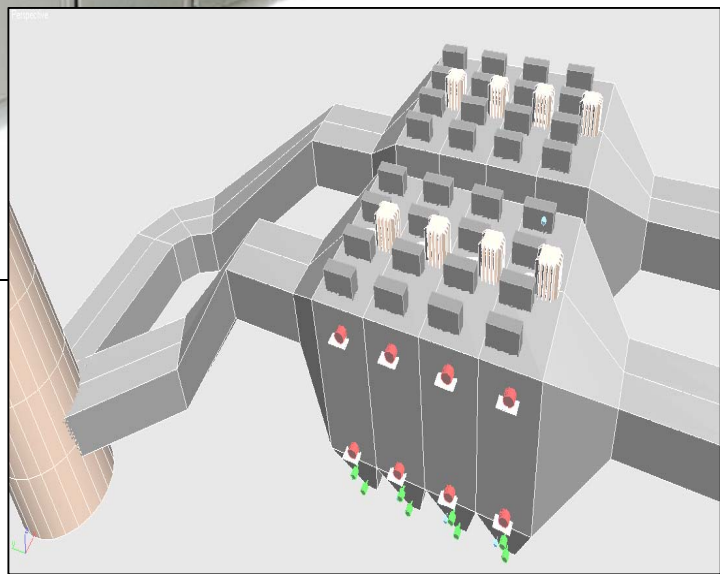
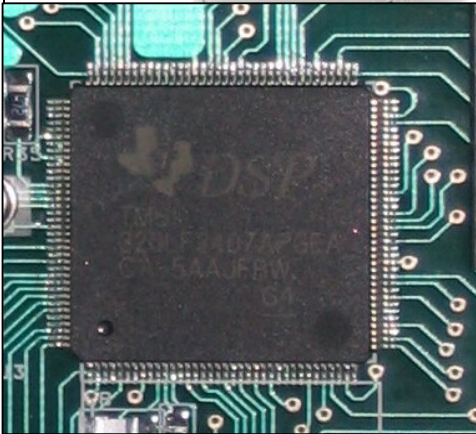




ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT "NIKOLA TESLA"
Centar za automatiku i regulaciju

UREĐAJI ZA NAPAJANJE I UPRAVLJANJE ELEKTROSTATIČKIM FILTERIMA



Namena

Elektrostatički filteri su uređaji koji služe za prečišćavanje industrijskih otpadnih gasova izdvajanjem sitne prašine raspršene u gasu.

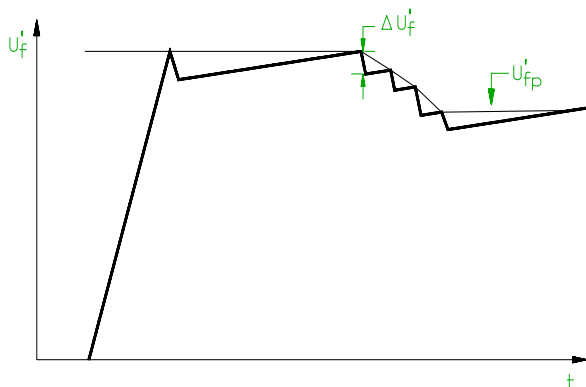
Tipični pogoni u kojima se primenjuju elektrostatički filteri su termoelektrane, toplane na ugalj, industrija cementa, metalurgija itd.

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

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 U_f do vrednosti kada prestaje varničenje. Po prestanku varničenja treba obezbediti polako podizanje napona kako bi se ponovo uspostavila vrednost probojnog napona. U zavisnosti od stanja gasa u elektrofilteru granica probojnog napona se snižava ili povećava, kao što pokazuje kriva označena sa U_{fp} na slici 1.

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.



Slika 1. Princip rada kontinualne 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 2). Automatski regulator napona određuje ovaj ciklus prema signalu koji dobija iz merača neprozirnosti dimnog gasa (ekstinkcije) i/ili prema detekciji povratne korone.

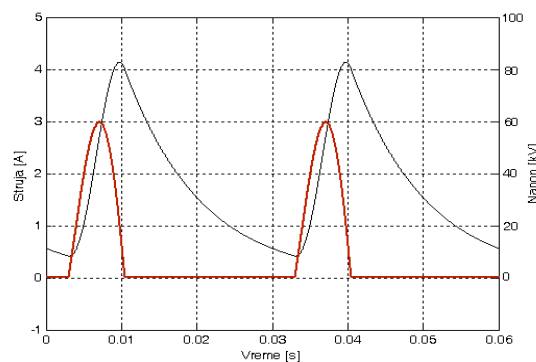
Na taj način moguće je proizvesti viši napon na elektrodama i poboljšati efikasnost otprašivanja u odnosu na kontinualno napajanje. Takođe je smanjena mogućnost pojave povratne korone i kratkih spojeva među elektrodama čime se ostvaruje veća energetska efikasnost.

Pored funkcije regulacije napona i struje elektrofiltera, obezbeđeno je upravljanje motorima za otresanje elektroda, upravljanje i regulacija temperature grejača levkova, glavnih i pomoćnih grejača rotacionih i potpornih izolatora.

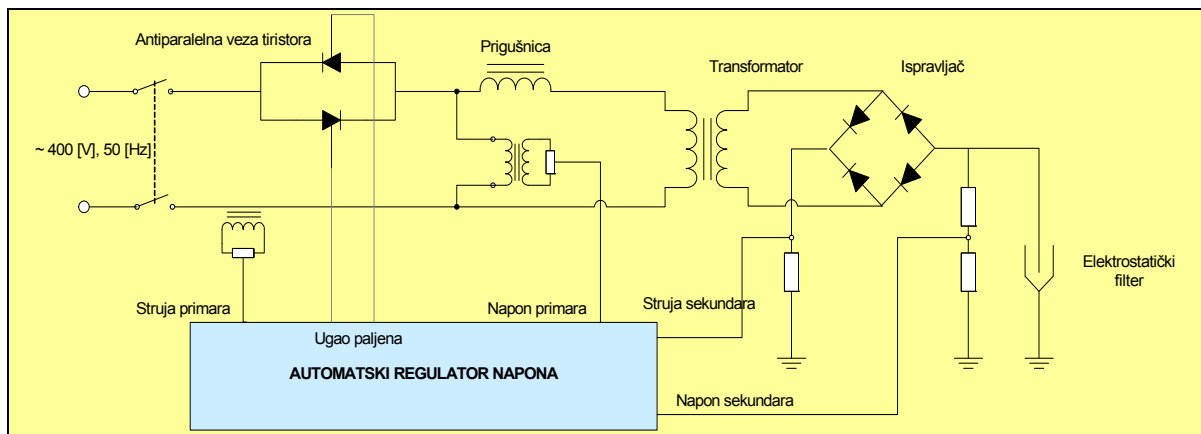
Opis uređaja

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. 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 3.



Slika 2. Princip rada intermitentne regulacije elektrofiltera



Slika 3. Blok šema sistema regulacije napona elektrostatičkog filtera

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 4. Energetski sklop upravljačke jedinice elektrofiltera

Izgled energetskog sklopa jedinice za upravljanje prikazan je slici 4. 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.

Visokonaponski ispravljaj

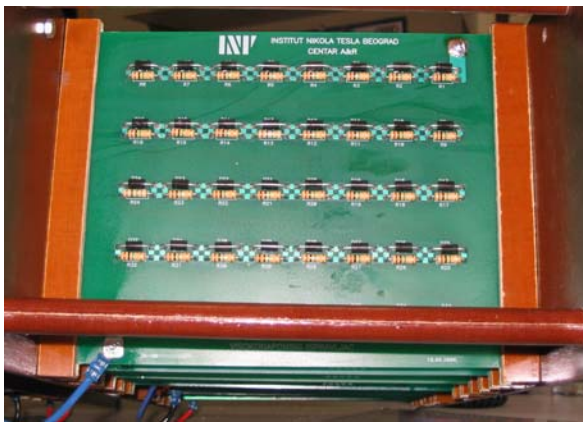
Napajanje primara energetskog transformatora ostvareno je spoljnim kablovskom vezama od antiparalelnih tiristora preko prigušnice.

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

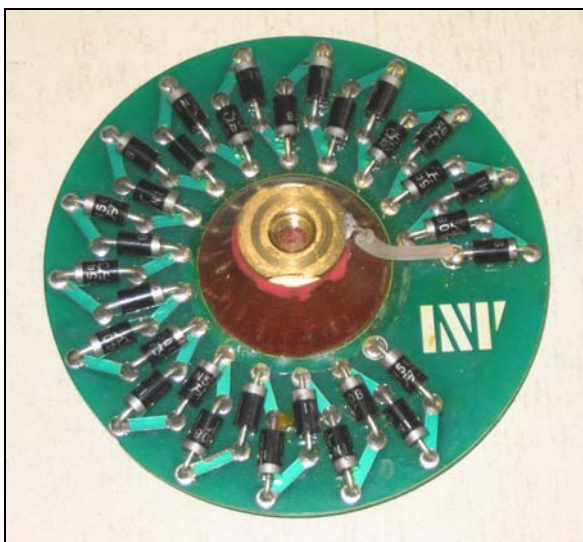
Na jedinici transformator/ispravljaj nalaze se sledeće zaštite: Buholc, temperatura (opomena), temperatura (isključenje) i nivo ulja.

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

Ispravljaj je napravljen od velikog broja na red povezanih dioda koje su postavljene na štampane ploče pravougaonog (slika 5) ili okruglog (slika 6) oblika. Veći broj ovako napravljenih ploča se serijski povezuje obrazujući visokonaponski diodni lanac određenog napona.



Slika 5. VN ispravljač sa pravougaunim diodnim modulima



Slika 6. VN ispravljač sa okruglim diodnim modulima

Visokonaponska merenja

Jednosmerni napon elektrofiltera, tj. napon negativne elektrode U_{dc} se meri preko VN otpornika od $80M\Omega$ 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 7 je prikazan spoljni izgled samostalnog VN otpornika. 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.



a)



b)

Slika 7. Spoljni izgled samostalnog VN otpornika za merenje napona elektrofiltera

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 V/F konverzije, optičkog kabla i F/V 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.

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 optičkog kabla i V/F & F/V konverzije, 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 8.



Slika 8. Optički link za VN merenja

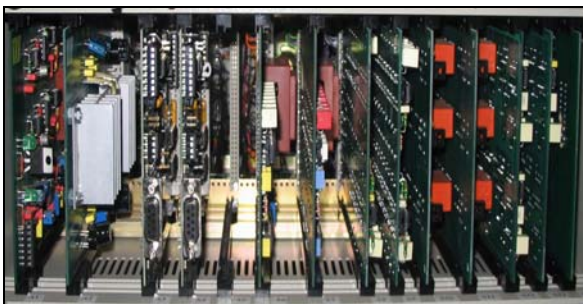
Napon na primaru transformatora U_f' (bez prigušnice) se meri naponskim transformatorom 380/10V/V i u obliku $\pm 10V$ dovodi na DSP karticu.

Struja primara I_f' 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.

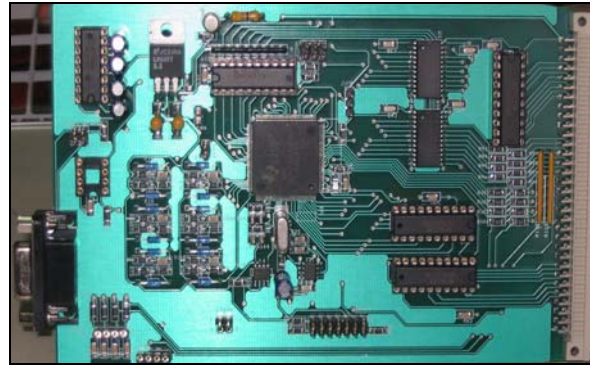
Automatski regulator napona

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 dva DSP modula koji međusobno komuniciraju. Pored toga u zajedničkom reku se nalaze: modul napajanja, modul mernih pretvarača 4 do 20 mA, četiri modula digitalnih ulaza, dva modula analognih ulaza, dva modula digitalnih izlaza, modul tiristorskih upaljača i modul za izolovanu RS 485 serijsku vezu.



Slika 9. Moduli automatskog regulatora napona



Slika 10. Mikrokontrolerski modul

Izgled reka sa elektronskim modulima tip INT-ETF 2005 prikazan je na slici 9.

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 ciklusa intermitencije kako bi održao emisiju u propisanih $50\text{mg}/\text{Nm}^3$.

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 izdvajača očuvaju i pri varijacijama u sastavu goriva bez potrebe za intervencijom operatera.

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
Rezim 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
Rezim rada	3

Upravljanje otresaćima 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, glavnih i pomoćnih grejača rotacionih i potpornih izolatora celog elektrofiltera.

Digitalni naponski regulator sadrži integrisan programabilni logički kontroler koji upravlja radom ove pomoćne opreme. Stanje motora za otresanje 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 *kordinirano upravljanje naponom i radom motora za pogon otresaća 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.

Komandovanje elektrofilterom

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

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



Slika 11. Spoljni izgled displeja za lokalno komandovanje sekcijama elektrofiltera

Između njih se nalazi LCD displej sa 16x2 karaktera i tastatura sa osam tastera. Spoljni izgled ovog displeja je prikazan na slici 11.

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

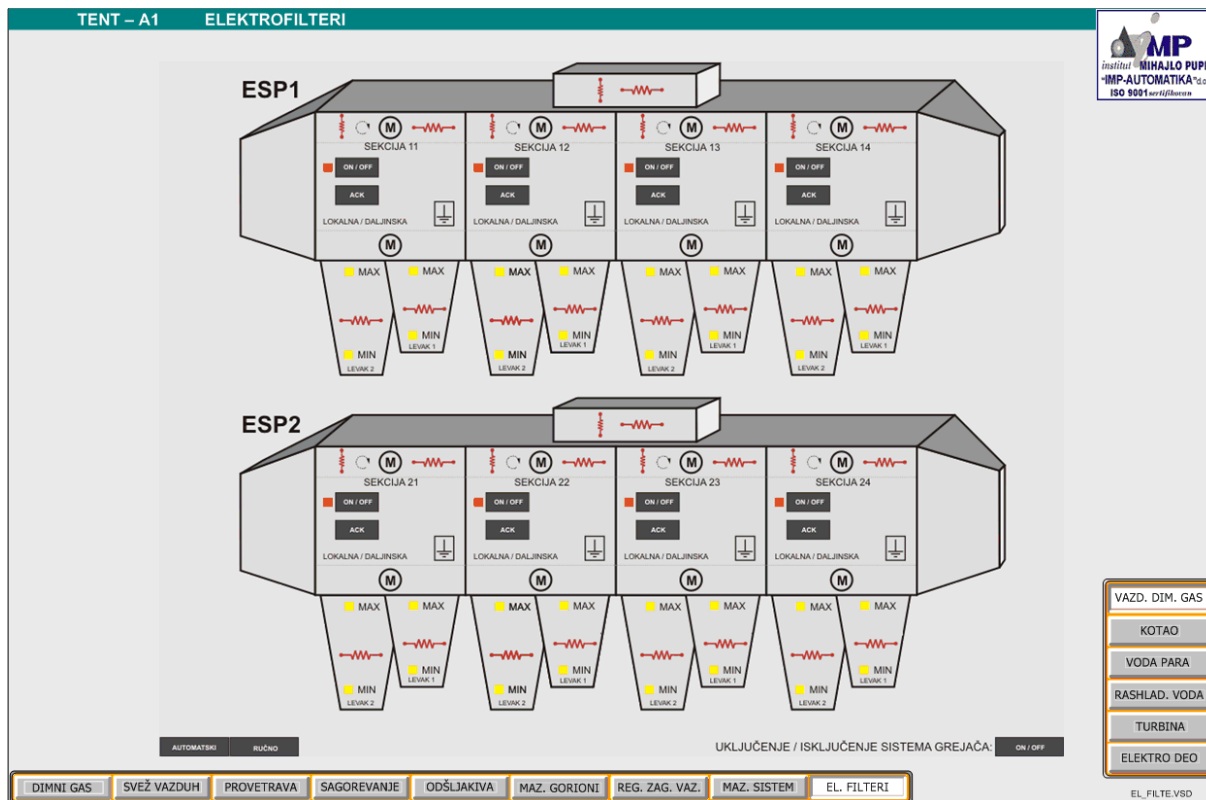
Upravljački ekran na monitoru u komandnoj sobi bloka ima izgled kao na slici 12. Na njemu su implementirana, pored neophodnih komandi za upravljanje kompletnim elektrofilterom, i sva analogna merenja.

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 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 iz PC računara.

Na svakom od uređaja je, takođe, ugrađena zasebna kartica za izolovanu RS485 serijsku vezu sa MAX1480/90 izolatorom za povezivanje nadređenog računara. Ovaj čvor serijske veze galvanski izolovan za 1 kV i ima ulogu MASTER-a.



Slika 12. Izgled ekrana za upravljanje elektrofilterom na SCADI

Osnovne karakteristike

- **Osnovna funkcija**
 - regulacija napona i struje elektrofiltera
- **Režimi rada automatskog regulatora**
 - test, intermitentni, kontinualni
- **Vrsta upravljanja**
 - lokalno/daljinski
- **Ograničavači**
 - napona i struje elektrofiltera
- **Dodatne funkcije**
 - upravljanje motorima otresaća emisionih i taložnih elektroda,
 - upravljanje glavnim grejačima potpornih izolatora,
 - upravljanje glavnim i pomoćnim grejačima rotacionih izolatora,
 - regulacija temperature zidova levkova,
 - regulacija temperature vazduha u VN komorama sa potpornim izolatorima
- **Merenja**
 - merenje AC struje elektrofiltera,
 - merenje DC struje elektrofiltera,
 - merenje DC napona elektrofiltera,
 - merenje temperature zidova levkova i potpornih izolatora,
 - merenje temperatura ulaznog i izlaznog gasa,
 - merenje pritiska ulaznog i izlaznog gasa,
 - merenje emisije čvrstih čestica u gasu
- **Realizacija VN merenja**
 - optička veza sa regulatorom
- **Realizacija automatskog regulatora**
 - mikroprocesorski tip INT-ETF 2005
- **Prednosti**
 - Integrisano i koordinirano upravljanje naponom, otresanjem i grejanjem
 - Rana detekcija korone i prevencija pojave luka
 - Efikasno čišćenje
 - Ušteda električne energije
 - 100%-na topla rezerva za upravljanje otresanjem i grejanjem
 - Modularna izvedba

Tehnički podaci

- Nominalni napon 400V
- Nominalna frekvencija 50Hz
- Nominalna naizmenična struja $\leq 1000\text{A}$
- Maksimalni jednosmerni napon elektrofiltera 106kV
- Nominalna jednosmerna struja elektrofiltera $\leq 2000\text{mA}$
- Prenosni odnos strujnog mernog transformatora x/1A/A
- Prenosni odnos naponskog mernog transformatora 380/10V/V
- Opseg merenja jednosmernog napona elektrofiltera 0 – 120 kV
- Opseg merenja jednosmerne struje elektrofiltera 0 – 2000mA
- Opseg merenja analognih ulaza 4 – 20mA
- Naponi napajanja elektronike
 - 24VDC, $\pm 15\text{VDC}$, 5VDC
- Napon upravljanja 230VAC, 50Hz
- Karakteristike digitalnih ulaza
 - relejni, 6A, 250V do 200m udaljenosti
 - optokaplanski do 10m udaljenosti
- Karakteristike digitalnih izlaza
 - relejni, 6A, 250V
- Karakteristike PWM izlaza iz regulatora
 - češalj, 50% duty cycle, 16kHz, 10mA, active - HI, +5V
- Broj analognih ulaza u regulatoru 17
- Broj digitalnih ulaza u regulatoru 60
- Broj digitalnih izlaza iz regulatora 12
- Broj PWM izlaza iz regulatora 2
- Serijska komunikacija RS485
- Protokol za komunikaciju MODEBUS
- Vizualizacija:
 - lokalna: LCD displej 16x2 karaktera, tastatura sa 8 tastera
 - daljinska: ekran na SCADI
- Realizacija energetskeg sklopa
 - antiparalelni tiristori W1C
- Zaštite energetskeg sklopa
 - RC, brzi osigurač i temperaturna
- Zaštita razvoda
 - prekostrujna sa vremenskim zatezanjem
 - kratkospojna
 - RC filter
- Vrsta hlađenja prinudno vazdušno
- Temperatura okoline
 - radna 0 - +40°C
 - skladištenje -20 do +75°C
- Ispitni napon 2kV
- Dimenzije ormara (Š x V x D)
 - 850x2250x875mm
- Mehanički podaci
 - Težina 150 kg
 - Klasa zaštite IP 20



ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT "NIKOLA TESLA"

Centar za automatiku i regulaciju

11000 Beograd, Koste Glavinića 8a

Tel: + 381 11 3690-548, +381 11 3691-447, Fax: +381 11 3690-823

<http://www.ieent.org>, Email: adusan@ieent.org