

OBJEDINJENO UPRAVLJANJE NAPONOM, OTRESANJEM ELEKTRODA I GREJANJEM IZOLATORA I LEVKOVA KOD ELEKTROSTATIČKIH FILTERA

Ilija Stevanović, Rajko Prole, Darko Jevtić, Dušan Arnautović, Slobodan Josifović,
Sava Dobričić, *Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd*

Slobodan Vukosavić, *Elektrotehnički fakultet, Beograd*

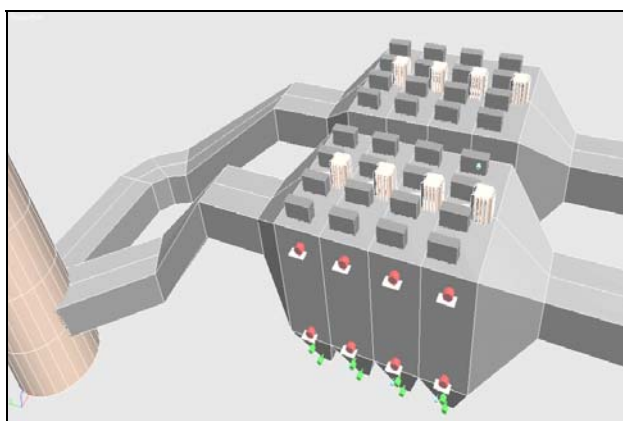
Sadržaj: U radu je dat opis uređaja za napajanje i upravljanje elektrostatičkih filtera za prečišćavanje dimnih gasova u termoelektranama. Uređaj omogućava regulaciju napona i struje elektrofiltera u kontinualnom i intermitentnom režimu rada. Pored toga, isti uređaj vrši upravljanje otresaćima elektroda i regulaciju temperature i upravljanje svim grejačima izolatora i levkova. Zahvaljujući tome ostvarena je veća energetska efikasnost, veća efikasnost čišćenja dimnih gasova i veća pouzdanost i raspoloživost elektrofiltera. Uređaji ovog tipa ugrađeni su na elektrofilterima blokova A1 i A4 u TE “Nikola Tesla”.

Ključne reči: elektrostatički filter, intermitentno napajanje, upravljanje otresaćima i grejačima

1. UVOD

Elektrostatički filteri su uređaji koji služe za prečišćavanje industrijskih otpadnih gasova izdvajanjem sitne prašine raspršene u gasu (slika 1.). Tipični pogoni u kojima se primenjuju elektrostatički filteri su termoelektrane, toplane na ugalj, industrija cementa, metalurgija itd.

Uređaji za napajanje i regulaciju elektrostatičkih filtera služe za napajanje i regulaciju napona na elektrodama i upravljanje pratećom opremom kod elektrostatičkih filtera.

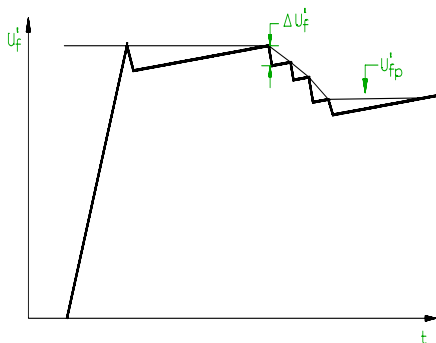


Slika 1. Izgled elektrofilterskog postrojenja sa osam sekcija

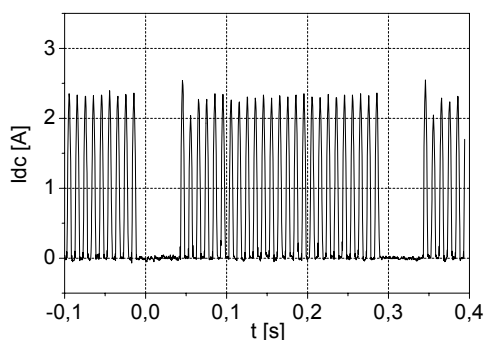
2. PRINCIP RADA

Većina postojećih elektrofiltera urađena je sa klasičnim kontinualnim napajanjem koje obezbeđuje jednosmerni napon na granici proboja između jednosmernih elektroda. Da bi se obezbedila ovakva regulacija napona koristi se pojava varničenja (iskrenja) koja se javlja kod postizanja probojnog napona, kao informacija da treba brzo smanjiti napon elektrofiltera do vrednosti kada prestaje varničenje. Po prestanku varničenja treba obezbediti polako podizanje napona kako bi se ponovo uspostavila vrednost probojnog napona [1]. U zavisnosti od stanja gasa u elektrofilteru granica probojnog napona se snižava ili povećava, kao što pokazuje kriva označena sa U_{fp}' na slici 2.

Efikasnost čišćenja i energetska efikasnost ovakvih elektrofiltera ne zadovoljavaju zahteve i propise koji se danas postavljaju pred ove uređaje. Najjeftiniji prelaz sa klasičnog kontinualnog napajanja na poboljšani oblik napajanja ostvaruje se primenom intermitentnog napajanja [2].



Slika 2. Princip rada kontinualne regulacije elektrofiltera



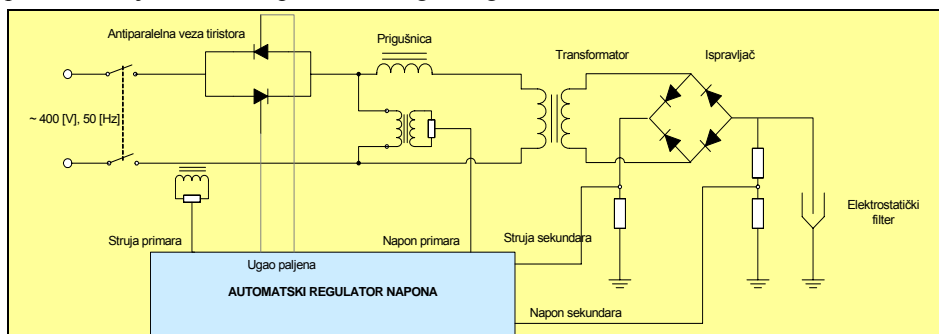
Slika 3. Princip rada intermitentne regulacije elektrofiltera

Intermitentno napajanje ostvaruje visok jednosmerni napon za određeni broj perioda napona napajanja, a zatim za vreme pauze omogućava električno pražnjenje elektrodnog sistema. Tiristori koji služe za regulaciju napona se drže ugašeni jedan izvestan period vremena (nekoliko poluperioda) unutar ciklusa intermitencije (slika 3.). Automatski regulator napona određuje ovaj ciklus prema signalu koji dobija iz merača neprozirnosti dimnog gasa (ekstinkcije) i/ili prema detekciji povratne korone.

Na taj način moguće je proizvesti viši napon na elektrodama i poboljšati efikasnost otprašivanja u odnosu na kontinualno napajanje. Takođe je smanjena mogućnost pojave povratne korone i kratkih spojeva među elektrodama čime se ostvaruje veća energetska efikasnost [3]. Pored funkcije regulacije napona i struje elektrofiltera, obezbeđeno je upravljanje motorima za otresanje elektroda, upravljanje i regulacija temperature grejača levkova i grejača potpornih izolatora, kao i upravljanje glavnim i pomoćnim grejačima rotacionih izolatora.

3. REGULACIJA NAPONA

Regulacija napona na elektrodama elektrostatičkog filtera se vrši delovanjem upravljačkog signala iz automatskog regulatora napona na naizmenični energetski pretvarač koji se nalazi u primaru energetskog transformatora.



Slika 4. Blok šema sistema regulacije napona elektrostatičkog filtera

Povratna veza je ostvarena na osnovu merenja napona i struje primara i sekundara energetske jedinice transformator/ispravljač. Blok šema sistema za regulaciju data je na slici 4.

4. ENERGETSKI SKLOP UPRAVLJAČKE JEDINICE

Napojne i upravljačke jedinice elektrostatičkog filtera su urađene sa poluprovodničkim upravljivim pretvaračem osnovne frekvencije 50 Hz.

Monofazno napajanje 380V, 50 Hz se, preko rastavljača sa osiguračima (ili kompaktnog prekidača sa odgovarajućim zaštitama) i kontaktora sa bimetalom, dovodi na antiparalelnu vezu tiristora koji se fazno upravljaju.



Slika 5. Energetski sklop upravljačke jedinice elektrofiltera

Izgled energetskog sklopa jedinice za upravljanje prikazan je slici 5. Ceo razvod je opremljen RC zaštitom. Antiparalelni tiristori, takođe, imaju RC zaštitu, a u električnom kolu se nalazi i strujni transformator za merenje naizmenične struje elektrofiltera [4].

5. VISOKONAPONSKI ISPRAVLJAČ

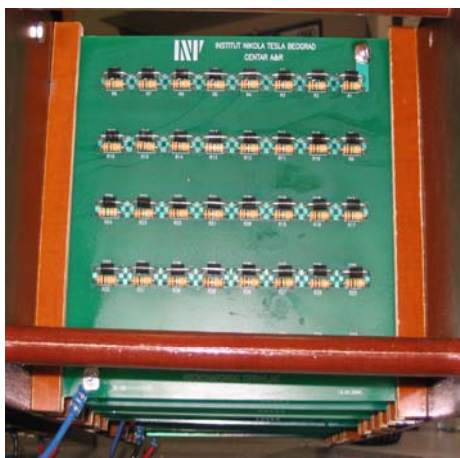
Napajanje primara energetskog transformatora ostvareno je spoljnim kablovskom vezama od antiparalelnih tiristora preko prigušnice.

Sekundar transformatora se dovodi na diodni ispravljač visokog napona. Transformator i ispravljač se nalaze u zajedničkom sudu, u ulju i opremljeni su odgovarajućim zaštitama.

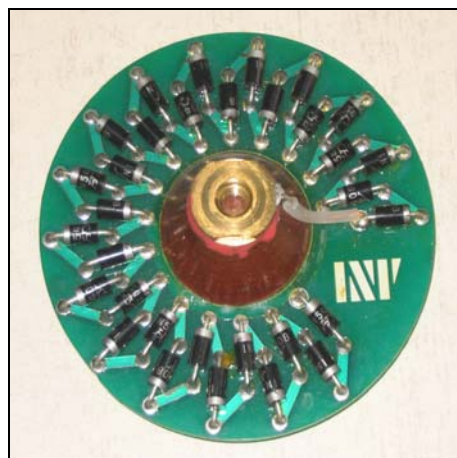
Na energetskoj jedinici transformator/ispravljač nalaze se sledeće zaštite: pritisak ulja (isključenje), nivo ulja (opomena), temperatura (opomena), temperatura (isključenje).

Pozitivan pol ispravljača se preko šant otpornika dovodi na pozitivnu elektrodu u elektrostatičkom filteru koja je uzemljena, a negativan pol ispravljača se vodi na negativnu elektrodu preko zaštitnog otpornika.

Ispravljač je napravljen od velikog broja na red povezanih dioda koje su postavljene na štampane ploče pravougaonog (slika 6) ili okruglog (slika 7) oblika. Veći broj ovako napravljenih ploča se serijski povezuje obrazujući visokonaponski diodni lanac određenog napona.



Slika 6. VN ispravljač sa pravougaanim diodnim modulima



Slika 7. VN ispravljač sa okruglim diodnim modulima

6. VISOKONAPONSKA MERENJA

Jednosmerni napon elektrofiltera, tj. napon negativne elektrode U_{dc} se meri preko VN otpornika od $80M\Omega$ (ili $265M\Omega$ zavisno od proizvođača) koji zajedno sa otpornikom od $6,8k\Omega$ formira razdelnik napona. VN otpornik je napravljen od niza na red povezanih otpornika od $1M\Omega$, $6kV$. Obično se nalazi u ulju u kotlu energetske

jedinice transformator/ispravljač. Moguće je rešenje i sa samostalnim VN otpornikom koji se nalazi izvan posude sa uljem.

Na slici 8 je prikazan spoljni izgled samostalnog VN otpornika koji je ugrađen u elektrofilteru bloka A5 u TE "Kolubara A". Slika pod a) prikazuje kompletan stub sa otpornikom, a pod b) štampane ploče sa lancem otpornika koje se smeštaju u ovaj stub ili u kotao transformatora.

Signal dobijen na razdelniku napona se dovodi u zaseban elektronski sklop (optički predajnik smešten na transformatoru/ispravljaču ili u ormanu za upravljanje) koji obezbeđuje da se, preko U/f konverzije, optičkog kabla i f/U konverzije u optičkom prijemniku koji se nalazi u reku elektronike, signal napona prenese na mikroprocesorski (DSP) modul u obliku naponskog signala vrednosti 0-10V.

Ovaj signal se u mernom pretvaraču, takođe, pretvara u signal 4 –20mA koji se vodi na instrument na ormanu elektrofiltera i, eventualno, na daljinsko merenje u komandnoj prostoriji elektrane.



a)



b)

Slika 8. Spoljni izgled samostalnog VN otpornika za merenje napona



Slika 9. Optički link za VN merenja

Struja filtera I_{dc} , koja se meri preko šant otpornika od $2,8\Omega$ koji se nalazi u pozitivnom polu ispravljača se dovodi u zaseban elektronski sklop koji obezbeđuje da se, preko U/f konverzije u optičkom predajniku, optičkog kabla i f/U konverzije u optičkom prijemniku, signal struje prenese na DSP karticu u obliku jednosmernog napona od 0-10V.

Ovaj signal se u mernom pretvaraču, takođe, pretvara u signal 4 –20mA koji se vodi na instrument na ormanu elektrofiltera.

Optički link sastavljen od optičkog predajnika, optičkog kabla i optičkog prijemnika prikazan je na slici 9.

Napon na primaru transformatora U_1 se meri naponskim transformatorom 380/10V/V i u obliku $\pm 10V$ dovodi na DSP karticu.

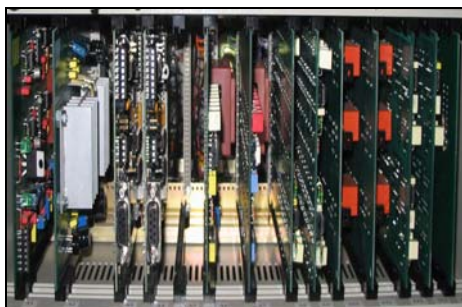
Struja primara I_1 se meri strujnim transformatorom $xA/1A$ i preko još jednog strujnog transformatora 1A/0,01A u obliku signala amplitude manje od $\pm 10V$ dovodi na DSP karticu.

7. AUTOMATSKI REGULATOR

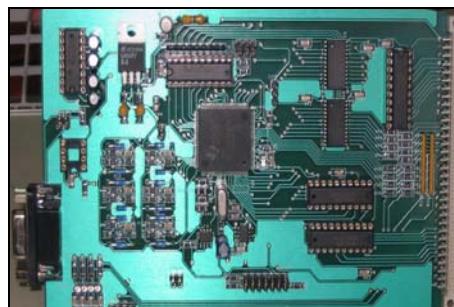
Napajanje elektronike i relejne automatike se realizuje nezavisno, iz istog monofaznog izvora, ali tako da može da radi kada je glavni kontaktor otvoren. Ne predviđa se rezervno napajanje elektronike iz jednosmernog izvora.

Svaka upravljačka jedinica elektrofiltera ima po jedan digitalni regulator sa DSP modulima koji međusobno komuniciraju (slika 11.). Pored toga u zajedničkom reku se nalaze: moduli napajanja, moduli mernih pretvarača, moduli digitalnih ulaza, moduli analognih ulaza, moduli digitalnih izlaza, modul tiristorskih upaljača i modul za izolovanu RS 485 serijsku vezu.

Izgled reka sa elektronskim modulima tip INT-ETF 2005 prikazan je na slici 10.



Slika 10. Moduli automatskog regulatora napona



Slika 11. Mikrokontrolerski modul

Digitalni regulator napona može raditi u kontinualnom, intermitentnom i test režimu što se ostvaruje izborom i odgovarajućim podešenjem određenih parametara regulatora.

Za rad u test režimu koji služi za ispitivanje uređaja potrebno je samo izabrati parametar koji definiše režim rada (postaviti ga na vrednost 1) i dalje podešavanje vršiti izborom ugla upravljanja tiristora.

Za rad u *intermitentnom* režimu parametri regulatora su sledeći:

Opis parametra	Oznaka
OFF Dejonizacija	TD
ON Trajanje pulsa	PT
-dU/dt	NS
+dU/dt	PS
Meka ivica dU/dt	AP
Režim rada	2

Za rad u *kontinualnom* režimu treba podesiti sledeće parametre regulatora:

Opis parametra	Oznaka
-dU/dt	NS
+dU/dt	PS
Meka ivica dU/dt	AP
Režim rada	3

Automatski regulator se odlikuje velikom autonomijom i fleksibilnošću, a poseduje i napredni adaptivni algoritam upravljanja specijalno razvijen u svrhu povećanja efikasnosti izdvajanja pepela.

Digitalni regulator napona u svakom trenutku dobija informaciju o vrednosti emisije čvrstih čestica na osnovu koje vrši adaptaciju i promenu ugla upravljanja tiristora kako bi održao emisiju u propisanih 50mg/Nm³.

Veoma brzi procesori vrše, u realnom vremenu, parametarsku estimaciju spektra koja omogućava ranu detekciju i sprečavanje pojave povratne korone. Adaptacija po spektru i broju proboja u minuti omogućava da se optimalni parametri izdvajача očuvaju i pri varijacijama u sastavu goriva bez potrebe za intervencijom operatera.

8. UPRAVLJANJE OTRESAČIMA I GREJAČIMA

Svaka sekcija elektrofiltera ima po jedan motor za otresanje taložnih i jedan motor za otresanje emisionih elektroda.

Pored toga, potrebno je vršiti upravljanje i regulaciju temperature grejača zidova levkova svake sekcije, regulaciju temperature grejača potpornih izolatora, kao i upravljanje glavnim i pomoćnim grejačima rotacionih izolatora i grejačima vazduha u VN komorama celog elektrofiltera.

Digitalni naponski regulator sadrži integrisani programabilni logički kontroler koji upravlja radom ove pomoćne opreme. Stanje motora za otresanje i grejača izolatora se detektuje preko digitalnih ulaza, a regulacija temperature se vrši na osnovu njenog merenja i uvođenja u regulator svake sekcije posredstvom analognih ulaza.

Zahvaljujući integrisanom logičkom kontroleru, implementirano je koordinirano upravljanje naponom i radom motora za pogon otresača elektroda elektrofiltera. Regulator napona, prilikom otresanja elektroda jedne sekcije, smanjuje napon na toj sekciji ili ga potpuno ukida za vreme otresanja. Tako se smanjuju električne sile koje drže sloj pepela na elektrodi i čišćenje elektroda je mnogo bolje.

9. KOMANDOVANJE ELEKTROFILTEROM

Elektrofilterom se može upravljati daljinski i lokalno. Daljinsko upravljanje podrazumeva upravljanje sa DCS sistema (SCADA) iz komandne prostorije agregata, dok se lokalno upravljanje vrši sa samih upravljačkih ormara svake od sekcija ponaosob.

Svaki od upravljačkih ormara sadrži na prednjem panelu tri merna instrumenta koji, respektivno, pokazuju primarnu struju, sekundarni napon izdvažača i sekundarnu struju izdvažača. Ispod njih se nalaze dve signalne lampice koje su signalizacija uključenosti uređaja (zelena) i signalizacija prorade zaštita (crvena).

Između njih se nalazi LCD displej sa 16x2 karaktera i tastatura sa osam tastera. Spoljni izgled ovog displeja je prikazan na slici 12.



Slika 12. Spoljni izgled displeja za lokalno komandovanje sekcijama elektrofiltera

U poslednjem redu nalaze se taster START, bistabilni prekidač za izbor mesta upravljanja (lokalno-daljinski) i taster STOP.

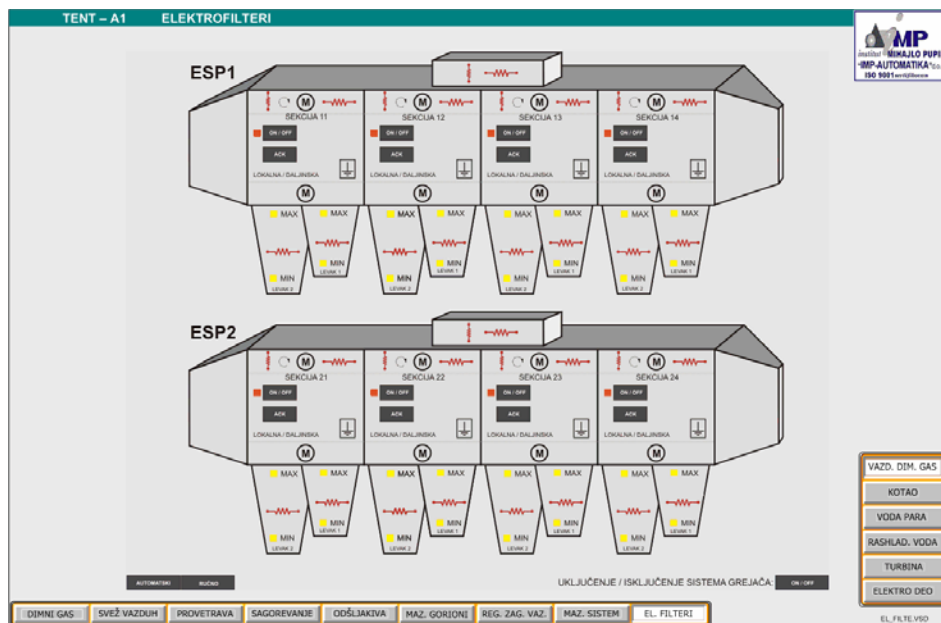
Upravljački ekran na monitoru u komandnoj prostoriji agregata ima izgled kao na slici 13. Na njemu su implementirana, pored neophodnih komandi za upravljanje kompletnim elektrofilterom, i sva analogna merenja.

10. KOMUNIKACIJA

Lokalna komunikacija između mikrokontrolerskih modula je CAN 2.0B, a komunikacija između upravljačkih jedinica i glavnog računara je ostvarena preko RS485 serijske veze i MODEBUS RTU protokola.

Na svakom od uređaja je ugrađena zasebna kartica za izolovanu RS485 serijsku vezu sa MAX1480/90 izolatorom za povezivanje nadređenog računara. Ovaj čvor serijske veze je galvanski izolovan za 1 kV.

Takođe, na ivici DSP kartica, sa prednje strane, je ugrađen DB9 ženski konektor na kome su raspoloživi signali potrebni za programiranje DSP-a preko neizolovane serijske veze RS232 iz PC računara.



Slika 13. Izgled ekrana za upravljanje elektrofilterom na SCADI

11. ZAKLJUČAK

Pooštavanje ekoloških standarda sa jedne strane i sve veća potreba za električnom energijom sa druge strane su doveli do potrebe za razvojem i primenom sve efikasnijih uređaja za prečišćavanje dimnih gasova koji nastaje sagorevanjem uglja u termoelektranama.

Elektrofilterska postrojenja su znatno povećala svoju zapreminu, a uređaji koji upravljaju njima su proširili svoje funkcije. Istovremeno se koriste napredniji algoritmi za upravljanje naponom i pratećom opremom, kao i optimizacija potrošnje električne energije i efikasnosti čišćenja.

Objedinjenim upravljanjem naponom i grejačima izolatora i levkova postiže se veća fleksibilnost upravljanja, efikasnost čišćenja i pouzdanost sistema. Uređaji ovog tipa su ugrađeni na elektrofilterima blokova A1 i A4 u TE „Nikola Tesla A“.

LITERATURA

- [1] Ken Parker, *Electrical Operation of Electrostatic precipitators*, The Institution of Electrical Engineers, London, 2003.
- [2] V. Dimić, B. Buha, M. Ilić, "Impulsno napajanje i njegova primena na postojećim i novoinstaliranim elektrostatičkim izdvađačima", Studija br.21-92-01 Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd, 1990.
- [3] J. Stevanović, A. B. Nikolić, I. Z. Cvetković, S. N. Vukosavić, "Prednosti intermitentnog napajanja elektrostatičkog filtra u odnosu na kontinualno", *JUKO CIGRE*, Vrnjačka Banja, 2007.

- [4] J. Stevanović, R. Đ. Prole, S. M. Dobričić, D. N. Jevtić, D. B. Arnautović, S. N. Vukosavić, "Development and Appliance of Devices for Intermittent Power Supply And Control of Electrostatic Dust Separator in Thermal Power Plants," *Power Plants 2006*, Vrnjačka Banja, 2006.

Abstract: In this paper a description of devices for power supply and control of electrostatic precipitators for cleaning a flue gases in power plants is given. This device makes possible current and voltage control of electrostatic precipitators in continuous and intermittent mode. Besides, the same device performs a function of rappers control, temperature regulation and the control of all heaters of isolators and hoppers. Thanks to these improvements a better power efficiency is achieved as well as better efficiency of lifting a flying dust from flue gases and better reliability and availability of electrostatic precipitators. This kind of electrostatic precipitators has been successfully applied in power plant „Nikola Tesla“, blocks A1 and A4.

Key words: *electrostatic precipitator, intermittent power supply, rappers control, heaters control*

INTEGRATED VOLTAGE RAPPERS AND HEATERS CONTROL OF THE ELECTROSTATIC PRECIPITATORS

Ilija Stevanović, Rajko Prole, Darko Jevtić, Dušan Arnautović, Slobodan Josifović,
Sava Dobričić, Slobodan Vukosavić