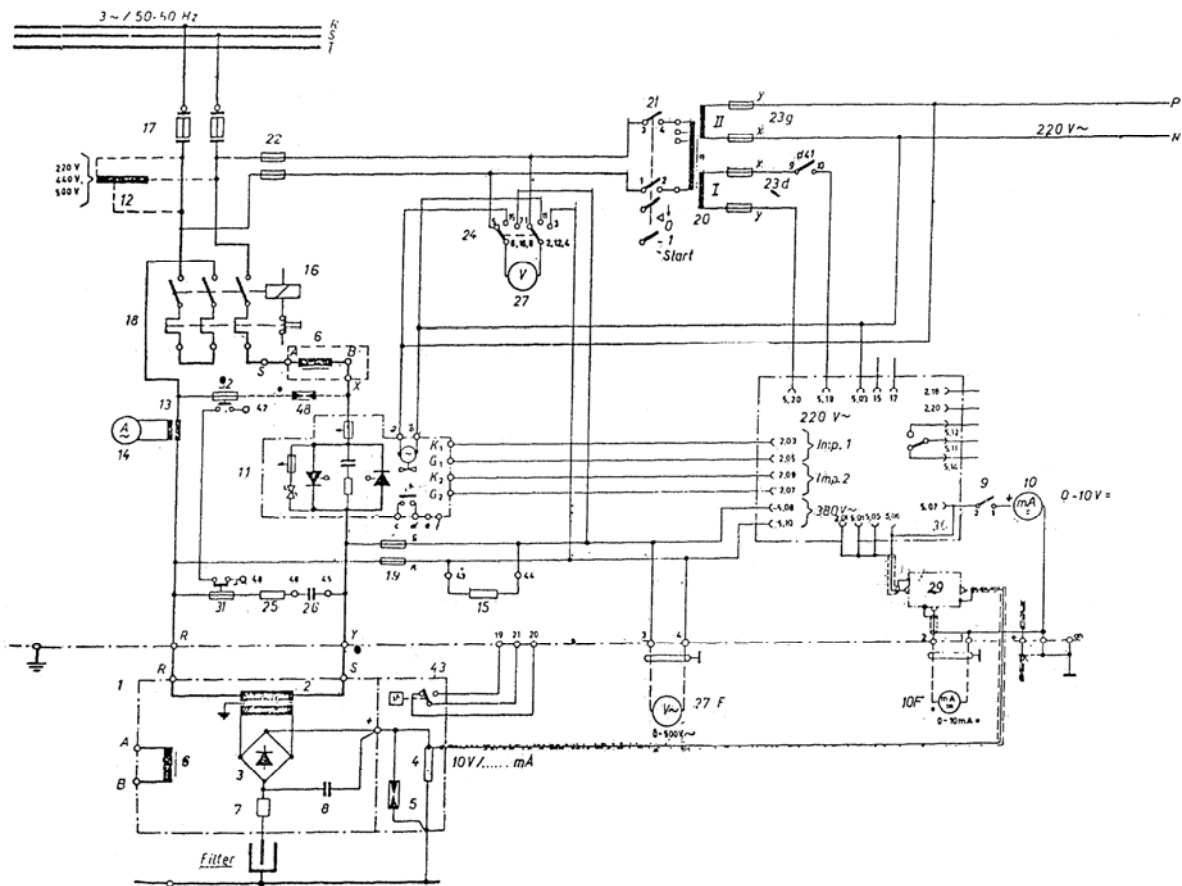
Raspored strujanja gasa i njegova brzina su od velikog značaja za pravilan rad svakog elektrofiltera tako da postoji opravdana sumnja da ovaj filter ima velikih nedostataka i po ovom pitanju. Na ulazu dimnog gasa u elektrofilter nalaze se metalne ploče (klapne) koje služe za

preraspodelu gasa kroz elektrodni sistem. Usled dugogodišnjeg rada, ploče se, u struji dimnog gasa bogatoj česticama pepela, znatno oštete i izgube svoju prvobitnu funkciju. Posledica toga je prolazak dimnog gasa kroz manju površinu elektroda u elektrofilteru i uz veću brzinu što dovodi do slabije efikasnosti rada elektrofiltera.

Režim vođenja kotla, ulazna temperatura i vlažnost gasa, razna prodivavanja koja mogu da se jave u kotlu i elektrofilteru, takođe, utiču na stepen izdvajanja pepela u elektrofilteru. To je naročito bio slučaj u prethodnim godinama kada je kompletna termoenergetska i regulaciona oprema bila u lošem stanju. Prethodne godine izvršene su značajne intervencije na energetskej opremi, a kompletan sistem regulacije, upravljanja i nadzora termoblokom je zamenjen novim sistemom. Dakle, stvoreni su uslovi da se i u ovom domenu postignu i održavaju znatno povoljniji parametri.

Svi ovi uslovi uticali su i na stanje elektroopreme u elektrofilteru. Mnogobrojni kratki spojevi i proboji u elektrodama doprineli su smanjenju životnog veka visokonaponskih transformatora. Iako su ovi transformatori još u funkciji, njihov preostali životni vek je sigurno ograničen.

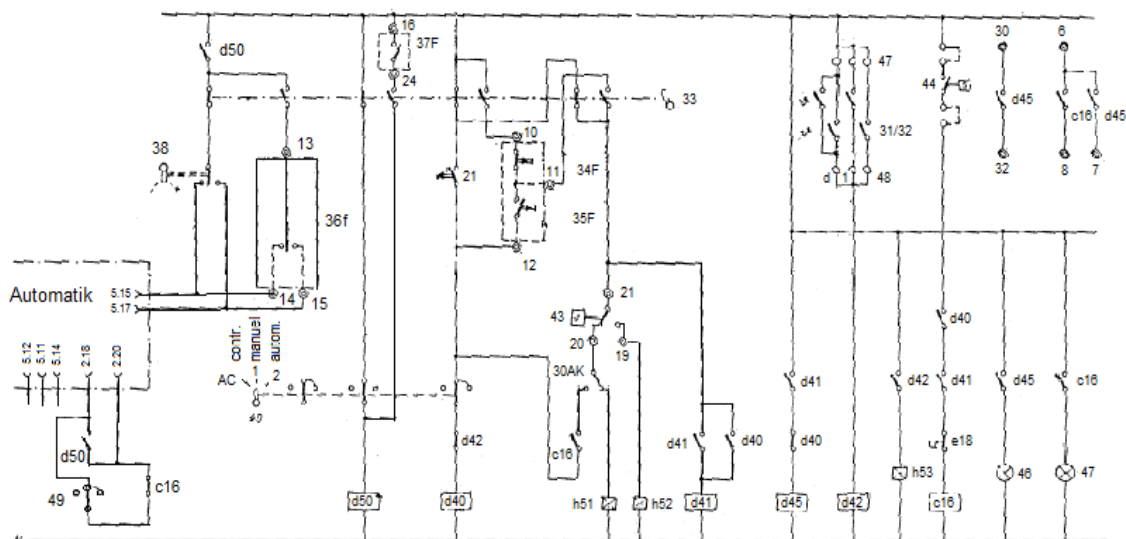
U upravljačkim jedinicama nalazi se energetska i upravljačka oprema koja je u uslovima rada koje karakterišu povišena temperatura, velika prašina i nagle promene dinamike rada (naročito pri kratkim spojevima u elektrofilteru), degradacija usled starosti pretrpela najveće promene u svojim karakteristikama koje su znatno smanjile njenu efikasnost i funkcionalnost. Postoji takođe sumnja da pojedine funkcije regulacione opreme više nisu u funkciji. Iz navedenih razloga postojeći regulatori elektrofiltera nisu u stanju da održavaju projektovanu jednosmernu struju od oko 700mA na elektrodnom sistemu već se ova vrednost najčešće nalazi u granicama od 200-300mA.



Slika 1. Osnovna šema postojeće opreme za napajanje elektrofiltera

Posledica ukupnog stanja elektrofiltera na bloku A3, kako na elektrodnom sistemu tako i na upravljačkom delu, je višestruko povećana emisija čestica dimnog gasa kroz dimnjak u odnosu na projektovanu vrednost.

Upravljačka elektronika pomoću koje se upravlja tiristorima bazira se na starom algoritmu upravljanja koji ne podrazumeva napredne algoritme upravljanja kao što su intermitentni režim rada filtera, upravljanje na osnovu broja proboja, detekcija varnice i ostalih pojava koje se dešavaju neposredno pre proboja.



Slika 2. Upravljanje i signalizacija postojeće opreme

### Mogućnost zamene upravljačkih jedinica

Na osnovu poređenja tehničkih karakteristika postojećih upravljačkih jedinica i visokonaponskih ispravljača na bloku A3 i karakteristika ove opreme na bivšem elektrofilteru bloka A5 utvrdiće se tehnička mogućnost za njihovu zamenu.

#### Tehničke karakteristike postojećih upravljačkih jedinica na bloku A3

- |   |   |
|---|---|
| • Proizvođač                                  | ELEX                                      |
| • Godina proizvodnje                          | 1974                                      |
| • Nominalni napon napajanja                   | 380V                                      |
| • Nominalna frekvencija napona napajanja      | 50Hz                                      |
| • Nominalna naizmenična struja                | 155A                                      |
| • Maksimalni jednosmerni napon elektrofiltera | 78kV                                      |
| • Nominalna jednosmerna struja elektrofiltera | 750/1000mA                                |
| • Vrsta upravljanja                           | lokalno/daljinski                         |
| • Napon upravljanja                           | 230VAC                                    |
| • Režimi rada automatskog regulatora          | kontinualni                               |
| • Osnovna funkcija:                           | regulacija napona i struje elektrofiltera |
| • Ograničavači:                               | struje                                    |
| • Realizacija energetskeg sklopa              | antiparalelni tiristori                   |
| W1C   |   |

### Karakteristike visokonaponskog ispravljača na bloku A3

Naziv	Vrednost
Nominalni primarni napon	380 V
Nominalna frekvencija primarnog napona	50 Hz
Nominalna primarna struja	146 A
Nominalni sekundarni napon	55 kV
Nominalna sekundarna struja	1,01 A
Nominalna snaga	55,6 kVA
Maksimalni ispravljeni napon	78 kV
Nominalna ispravljena struja (sred. vred.)	1010 mA
Prigušnica	2,5/3,15mH

Osnovne tehničke karakteristike automatike elektrofiltera proizvođača Instituta "Nikola Tesla" koja je bila ugrađena na bloku A5 u TE "Kolubara" 2006. godine su:

- Proizvođač INT
- Godina proizvodnje 2006
- Nominalni napon napajanja 400V
- Nominalna frekvencija napona napajanja 50Hz
- Nominalna naizmjenična struja 370A
- Maksimalni jednosmerni napon elektrofiltera 106kV
- Nominalna jednosmerna struja elektrofiltera 1250mA
- Prenosni odnos strujnog mernog transformatora 400/1A/A
- Prenosni odnos naponskog mernog transformatora 380/10V/V
- Realizacija VN merenja optička
- Opseg merenja jednosmernog napona elektrofiltera 0 – 120 kV
- Opseg merenja jednosmerne struje elektrofiltera 2000mA
- 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 6
- Broj raspoloživih digitalnih ulaza u regulatoru 16
- Broj raspoloživih digitalnih izlaza iz regulatora 12

- Broj PWM izlaza iz regulatora 2
- Serijska komunikacija RS485
- Protokol za komunikaciju MODBUS
- Vizualizacija: lokalna LCD displej 16x2 karaktera, tastatura sa 8 tastera  
daljinska ekran na SCADI
- Vrsta upravljanja lokalno/daljinski
- Napon upravljanja 230VAC
- Režimi rada automatskog regulatora kontinualni, intermitentni, test
- Osnovna funkcija: regulacija napona i struje elektrofiltera
- Ograničavači: napona i struje
- Realizacija energetskog sklopa antiparalelni tiristori  
W1C
- Zaštite energetskog sklopa RC i temperaturna
- Vrsta hlađenja prirodno vazdušno
- Temperatura okoline +40°C

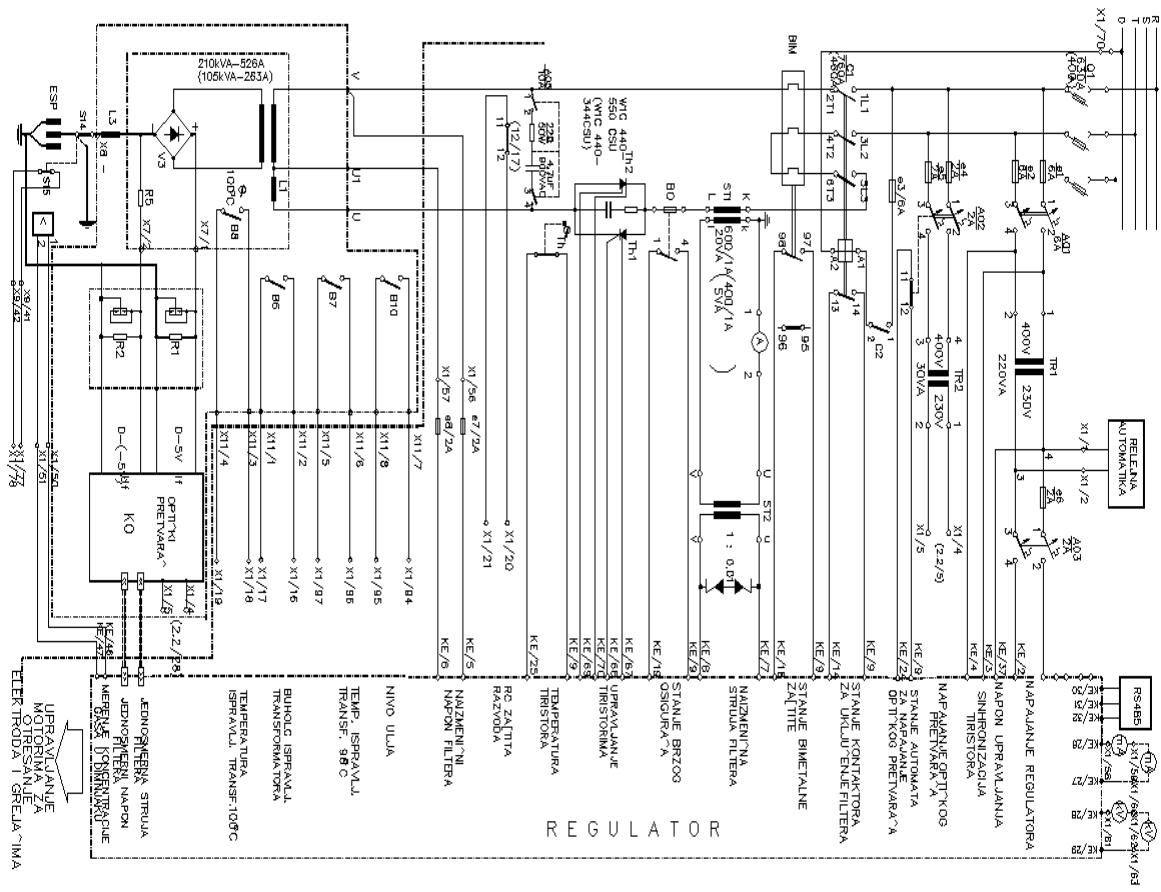
Karakteristike visokonaponskog ispravljača koji je bio ugrađen na bloku A5

Naziv	Vrednost
Nominalni primarni napon	380 V
Nominalna frekvencija primarnog napona	50 Hz
Nominalna primarna struja	333 A
Nominalna snaga	126,5 kVA
Maksimalni ispravljeni napon	106 kV
Nominalna ispravljena struja (srednja vred.)	1250 mA

Funkcionisanje postojećeg ispravljačkog transformatora na bloku A3 je ostvareno pomoću upravljačke jedinice koja ima napon napajanja 380V, a struju 155A. Upravljačka jedinica sa bloka A5 je dimenzionisana na napon napajanja 400V i struju 370A što sa energetskog stanovišta potvrđuje mogućnost zamene stare jedinice sa bloka A3 novijom sa bloka A5.

U regulacionom delu sa novim regulatorom omogućena je veća funkcionalnost uređaja koja je obezbeđena pomoću intermitentnog režima rada koji smanjuje mogućnost pojave kratkih spojeva između elektroda i duže održavanje visokog napona na elektrodama čime se ostvaruje efikasnije čišćenje dimnog gasa.

Serijskom komunikacijom sa SCADA-om omogućiće se uvid u pogonsko stanje i efikasnost elektrofiltera pomoću praćenja trenutnih parametara i hronologije rada sekcija.

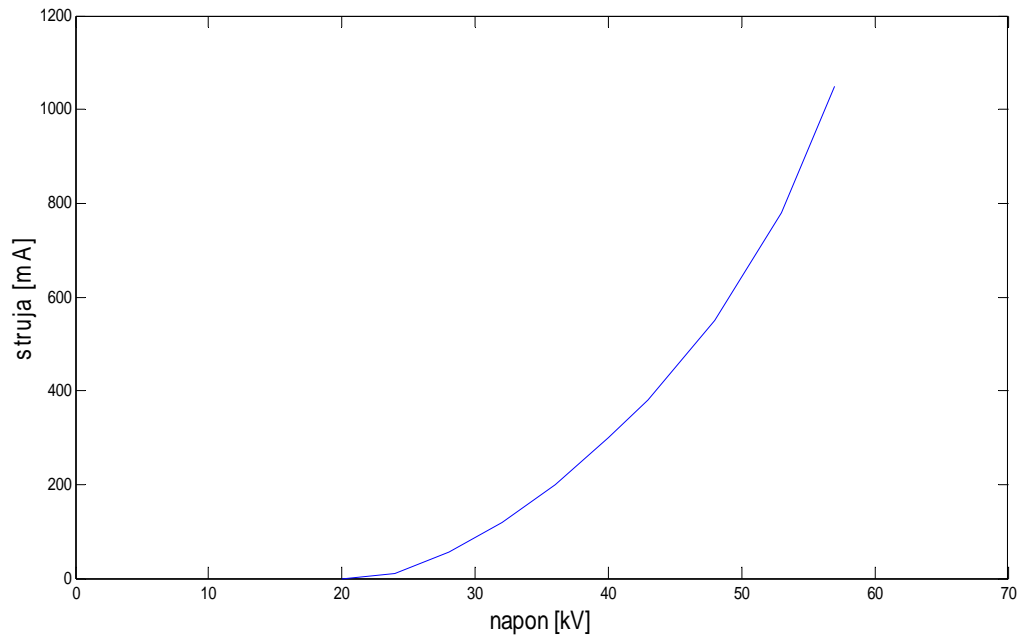


Slika 3. Tiristorski regulisani naponski ispravljač za elektrofilter nakon rekonstrukcije

Osnovna upravljačka veličina se kontroliše pomoću standardnog PI regulatora pri čemu je povratna sprega zatvorena po struji elektrofiltera. Podešavanjem parametara PI regulatora obezbeđen je uticaj ulazne veličine regulatora, reference, na izlaz sistema, struja elektrofiltera, u vremenskim intervalima kada treba redukovati parametre sistema, struju i napon, zbog detektovanog električnog luka ili varnice.

Najnovija verzija softvera omogućava da se parametri elektrofiltera postepeno povećavaju do svojih ograničenja kako bi se postigao što veći napon filtera čime se postiže bolje filtriranje. Pored već postojeće detekcije električnog luka u softver je implementirana i detekcija varnice kao pojava koja se javlja neposredno pre električnog luka. U slučaju detektovane varnice redukuju se parametri filtera kako bi se izbegao električni luk. Uređaj može raditi i u intermitentnom režimu rada tako što se tiristori ugase jedan vremenski period, nekoliko poluciklusa vođenja, što omogućava suzbijanje povratne korone ali i uštedu utrošene energije. Ostvarena i je komunikacija sa SCADA-om čime je omogućen nadzor i daljinsko upravljanje regulatorom filtera. Pored ovih, najbitnijih funkcija, novi softver izvršava i sporedne funkcije kao što su redukcija napona pri otesanju elektroda i regulacija po broju proboja.

Dobijena naponsko-strujna karakteristika je prikazana na slici 4. Sa slike se vidi da su ostvarene nominalne vrednosti ovih osnovnih veličina koje su najbitnije u radu elektrofiltera što je uz zamenu opreme bio i osnovni cilj rekonstrukcije.



*Slika 4. Naponsko-strujna karakteristika elektrostatičkog filtera*

### **Specifikacija radova na zameni upravljačkih jedinica elektrofiltera bloka A3**

Za realizaciju ovog posla bilo je potrebno:

- Opremu detaljno očistiti od prašine
- Demontirati pojedinu opremu radi ispitivanja
- Izvršiti doradu hardvera i softvera na regulatoru kako bi se dobila najnovija verzija regulatora
- Ispitati funkcionalnost uređaja
- Otkloniti kvarove i nedostatke
- Uraditi nova podešenja regulatora, merenja i zaštita u uređaju
- Osposobiti visokonaponska merenja
- Pripremiti bazu na SCADA-i
- Ostvariti i proveriti komunikaciju sa SCADA-om
- Demontirati staru opremu
- Prilagoditi postolja za montažu novog uređaja
- Montirati i povezati novi uređaj na mesto starog.
- Uraditi ispitivanja i pustiti uređaj u rad



## **Zaključak**

Postojeće upravljačke jedinice na kotlovima 3 i 4, odnosno termobloku A3 u TE “Kolubara A” su se usled dugogodišnje upotrebe nalazile u lošem stanju i nisu izvršavale sve funkcije koje su trebale da rade. Između ostalog i to je bio jedan od razloga što je bila smanjena efikasnost rada ovog elektrofiltera.

Osnovni parametri starih upravljačkih jedinica bili su 400V, 155A, a novih su 400V, 370A tako da u energetsom smislu nove jedinice zadovoljavaju tehničke potrebe koje su imale i stare jedinice.

Na osnovu toga zaključeno je da se nove upravljačke jedinice koje su bile tri godine u radu na bloku A5 mogu ugraditi u elektrofilter bloka A3 uz odgovarajuća prilagođenja.

Izvršeno je prilagođenje merenja, upravljanja i nadzor nad elektrofilterom sa novim upravljačkim jedinicama što je kao rezultat dalo uspostavljanje nominalnih parametara filtera odnosno efikasnije izdvajanje čestica.

## **„Rekonstrukcija upravljačkih sekcija elektrostatičkog filtera na bloku A3 u TE „Kolubara A“ “**

Autori predloženog tehničkog rešenja su: mr. Ilija Stevanović, dipl.inž. Rajko Prole, dipl. inž. Mladen Ostojić, dipl. inž. Slobodan Josifović, dipl. inž. Darko Jevtić, Sava Dobričić, dipl. inž. i dr Dušan Arnautović, dipl. inž. Na osnovu predloga podnosimo sledeći

### **IZVEŠTAJ RECENZENTA**

Tehničko rešenje „Rekonstrukcija upravljačkih sekcija elektrostatičkog filtera na bloku A3 u TE „Kolubara A“ “ pripada oblasti **bitno poboljšan postojeći proizvod ili tehnološki proces (M84)**.

Tehničko rešenje „Rekonstrukcija upravljačkih sekcija elektrostatičkog filtera na bloku A3 u TE „Kolubara A“ “ je razvijeno u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla“ po rukovodstvu mr. Ilije Stevanovića u saradnji sa dipl.inž. Rajko Prole, dipl. inž. Mladen Ostojić, dipl.inž. Slobodan Josifović, dipl. inž. Sava Dobričić, dipl. inž. Darko Jevtić i dr Dušan Arnautović i predstavlja odličan način da se poveća efikasnost izdvajanja čestica pepela u termoelektranama zamenom postojeće opreme pri čemu su primenjeni savremeni algoritmi upravljanja, povećana pouzdanost sistema, obezbeđena odgovarajuća zaštita i nadzor rada elektrostatičkog filtera.

Ovo tehničko rešenje je omogućilo da se postojeća oprema na bloku A3 u TE „Kolubara A“ rekonstruiše u smislu ostvarivanja potrebnih parametara filtera čime se omogućilo efikasno prečišćavanje. Do ovih rezultata se došlo upotrebom takođe već postojećih upravljačkih jedinica koje su nekada radile na bloku A5 u TE „Kolubara A“ što predstavlja veliki doprinos u pogledu iskorišćenja već korišćene opreme. Na ovaj način su iskorišćene upravljačke jedinice koje su projektovane za veće snage u čije upravljačke elektronike su implementirani moderni algoritmi upravljanja upotrebom savremenih mikrokontrolera.

Mikrokontroler je veoma pouzdana komponenta, neosetljiva na šumove, pomoću koje je moguće u jako kratkom vremenskom intervalu izvršavati složene matematičke operacije pa se kao takva često upotrebljava u sistemima upravljanja. Upotreba takvog mikrokontrolera omogućila je detektovanje varnice i redukciju parametara filtera čime se sprečava nastanak električnog luka. Povećanjem broja digitalnih ulaza i izlaza proširen je i broj realizovanih opomena i zaštita.


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 energetsku 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.

Prilikom projektovanja predmetnog tehničkog rešenja dati su doprinosi u rešavanju sledećih problema: upravljanje industrijskim procesorima pomoću mikrokontrolera, povećanje funkcija postojeće opreme, realizacija komunikacije sa nadređenim sistemom, prilagođenje opreme projektovane za blok A5 potrebama bloka A3.

Rekonstrukcija koja je obuhvaćena ovim tehničkim rešenjem izvršena je na bloku A3 u TE „Kolubara A“.

U Beogradu, 28.01.2013.

**Recenzent:**



Dr Ninel Čukalevski, dipl. inž.



## ИЗЈАВА

Овом изјавом потврђујемо да је Електротехнички институт „Никола Тесла“ у 2012. години радио на

### **Реконструкцији управљачких секција електростатичког филтера на блоку А3 у ТЕ „Колубара А“**

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 ИИИ42010 код Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У Обреновцу, 25.01.2013. године



Директор за производњу  
енергије ПД ТЕНТ  
Љубица Михаиловић, дипл. инж.

**ПРИВРЕДНО ДРУШТВО  
„ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ НИКОЛА ТЕСЛА“ д.о.о.**

11500 ОБРЕНОВАЦ  
Богољуба Урошевића  
Црног 44  
www.tent.rs  
e-mail: tent@tent.rs

Централа: 011/8755-011  
Директор: 011/8755-012  
Факс: 011/8755-500  
ТЕ „Никола Тесла А“  
Директор: 011/8755-501  
Факс: 011/8755-502

ТЕ „Колубара“  
11563 ВЕЛИКИ ЦРЉЕНИ  
Централа: 011/8162-153  
Директор: 011/8123-320  
Факс: 011/8124-860  
e-mail: tekolubara@tek.rs

ТЕ „Морава“  
35210 СВИЛАЈНАЦ  
Директор: 035/321-152  
Факс: 035/312-304  
e-mail: director@morava.com  
komercijala@temorava.com

ТЕ „Никола Тесла Б“  
11500 ОБРЕНОВАЦ  
Централа: 011/8111-200  
Директор: 011/8111-201  
Факс: 011/8111-209  
e-mail: tent@tent.rs