

19. IZRADA, ISPITIVANJE I PUŠTANJE U RAD SISTEMA ZA NAPAJANJE, REGULACIJE NAPONA I UPRAVLJANJE OTRESAČIMA I GREJAČIMA NA ELEKTROSTATIČKOM FILTERU BLOKA A5 U TE "KOLUBARA A"

Urađeno za: TE "Nikola Tesla A", Obrenovac
Rukovodilac projekta: mr Ilija Stevanović, dipl.ing., Rajko Prole, dipl. ing.
Saradnici: Darko Jevtić, dipl. ing.
Mladen Ostojić, dipl. ing.
Slobodan Josifović, ing.
Sava Dobričić, dipl. ing.

Elektrofilteri su uređaji koji služe za prečišćavanje industrijskih otpadnih gasova izdvajanjem sitne prašine i kapljica raspršenih u gasu. Tipični pogoni u kojima se primenjuju elektrofilteri su termoelektrane, toplane na uglj, industrija cementa, metalurgija itd. Sadašnji propisi definišu da je dozvoljeni stepen pepela u vazduhu 50 mg/m³ što je znatno manje nego što je realna situacija. Zbog toga se vrše rekonstrukcije elektrofiltera povećanjem njihove zapremine i unapređenjem napajanja i načina regulacije napona.

U sklopu projekta za rekonstrukciju elektrofilterskog postrojenja u TE "Kolubara A" na bloku A5 urađena je zamena upravljačkih ormana koji služe za napajanje i regulaciju napona visokonaponskih ispravljača svake sekcije. Pored toga, u ovim ormanima se u zajedničkom regulatoru nalazi i regulacija temperature izolatora i levkova i upravljanje motorima otresača. Regulatori su urađeni kao jedinstveni uređaji koji objedinjuju regulaciju napona elektrofiltra, regulaciju temperature izolatora i upravljanje otresačima. Na njima se, takođe, nalazi signalizacija uklopnog stanja prateće opreme, signalizacija naloga za uključenje opreme koji potiču od regulatora i signalizacija prorade zaštita.

Svaka regulaciona jedinica je u stanju da reguliše napon u sekciji na koju je povezana, da upravlja otresačima koji se nalaze u toj sekciji, da reguliše temperaturu levkova koji su vezani za tu sekciju i da upravlja svim grejačima rotacionih i potpornih izolatora na celoj polovini elektrofiltra u kojoj se nalazi posmatrana sekcija. Na taj način omogućen je nezavisan rad ostalih sekcija u elektrofilteru pri ispadu neke od sekcija. Pomoćni uređaji koji su vezani za tu sekciju, kao što su otresači elektroda u sekciji i grejači levkova će se, takođe, u tom slučaju isključiti. Međutim, grejači potpornih i rotacionih izolatora će ostati uključeni jer ih kontrolišu ostale sekcije. Na taj način je kod ovih uređaja obezbeđena višestruka topla rezerva u njihovom upravljanju. U ovom konkretnom slučaju ona iznosi tri puta. Tako velika rezerva u suštini nije potrebna, ali je neophodno ostvariti za koncepciju uređaja sa objedinjenim upravljanjem koja je primenjena u izradi ovih uređaja.

Regulaciju napona elektrofiltra je moguće ostvariti pomoću tri modusa rada, i to: direktno upravljanje uglom vođenja tiristora (test režim), kontinualno upravljanje i intermitentno upravljanje. Pri kontinualnom režimu rada, regulator

održava zadatau naizmeničnu struju na primarnoj strani ispravljačkog transformatora do pojave proboja ili prorade limitera jednosmernog napona ili struje. U intermitentnom režimu rada se u pravilnim vremenskim intervalima sa kontinualnom regulacijom napona elektrofiltra ubacuju znatno kraći vremenski intervali u kojima je prekinuto vođenje tiristora. Na taj način moguće je prvenstveno izbeći pojavu povratne korone i učestalih kratkih spojeva kod visokootpornog pepela i smanjiti potrošnju električne energije. Posledica svega toga je povećana efikasnost čišćenja dimnog gasa i povećana energetska efikasnost elektrofiltra.

Spoljni izgled sistema za napajanje i upravljanje elektrofilterom bloka A5 u TE "Kolubara A" je prikazan na slici 1.



Slika 2. Spoljni izgled sistema za napajanje i upravljanje elektrofilterom

Filter se sastoji iz dve paralelne grane, ESP1 i ESP2. U svakom ESP postoje 4 sekcije za regulaciju napona. U svakoj sekciji imamo po jedan ormar (sa tri DSP kartice, KONTROLNA i dve PLC kartice). Svaki elektrofilter je podeljen na 3 zone. U prvoj zoni se nalaze dve sekcije, a u preostale dve zone po jedna sekcija.

U svakoj sekciji monofazno napajanje 400V, 50 Hz se, preko kompaktnog prekidača sa prekostrujnom i kratkospojnom zaštitom i kontaktora, dovodi na antiparalelnu vezu tiristora koji se fazno upravljaju, i preko prigušnice napajaju

primar visokonaponskog ispravljačkog transformatora. Jednopolna šema napajanja sekcije elektrofiltera prikazana je na slici 2.

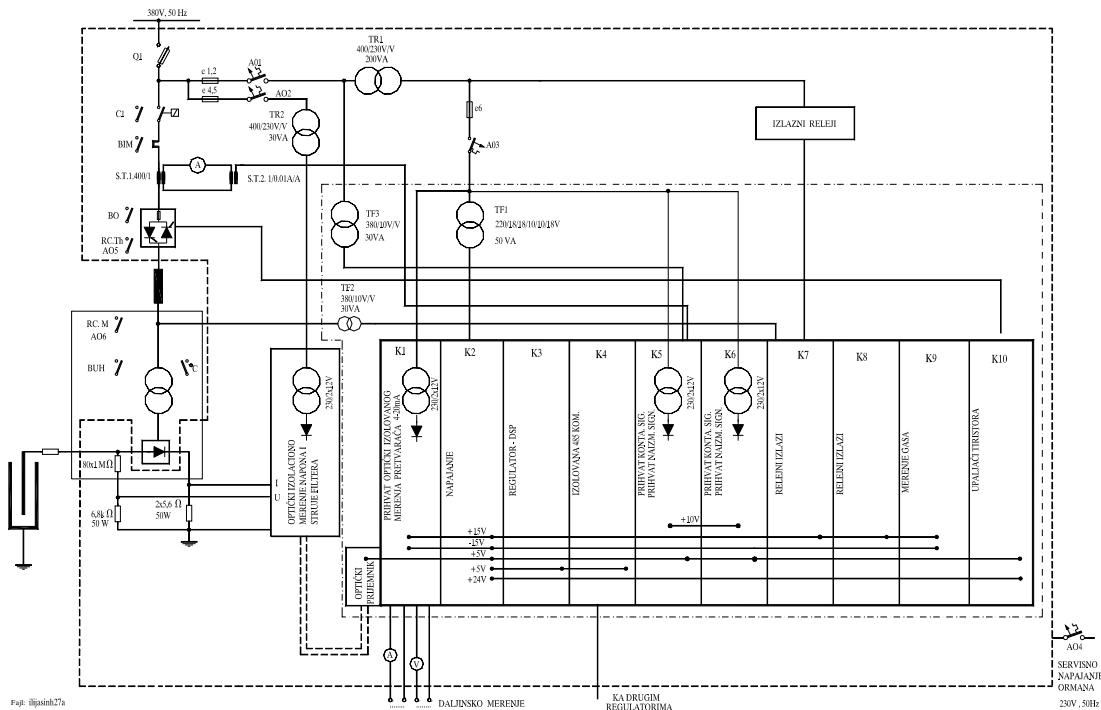
Napajanje elektronike i relejne automatike se realizuje nezavisno, iz istog monofaznog izvora, ali tako da može da radi kada je kontaktor otvoren. Ne predviđa se backup napajanje elektronike iz jednosmernog izvora.

Napon na primaru (sa prigušnicom) se meri naponskim transformatorom 380/10 V/V i u obliku +/-10V dovodi na DSP karticu. Struja primara se meri strujnim transformatorom 300A/1A (600A/1A) i preko još jednog strujnog transformatora 1A/0,01A u obliku signala amplitude manje od +/-10V dovodi na DSP karticu.

Sekundar ispravljačkog transformatora se dovodi na diodni ispravljač visokog napona. Transformator, ispravljač i VN otpornik su u zajedničkom sudu, u ulju.

U sklopu transformator-ispravljač u svakoj sekciji se nalazi temperaturni prekidač koji daje indicaciju da temperatura prevazilazi 80 oC, temperaturni prekidač koji daje indicaciju da temperatura prevazilazi 90 oC, signal nizak nivo ulja, signal visok pritisak ulja, stanje rastavljača za uzemljenje, merenje jednosmernog Udc napona i jednosmerne Idc struje.

Pozitivan pol napajanja ispravljača se preko šant otpornika od 1,25 Ω (0.71 Ω), za merenje struje Idc, na kome se generiše napon do 1V dovodi na pozitivnu elektrodu koja je uzemljena.



Sl. 2. Jednopolna šema sekcije elektrofiltera

Negativan pol ispravljača se dovodi na negativnu elektrodu preko zaštitnog otpornika. Napon negativne elektrode se meri preko VN otpornika od 265 M Ω koji zajedno sa ekvivalentnim otpornikom od 5,0 k Ω formira razdelnik napona. Ekvivalentni otpornik je dobijen kao paralelna veza spoljašnjeg otpornika od 6,8 k Ω i unutrašnjeg otpornika u optičkom pretvaraču. Signal dobijen na razdelniku napona se dovodi u zaseban elektronski sklop koji obezbeđuje da se, preko optičkog kabla i V/F & F/V konverzije, signal napona prenese na DSP karticu u obliku naponskog signala vrednosti 0-10V. Ovaj signal se u mernom pretvaraču, takođe, pretvara u signal 0 – 2,5V koji se vodi na instrument na ormanu elektrofiltera.

Struja I_{dc} , koja se meri preko šant otpornika u „+“ polu ispravljača se dovodi u zaseban elektronski sklop koji obezbeđuje da se, preko optičkog kabla i V/F & F/V konverzije, signal napona prenese na DSP karticu u obliku jednosmernog napona od 0-10V. Ovaj signal se u mernom pretvaraču, takođe, pretvara u signal 0 – 2,5 V koji se vodi na instrument na ormanu elektrofiltera.

U kontinualnom režimu rada (detekcija korone) napon se postepeno uvećava do detekcije korone, nakon čega se naglo smanji kako ne bi došlo do proboja, a potom ponovo uveća u manjim ili većim koracima. Pri ovome se korona detektuje na osnovu merenja primarne struje I i napona U, kao i promenljivih I_{dc} i U_{dc} , putem detektovanja trenutne vrednosti impedanse.

Lista parametara za ovaj mod regulacije je:

- vrednosti parametra (+dU/dt), koji se primenjuju u funkciji amplitude napona,
- negativna strmina (-dU/dt) za umanjenje napona,
- vrednost napona na koji se pada kod detekcije korone, sa strminom (-dU/dt),
- vreme (broj celih perioda) koje se provodi na niskom (ili nultom) naponu nakon detekcije korone,
- vrednost skoka (bez dU/dt ograničenja) na koji se napon vraća nakon isteka OFF-perioda.

Očekivane performanse: detekcija oko 15 korona u minuti.

Intermitentni režim rada se odvija u režimu regulacije struje. U intermitentnom radu se najpre zada ugao paljenja koji rezultuje željenim skokom struje (I_{P-MAX} , maksimalna struja), a potom se dostignuti ugao paljenja zadržava, pri čemu struja opada jer se 'kondenzator' napunio.

Nakon ovog intervala, sledi 'base time' interval u kome se reguliše struja na vrednost I_{base} . Nakon ovog intervala, sledi pauza u toku koje je struja jednaka nuli. Parametri za podešavanje su:

- I_{P-MAX} – maksimalna struja,
- I_{base} – struja u toku "base time" intervala,
- T_{base} - trajanje "base-time" intervala,
- T_{off} - trajanje intervala sa nultom strujom.

Na svaki interval se dodaje potreban broj poluperioda kako bi se dobio ukupan broj poluperioda koji je paran, kako bi se postigla simetrija rada transformatora.

Test režim u automatskom regulatoru predstavlja direktno zadavanje ugla upravljanja tiristora i koristi se pri ispitivanju elektrofiltera.

U svakom od uređaja postoji dodatni analogni ulaz za merenje iznosa čestica u izlaznom gasu, kako bi se uspostavila sekundarna regulacija.

Neprozirnost gasa se meri na izlazu svakog ESP. Ima ukupno 1 merenje po ESP. Neprozirnost se meri tako da se opseg od 0 – 200 mg/m³ preslikava u opseg od 4mA do 20mA.

Pritisak i temperatura gasa se mere na ulazu i izlazu svakog ESP. Ima ukupno 4 merenja po ESP. Ulazni i izlazni pritisak se meri tako da se opseg od - 4.5 kPa do + 0.5 kPa preslikava u opseg od 4mA do 20mA. Temperatura od 0 do 300 °C se preslikava u opseg od 4 mA do 20 mA. Signali se distribuiraju tako da se ulazni i izlazni pritisak i temperatura mere u svim sekcijama vezanim na red od davača.

Na svakom uređaju postoje 3 vremenski pomerena digitalna izlaza sa odgovarajućim pauzama koji daju komandu 'uključiti motore'. Oni uključuju jedan motor za otresanje emisionih elektroda, jedan motor za otresanje taložnih elektroda i jedan motor za otresanje klapni u uređaju za distribuciju gasa.

Radni kontakti sklopki motora (koje se mogu isključiti usled delovanja prekostrujne zaštite) ulaze u regulator kako bi se imala informacija o otkazu motora za otresanje.

Upravljanje otresanjem se obavlja u vidu programabilne logičke sekvence koju vodi svaki uređaj zasebno. Ciklusi otresanja su toliko veliki da praktično nije potrebna sinhronizacija između pojedinih sekcija.

Svaka sekcija ima motor za **otresanje emisione elektrode i motor za otresanje taložne elektrode**. U okviru jednog ESP, postoje 4 emisione i 4 taložne elektrode (tj. grupe elektroda). Svaki motor se uključuje preko sklopke i kontaktora. Za svaki motor, postoji 1) detekcija stanja kontaktora, 2) detekcija kvara, 3) očitavanje stanja prekidača za prinudno isključenje (tj. servisni prekidač). Detektuje se i stanje prisustva napajanja 230VAC za napajanje motora otresača. Pored toga, motor koji otresa emisionu elektrodu ima i indultivni davač koji detektuje obrtanje tog motora. Naime, da rotacioni izolator ne bi prsao kod zaglavlivanja, ugrađuje se mehanički osigurač – štift. On se ugrađuje na vratilo motora, na neizolovanom delu, pre izolatora i elektroda. Nakon štifta ugrađuje se iduktivni davač koji služi za detekciju obrtanja, tj. detektuju se impulsi, u odsustvu kojih se zaključuje da je štift pukao.

Potrebno je još izvršiti **otresanje klapni u uređaju za distribuciju gasa** na ulaznim kanalima u svaki elektrofilter. To se vrši sa po jednim motorom za svaki ESP.

Logika uključanja i isključenja motora otresača

Uključenje sekcije lokalno, daje odmah i uključuje motora u ciklusu za tu sekciju.

Uključenje preko LCD-a sa DSP kartice uključuje i isključuje motore u ciklusu.

Trajno uključanje motora je moguće jedino lokalno sa LCD displeja.

Uključenje sekcije daljinski uključuje i motore.

Daljinsko uključanje motora je moguće i nezavisno od sekcije i to je „uključenje u ciklusu“, a ne trajno.

Napajanje motora isključuje nalog za uključanje kontaktora i aktivira ZSK (zbirni signal zaštita).

Kvar motora isključuje nalog za uključanje kontaktora i aktivira ZSK.

Stanje sklopke u napajanju motora isključuje nalog za uključanje kontaktora i aktivira ZSK.

Stanje uključenosti kontaktora ne isključuje nalog ali se javlja ZSK.

Detekcija okretanja otresača emisionih elektroda uključuje alarm-obaveštenje na SCADA-i ako, posle zadavanja naloga za uključanje motora emisione elektrode, nema povorke impulsa na impulsnom davaču.

Kod motora ZSK se javlja tek posle zadavanja komande za uključanje motora.

ZSK ostaje dok se smetnja ne otkloni a kvitira se automatski otklanjanjem uzroka.

Svaka zona elektrofiltra poseduje po dva levka. Svaki levak ima **davač minimalnog MIN nivoa pepela**, i **davač maksimalnog MAX nivoa pepela**. Davač MIN je „rana opomena“, dok je nivo koji odgovara davaču MAX veoma blizak elektrodama, tako da pepeo može lako načiniti kratak spoj između elektroda koje se nalaze iznad levaka (opomena). Davači su kapacitivni. U prvoj zoni u dve sekcije se očitavaju svaka stanja nivoa pepela. U ostalim zonama svi signali se dovode na posebne sekcije.

Temperatura svakog od levaka se meri. Temperatura 0-200 °C daje 4-20 mA. Referentna temperatura je 75 °C. **Grejači levkova** se uključuju i isključuju kako bi održali zadatu temperaturu. Levak se greje da se pepeo ne bi lepio za njegove zidove i da bi klizio u otvor.

Signal senzora temperature levkova u prvoj zoni je redno vezan u prvoj i drugoj sekciji. U drugim zonama svaki senzor temperature ima svoju sekciju.

Grejači levka se uključuju preko jednog kontaktora (jedan kontaktor po levku) čije stanje se detektuje (uključen ili ne). Detektuje se i kvar grejača koji se očitava sa prekostrujne zaštite na sklopci za napajanje. Pored ovoga, postoji i termostat. Davač termostata je ugrađen u sam grejač, i on detektuje havarijsku situaciju u kojoj temperatura žice grejača prelazi 500 °C. Tada se kolo grejača prekida. Stanje termostata se zasebno očitava. Pored toga, detektuje se stanje 230V napajanja grejača (prisutnost napajanja).

U prvoj zoni dve sekcije upravljaju sa istim grejačem, a stanje grejača, takođe, očitavaju dve sekcije. U ostalim zonama svi signali se dovode na posebne sekcije.

Svaki ESP poseduje 4 sekcije emisionih elektroda. One se otresaju, sa po jednim motorom. Čekići otresača su razdvojeni od osovine ova 4 motora keramičkim rotacionim izolatorom. Ovi izolatori se greju, poseduju **glavne grejače rotacionih izolatora**. Pored toga, kućišta, koja štite ovakav sistem, poseduju **pomoćne grejače** koji greju vazduh unutar kućišta. Svi glavni rotacioni izolatori unutar jednog ESP imaju grejače koji se uključuju skupa, preko iste sklopke i kontaktora. Pomoćni grejači se uključuju preko druge sklopke i kontaktora. Detektuje se stanje uključenosti kontaktoar, kao i detekcija kvara grejača rotacionih izolatora sa sklopke.

Emisione elektrode se oslanjaju na ukupno 32 potporna izolatora, odnosno 4 po svakoj sekciji. Oni se smeštaju po 2 u HV komorama u zonama 2 i 3, a po 4 u HV komorama prve zone. Ukupan broj HV komora za oba elektrofiltera je 12. U svakom izolatoru je grejač, tzv. **glavni grejač potpornih izolatora**. **Pomoćni grejač** greje samu HV komoru, tj. vazduh u njoj. Svi izolatori se greju kako bi se time pri uključanju temperatura približila temperaturi dima koji dolazi iz kotla, kako ne bi došlo do prskanja materijala od koga su izolatori načinjeni.

Temperatura se meri u svakoj HV komori, i to uz pomoć PT100 senzora. Davač daje 4-20 mA za 0-300 °C. Temperaturu treba regulisati na oko 105 °C. Isključuju se i ponovo po potrebi uključuju pomoćni grejači, dok su glavni uvek u funkciji, stalno su uključeni.

Signal senzora temperature HV komora u prvoj zoni je redno vezan u prvoj i drugoj sekciji. U drugim zonama svaki senzor temperature ima svoju sekciju.

Napajanje 230V je isto za sve grejače, pa se ispad napajanja detektuje samo na jednom ulazu po ESP. Ovaj signal je evidentiran kod grejača levkova, kao 'Prisustvo napajanja 230V za grejače'.

Ispad automata za napajanje grejača u HV komorama se detektuje preko 2 pomoćna kontakta. Detektuje se posebno ispad grupe automata grejača potpornih izolatora, a posebno grejača vazduha u HV komorama sa potpornim izolatorima.

Logika uključanja i isključenja grejača

Uključenje sekcije lokalno, daje odmah i uključanje grejanja za tu sekciju.

Uključenje preko LCD-a sa DSP kartice uključuje i isključuje grejanje.

Uključenje sekcije daljinski ne uključuje grejanje već se daljinski grejanje uključuje na poseban nalog.

Napajanje grejača isključuje nalog za uključanje kontaktora i aktivira ZSK.

Kvar grejača isključuje nalog za uključanje kontaktora i aktivira ZSK.

Prorada termostata isključuje nalog za uključanje kontaktora i aktivira ZSK.

Stanje uključenosti kontaktora ne isključuje nalog ali se javlja ZSK.

Kod grejača potpornih i rotacionih izolatora ZSK se javlja i pre i posle davanja komande za uključanje grejača.

Kod grejača levkova ZSK se javlja tek posle zadavanja komande za uključenje grejača, kao i kod motora otresača.

ZSK ostaje dok se smetnja ne otkloni a kvitira se automatski otklanjanjem uzroka.

Unutrašnji izgled ormana za napajanje i regulaciju elektrofiterom je prikazan na slici 3. U donjem delu ormana se nalaze kompaktni prekidač, glavni kontaktor za uključenje sekcije i strujni transformator. Pri vrhu ormana postavljen je antiparalelni tiristorski sklop sa ventilatorom. U središnjem delu ormana se nalazi regulator elektrofitera sa automatskim osiguračima. Sa zadnje strane ormana je omogućen pristup relejima, transformatorima za napajanje i merenje, optičkim pretvaračima i priključnim klemama.

U automatskom regulatoru je posredstvom analognih i digitalnih pretvarača na ulazu, releja na izlazu i tiristorskog upaljača omogućen prenos signala do i od mikroprocesorskog (DSP) modula.

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

Analogni ulazi su u formatu čija vršna vrednost ne prelazi +/- 10V.

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

PWM izlazi generišu dva signala za okidanje tiristora. Maksimalna širina im je 5 ms, ili do isteka poluperiode. Signali su sa češljem, 50% trajanja uključenja u ciklusu, 16 kHz učestanosti. Opterećenje je manje od 10 mA, signal je activan za +5V.



Slika 3. Unutrašnji izgled upravljačkog ormara elektrofiltera

Parametriranje i komunikacija je ostvarena pomoću LCD displeja sa 16x2 karaktera i tastature sa 8 tastera koji se nalaze na prednjim vratima uređaja. Posredstvom njih i softverske podrške (menu) moguće je izvršiti izmenu parametara, pozive funkcija, inspekciju, konfigurisanje itd. Tastatura i displej su povezani sa DSP pločom neizolovano, preko oklopljenog kabla dužine 1,5 m.

Programiranje DSP-a preko neizolovane serijske veze iz PC računara.

Pomoću laptop računara moguće je ostvariti komunikaciju neizolovanom serijskom vezom RS232 sa modulom DSP1. Na ivici DSP kartice, sa prednje strane je ugrađen DB9 ženski konektor na kome su raspoloživi signali potrebni za komunikaciju. Komunikacija se vrši sa 2400bps. Na taj način mogu se očitati stanje ulaznih i izlaznih parametara, izvršiti njihova promena i zadavati određene naredbe.

Svi parametri se mogu uvek očitavati, bez zabrane, upisom adrese modula (KA=10), broja mnemonika koji se želi očitati (PA=1-30) i naredbe za prikazivanje vrednosti PD.

Upis novih vrednosti se vrši uz dozvolu koja se dobije unosom vrednosti parametra PP.

Na svakom od uređaja je, takođe, ugrađena zasebna kartica za izolovanu RS485 serijsku vezu sa MAX1480/90 izolatorom za povezivanje nadređenog

računara. Na ivici kartice se nalazi ženski konektor DB9, ali je komunikacija stvorena pomoću konektora i priključne lajsne na uređaju.

Ukupno stanje ulaza i izlaza na regulatoru je:

- **50 digitalnih ulaza** iskorišćeno, **rezerva 10** od ukupno 60,
- **18 digitalnih izlaza** iskorišćeno, **rezerva 3** od ukupno 21,
- **14 analognih ulaza** iskorišćeno, **rezerva 4** od ukupno 18,
- **2 PWM izlaza** iskorišćeno, **rezerva 4** od ukupno 6.

Sadašnji svetski standardi koji se odnose na povećanje efikasnosti čišćenja i energetske efikasnosti savremenih elektrostatičkih izdvajča pepela iz dimnih gasova (elektrofiltera) u industrijskim postrojenjima koji sagorevaju ugalj, doveli su do proširenja kapaciteta postojećih elektrofiltera i razvoja novih metoda napajanja i načina regulacije napona, kao što je intermitentno napajanje.

Prednosti intermitentnog napajanja u odnosu na klasično kontinualno napajanje su efikasnije čišćenje, ušteda energije, smanjena mogućnost pojave povratne korone i kratkih spojeva među elektrodama i jeftina rekonstrukcija postojećih elektrofiltera jer se koristi ista oprema, a samo se menja automatski regulator zbog promene algoritma upravljanja tiristorima.

U ovom radu je opisan način realizacije uređaja za intermitentno napajanje elektrofilterskog postrojenja sa mikroprocesorskim regulatorom uspešno primenjenog na agregatu 5 u TE "Kolubara A".