

DOI: [10.46793/CIGRE37.B4.07](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B4.07)**B4.07****РЕКОНСТРУКЦИЈА НАПОЈНО УПРАВЉАЧКИХ ОРМАНА
ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИХ ОТРЕСАЧА НА ЕЛЕКТРОФИЛТЕРУ БЛОКА Б1 У ТЕ
КОСТОЛАЦ Б****RECONSTRUCTION OF POWER CONTROL CABINETS OF ELECTROMAGNETIC
RAPERS ON ELECTROSTATIC SEPARATOR OF BLOCK B1 IN TPP KOSTOLAC B****Срђан Перић, Никола Славковић, Благота Јовановић, Младен Остојић, Младен
Милошевић, Јелена Павловић, Мирослав Драгићевић, Илија Стевановић***

Кратак садржај: Исправан рад отресача, без обзира на њихов начин покретања, са техничко-технолошког аспекта је један од услова за што бољи рад електростатичког филтера (ЕФ), односно што мању емисију прашкастих материја у атмосферу. Укупан број електромагнетних отресача обе коморе ЕФ-а блока 1 у ТЕ Костолац Б је 670. Управљање је реализовано са по два напојно управљачка ормана по комори. Коморе имају по 6 зона, а сваки напојно управљачки орман контролише по 3 зоне. У односу на моторни погон отресача, електромагнетни пружа више могућности при избору начина подешавања рада отресача што директно утиче на сложеност напојно управљачке опреме. Примењена решења у софтверском и електро делу, након реконструкције погона електромагнетних отресача 2024. године, допринела су поузданијем раду како отресача, тако и ЕФ-а у целини.

Кључне речи: Електрофилтер - Електромагнетни отресач - Напајање - Управљање

Abstract: Proper operation of rappers, regardless of the way they are started, from a technical-technological point of view is one of the conditions for the best possible operation of the electrostatic precipitator (ESP), i.e. the least amount of powdery substances emitted into the atmosphere. The total number of electromagnetic rappers of both ESP chambers on thermal block 1 in TPP Kostolac is 670. Control is realized with two power control cabinets per chamber. The chambers have 6 zones each, and each power control cabinet controls 3 zones. In relation to the motor, the electromagnetic drive of rappers provides more options when choosing the way of setting the rappers, which directly affects the complexity of the power supply management equipment. The applied solutions in the software and energy part,

*Срђан Перић, Електропривреда Србије АД, ТЕ Костолац, srdjan.peric@eps.rs

Никола Славковић, Електропривреда Србије АД, ТЕ Костолац, nikola.slavkovic@eps.rs

Благота Јовановић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, blagota.jovanovic@iecent.org

Младен Остојић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, mladen.ostojic@iecent.org

Младен Милошевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, mladen.milosevic@iecent.org

Јелена Павловић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, jelena.pavlovic@iecent.org

Мирослав Драгићевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, miroslav.dragicevic@iecent.org

Илија Стевановић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, ilija.stevanovic@iecent.org

after the reconstruction of the electromagnetic rappers drive in 2024, contributed to more reliable operation of both the rappers and the electrostatic precipitator as a whole.

Key words: *Electrostatic Precipitator - Electromagnetic Rapper- Power Supply - Control*

1 УВОД

У електростатичким филтерима издвајање прашкастих материја се врши помоћу високог негативног једносмерног напона [1]. Издвојене честице прашине се таложе на таложним електродама и у мањој мери на емисионим. Одвајање честица прашине од електрода врши се помоћу електромоторних или електромагнетних отресача који својим „чекићима“ ударају по носачима електрода и са њих отресају нагомилану прашину.

Класични начин одвајања нагомилане прашине са електрода је помоћу електромоторних отресача [2]. Електрични мотор, преко редуктора брзине, покреће вратило на коме се налазе „чекићи“. Они су спирално постављени на њему како не би истовремено ударили по електродама.

Последњих година се све више користе електромагнетни отресачи [3]. Они за погон појединог отресача користе електромагнет који подиже котву (чекић), а после искључења магнета, под утицајем гравитационе силе чекић удара о „наковањ“ и доводи до отресања електрода.

У ТЕ „ Костолац Б“ на електрофилтеру блока Б1, произвођач електрофилтера је први пут у Србији, приликом замене електрофилтера 2014. године, применио електромагнетне отресаче електрода.

У претходном периоду је дошло до учесталих кварова на систему напајања и управљања електромагнетним отресачима иако сами електромагнети нису имали веће кварове. Због тога је 2024. године развијен уређај домаће производње за напајање и управљање електромагнетним отресачима електрода. Овај уређај је поред обавезних функција које омогућују основни рад отресача омогућио и додатне могућности у алгоритмима управљања.

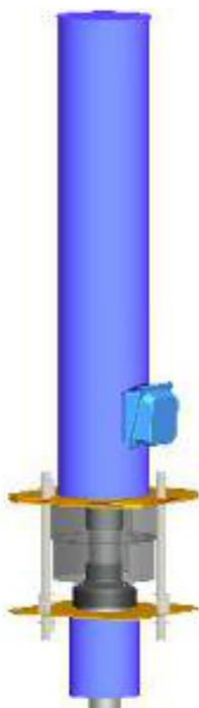
2 КРАТКО ПОРЕЂЕЊЕ ЕЛЕКТРОМОТОРНОГ ПОГОНА ОТРЕСАЧА СА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИМ

Предности електромагнетног система отресања електрода у односу на моторни са спирално постављеним чекићима на осовини су:

- Могућност промене силе деловања сваког чекића на наковањ електрода,
- Режији отресања по секцијама или зонама,
- Независност отресања електрода, 2 електромагнета по електроди,
- С обзиром да су отресачи постављени на крову електрофилтера значи да се налазе ван високонапонског поља што омогућава једноставнији преглед уређаја, његову замену и поправку без заустављања електрофилтера, а самим тим и једноставније одржавање,
- Један покретни део.

3 ОПИС СИСТЕМА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ОТРЕСАЊА

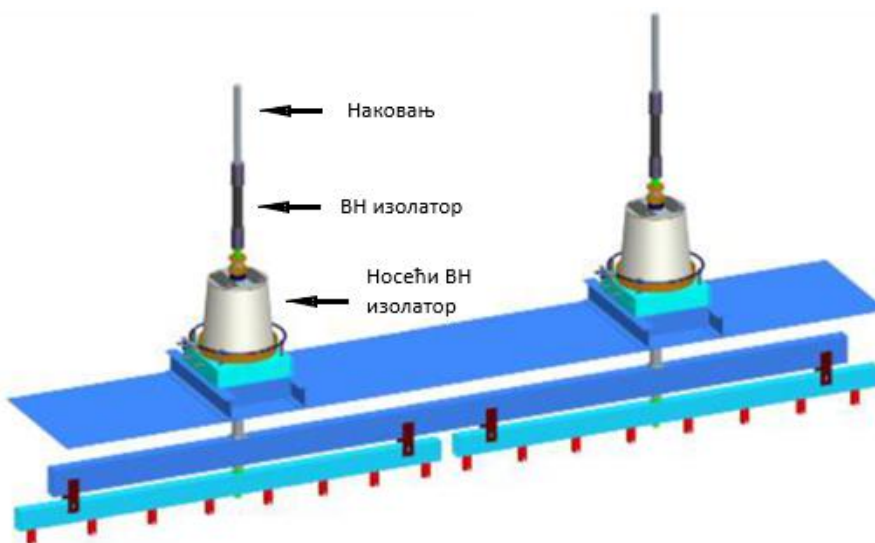
Електромагнетни отресач има облик вертикалног цилиндра у коме се налазе: намотај електромагнета, котва (чекић) и наковањ. Наковањ је повезан директно са таложним електродама, а преко високонапонског изолятора са емисионим електродама. Изглед електромагнетног отресача дат је на слици 1, док је систем преноса силе вибрације на електроде преко наковања дат на слици 2 за таложне електроде и на слици 3 за емисионе електроде.



Слика 1: Изглед електромагнетног отресача



Слика 2: Таложне електроде са наковњем



Слика 3: Носећи изолатори емисионих електрода са наковњем

4 УПРАВЉАЊЕ И НАПАЈАЊЕ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИХ ТРЕСАЧА

Систем напајања и управљања електромагнетним отресачима мора да задовољи поуздан рад како у нормалном раду тако и у специфичним стањима погона. Уграђена опрема са изведеним идејним решењима у управљању, надзору и заштити система задовољава постављене захтеве.

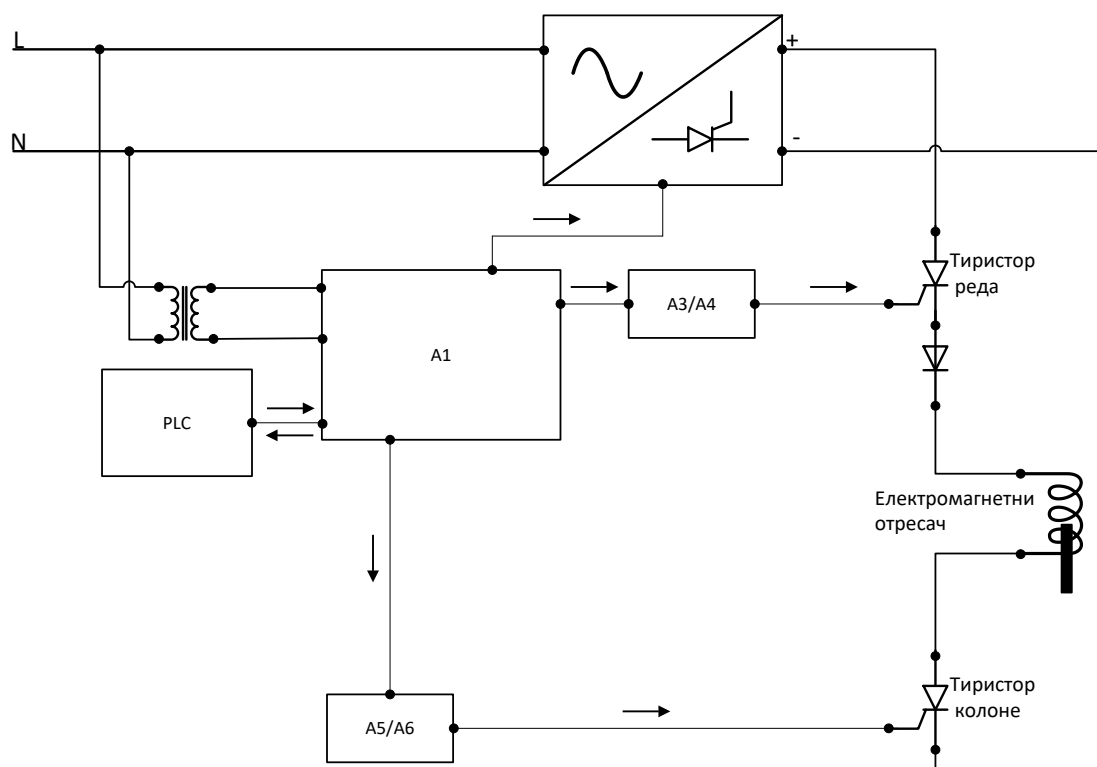
4.1 Напајање и управљање

Управљање је реализовано у микропроцесорској техници са 5 управљачких картица, и то:

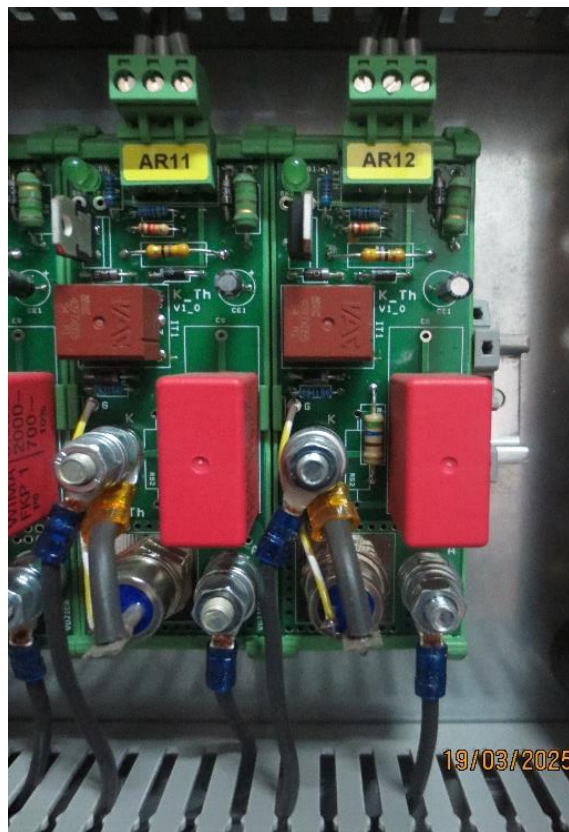
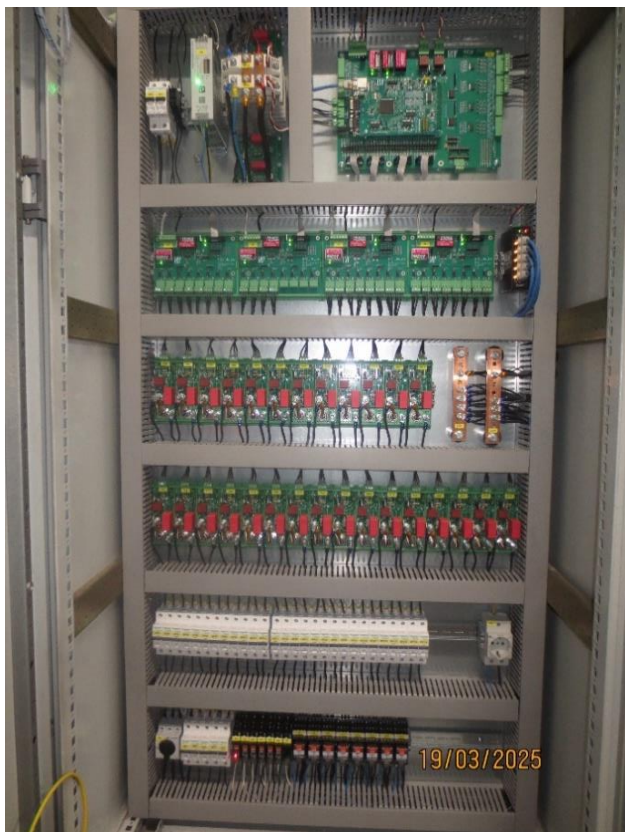
- A1 – главна картица електронике,
- A3 и A4 – осмочаналне картице за управљање тиристорима редова и
- A5 и A6 – осмочаналне картице за управљање тиристорима колона.

Поред горе поменутих управљачких картица електронике у сваком од уређаја се налази укупно по 28 упаљачких картица тиристора редова/колона.

Напајање електромагнетних отресача остварено је са једнофазним пуноталасним полууправљивим мосним исправљачем. Упрошћена блок шема управљања и напајања приказана је на слици број 4, док је изглед уграђене опреме приказан на слици број 5 - пуноталасни полууправљиви мосни исправљач, главна картица електронике, картице за управљање тиристорима реда/колоне, комуникациони switch, картице тиристора са упаљачком електроником, осигурачи електромагнетних отресача. Тиристор са заштитним и упаљачким електричним колом је модуларног типа што омогућава лакшу и бржу интервенцију службе одржавања у случају кvara. Модули тиристора су приказани на слици број 6.



Слика 4: Упрошћена блок шема управљања и напајања електромагнетним отресачима



Слика 5: Изглед уграђене опреме у орману Слика 6: Модули тиристора са заштитним и упаљачким електричним колима

4.2 Побуђивање електромагнета отресача

Група отресача која се напаја из једног управљачког ормана формира матрицу према којој се врши управљање. Побуђивање одређеног електромагнетног отресача је реализовано синхроним (истовременим) побуђивањем:

- тиристора полууправљивог мосног исправљача,
- тиристора колоне и
- тиристора реда.

Задавањем угла паљења тиристора исправљача регулише се снага електромагнета отресача, т.ј. привлачна сила која делује на чекић (покретни део) електромагнета која одређује висину до које се чекић подиже. По престанку побуђивања електромагнета отресача, чекић под дејством силе гравитације пада и удара на наковањ електрода чиме се ствара вибрација, а са њом и сила која је већа од привлачне силе измеђе електрода и наталоженог пепела, па прикупљене прашкасте материје бивају одвојене/смакнуте са електрода.

Нагомилана магнетна енергија у намотају електромагнета празни се преко замајних диода инверзно поларисаних.

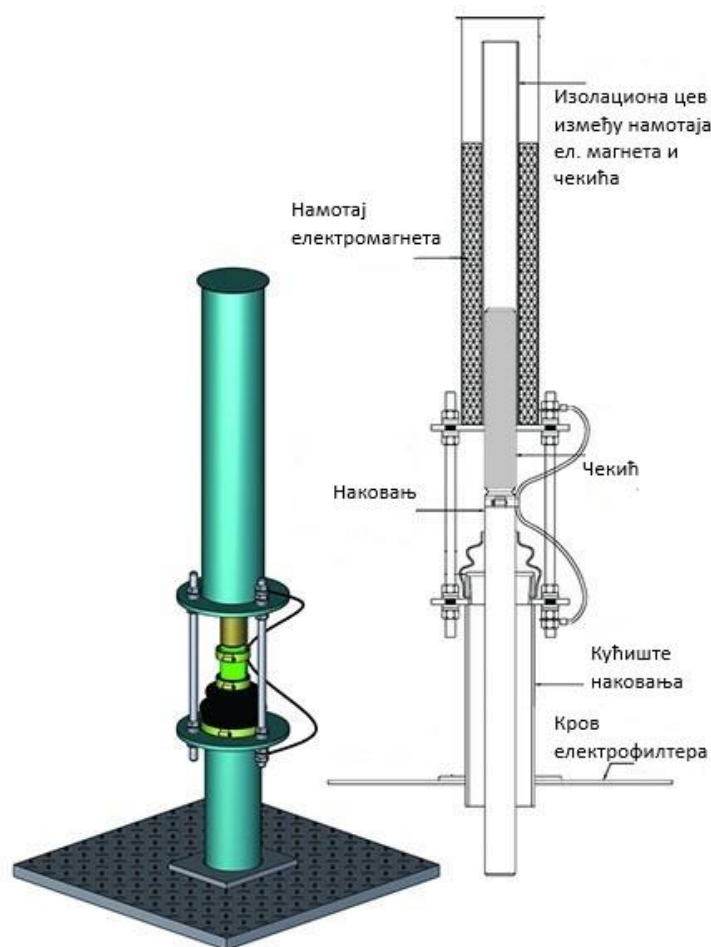
Редно везана диода намотају електромагнета отресача обезбеђује додатни пад напона од 0,6VDC да би смо били сигурни да ће струју електромагнета након престанка побуђивања преузети инверзно поларисане замајне диоде, а не тиристор – диода моста исправљача. Тиме се постиже сигурна инверзна поларизација тиристора моста, т.ј. његово гашење при паду струје на нулу.

У матрици управљања један тиристор реда се истовремено побуђује са различитим тиристорима колоне.

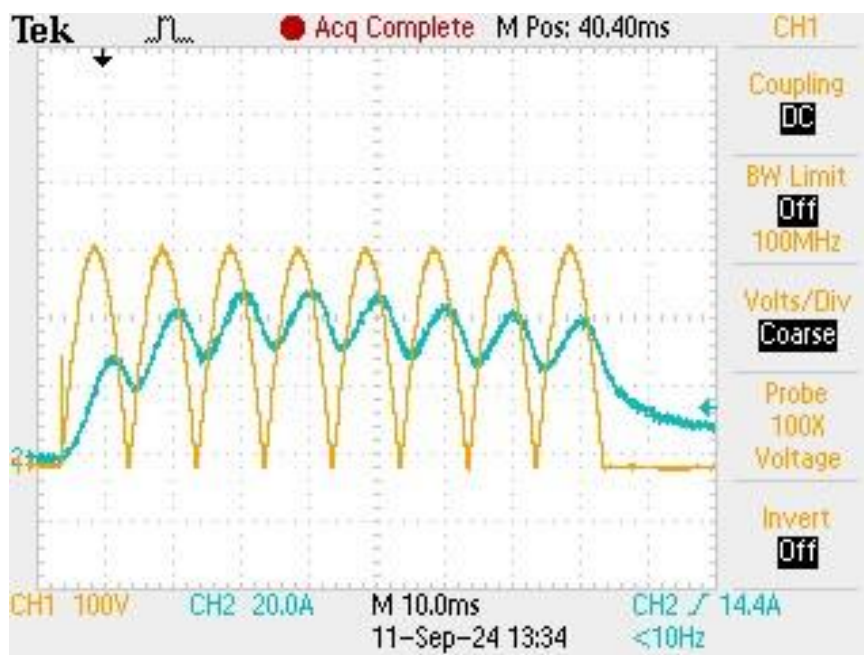
На слици број 7 је приказана илустрација електромагнетног отресача [4].

Побуђивање електромагнета траје укупно 4 периода, односно 80ms. У овом временском интервалу тиристори исправљача воде под задатим углом и у синхронизму су са тиристором реда и колоне. Снимак побуђивања тиристора исправљача у реалном времену је приказан на слици број 8.

На слици број 8 жути траг представља напон моста за случај када је угао паљења тиристора нула степени, док плави траг представља струју електромагнетног отресача.



Слика 7: Илустрација електромагнетног отресача



Слика 8: Снимак побуђивања тиристора исправљача у реалном времену

Управљање електромагнетним отресачима се остварује подешавањем угла паљења тиристора исправљача (угао отресања), иницијалним кашњењем, интервалом отресања и периодом отресања.

Угао отресања се задаје у процентима од 50 до 100% (од 90 до 0 степени). Експериментално је утврђено да углови паљења испод 50% не изазивају подизање чекића електромагнета.

Подаци о номиналним величинама електромагнетних отресача нису дати у техничком пројекту електрофилтера.

У раду отресача при углу паљења тиристора од 63° степена измерена вредност напона је 146VDC и струје од 21A у периоду од 80ms побуђивања електромагнета отресача.

Иницијално кашњење служи за померање почетка отресања по зонама како би се избегао истовремени рад отресача у више зона.

Интервал отресања је временски период у коме се врши отресање, односно у коме се укључује одређени електромагнетни отресач.

Период отресања је временски период након кога се понавља циклус отресања.

4.3 Модови рада отресача

Програм по коме тресачи раде се подешава на главном PLC-у који служи за управљање електрофилтером. Изглед екрана PLC-а за подешавање рада тресача прве три зоне у комори Б електрофилтера који се напајају из управљачког ормана LV1 приказан је на слици број 9. Ознаке на слици Sek1 и Sek2 се односе на прву зону, Sek3 и Sek4 на другу зону, а Sek5 и Sek6 на трећу зону.

Аналогно овоме, управљачки орман LV2 напаја четврту, пету и шесту зону Б коморе електрофилтера.

Такође, за напајање отресача у А комори електрофилтера постоје управљачки ормани LV1 и LV2.

Постоје следећи модови рада и подешавања отресача:

Мод 1:

Отресање по зонама: подешавање иницијалног кашњења, периода отресања, интервала отресања и угла отресања је исто за обе секције зоне (иницијално време кашњења за десну секцију леве коморе (комора Б) и леву секцију десне коморе (комора А) је „0“).

Мод 2:

Отресање по секцијама: могућност подешавања иницијалног кашњења, периода отресања, интервала отресања и угла отресања независно по секцијама.

Неопходан елемент приликом подешавања рада електромагнетних отресача је временска синхронизација управљачких ормана LV1 и LV2, како по једној комори, тако и обе коморе.

Ово је неопходно због једновременог одбројавања до тренутка одраде отресача по зонама/секцијама након унетих подешавања. Екран PLC-а са опцијама старт/стоп режима и синхронизације отресања за леву комору приказан је на слици број 10.

Parametri sekcije leva komora LV1

TALOŽNE

EMISIONE

	Sek1	Sek2	Sek3	Sek4	Sek5	Sek6		Sek1	Sek2	Sek3	Sek4	Sek5	Sek6
Inicijalni Period (sek)	0	60	180	300	420	540	Inicijalni Period (sek)	33	93	208	348	446	556
Period Otresanja (sek)	600	600	1200	1200	1800	1800	Period Otresanja (sek)	633	633	1228	1228	1826	1826
Interval Otresanja (sek)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	Interval Otresanja (sek)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ugao Otresanja (%)	65	65	65	65	65	65	Ugao Otresanja (%)	65	65	65	65	65	65
Prioritet	0	1	2	3	4	5	Prioritet	0	1	2	3	4	5

Prioritet mod 1 0 - naizmenično
1 - taložne

Promeni
prioritete

Početni
ekran

Otresaci
LV1-LV2

Sekcije
LV1

Zone
LV1

Sekcije
LV2

Zone
LV2

Pregled
LV1-LV2

Komande
LV1-LV2

Konfig.
LV1-LV2

layout

19/03/2

Слика 9: Изглед екрана PLC-а за подешавање рада отресача



Слика 10: Екран са опцијама старт/стоп режима и синхронизације отресања

5 ЗАШТИТЕ И МЕРЕЊА УРЕЂАЈА

Примењене су следеће заштите:

- 1) Заштите које доводе до привременог заустављање рада комплетног уређаја:
 - поднапон/пренапон мреже,
 - подфреквентна/надфреквентна мреже.

Треба напоменути да ове заштите нису тренутног дејства, већ са временском задршком. Ово је урађено због тога што постоји могућност пролазних поремећаја у мрежи који се дешавају приликом покретања снажних 6kV мотора, да би се осигурала аутономија рада уређаја, без константних надгледања и интервенције од стране особља електране.

- 2) Заштите – Аларми које доводе до привременог заустављање рада исправљача или одређеног отресача:
 - Поднапон моста исправљача,
 - Пренапон моста исправљача,
 - Подструја моста исправљача,
 - Прекоструја моста исправљача.

Прве две заштите се користе за аутодијагностику полууправљивог исправљача, док се друге две заштите односе на стања електромагнетних отресача. На пример, подструја моста би значила отворено електрично коло електромагнета, јер као што је раније речено, исправљачки мост ради само када побуђује електромагнет отресача, док

прекоструја моста би значила механичку блокаду електромагнета. Заштите раде тако што се мерена електрична величина упоређује са одговарајућом очекиваном величином.

Стање сваког електромагнета је приказано на и екрану за визуелизацију рада PLC-а који верно приказује и стварни физички положаје електромагнета. Пример аларма прекострујног деловања (црвена боја отресача: LV1-R0:13, LV2-R2:6, LV2-R2:11 и LV2-R3:1) и распоред електромагнетних отресача по зонама и секцијама, као и начин на који је реализовано управљање по напојно/управљачким орманима је приказан на слици број 11.

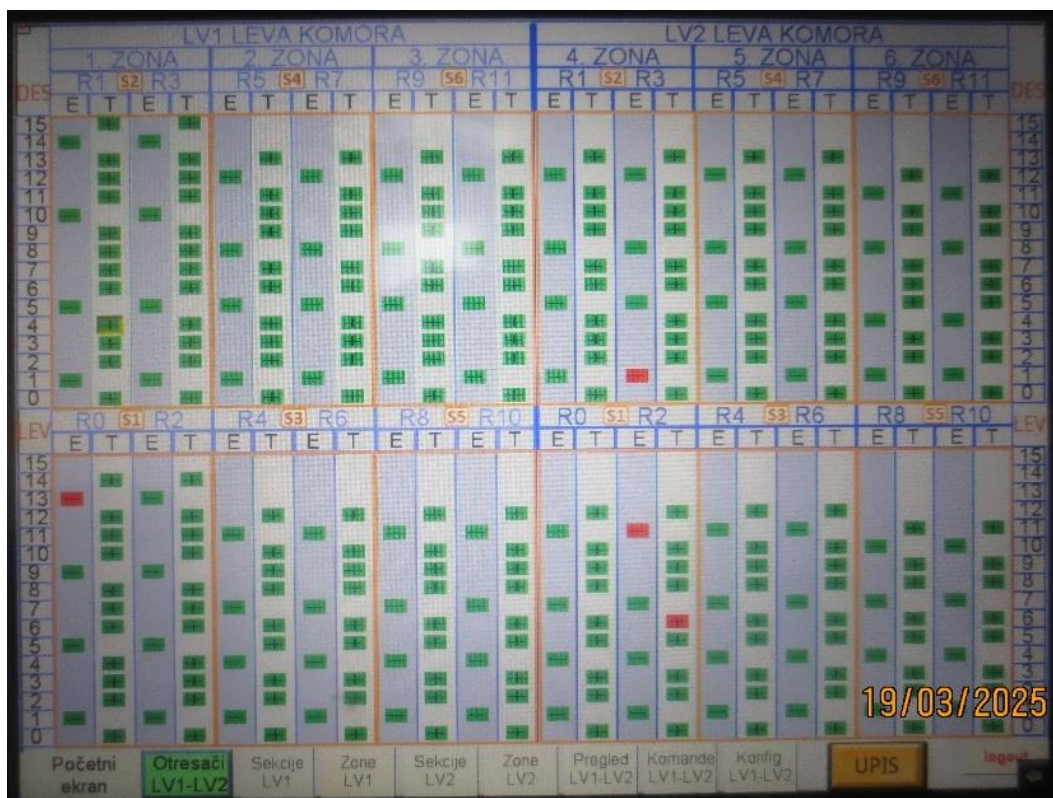
Деловање заштите-аларм доводи до престанка побуђивања конкретног електромагнета док се не отклони квар и ресетује грешка.

Такође, омогућено је софтверско искључење/блокада рада појединачних отресача у случају интервенције, а и могућност укључења и подешавања угла отресања само једног електромагнета отресача, т.ј. форсирани рад отресача у сврху тестирања отресача након квара.

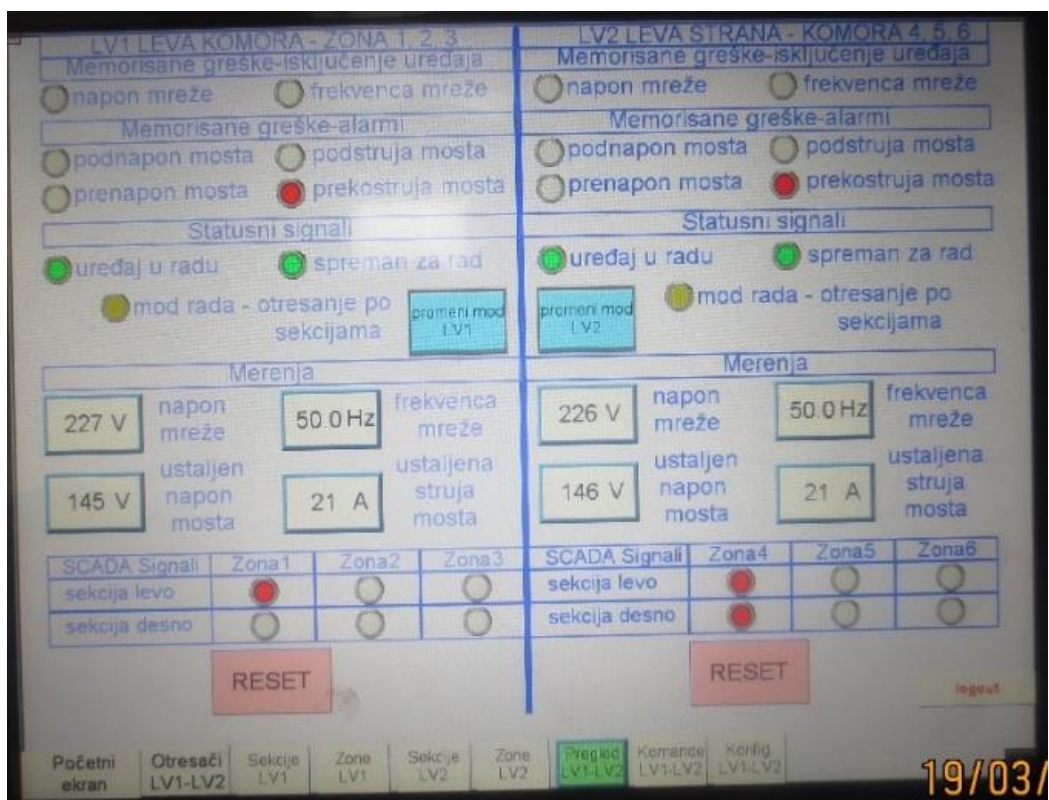
У сваком тренутку на екрану за визуелизацију рада PLC-а могу се очитати вредности напона мреже напајања уређаја, устаљени напон и струја исправљача.

На слици број 12 приказан је екран заштита, стања уређаја и мерења леве коморе.

Са ове слике се види да постоји деловање заштите прекоструја моста у орману LV1, зона 1, секција лево и у орману LV2, зона 4, секција лево и секција десно. Те информације, уз помоћ екрана са слике 11, су довољне за прецизно детектовање који отресач је у квару.



Слика 11: Пример деловања аларма прекострује и распоред електромагнетних отресача по зонама и секцијама, као и начин на који је реализовано управљање по напојно/управљачким орманима (зелена боја означава исправан отресач, црвена боја означава деловање заштите-аларм)



Слика 12: Екран зашита, стања уређаја и мерења леве коморе

6 КОМУНИКАЦИЈА PLC – ГЛАВНА КАРТИЦА ЕЛЕКТРОНИКЕ

Комуникација локалног програмабилног логичког контролера, PLC-а, са управљачком електроником у управљачком орману отресача реализована је локалном ethernet мрежом, преко modbus TCP/IP протокола.

Реализација целокупног управљања отресачима остварена је употребом савременог микроконтролера са три управљачка језгра од којих два језгра извршавају операције брзином од 200MHz, а треће језгро, које се користи за комуникације, ради на 125 MHz. На овај начин остварен је висок проток информација између PLC-а и свих микроконтролера на мрежи који управљају свим отресачима. Сви подаци од интереса који су прикупљени од стране PLC-а доступни су кориснику преко локалног екрана (HMI-human machine interface).

Подржана је и комуникација са даљинским надзорним системом (SCADA) преко независне оптичке мреже која подразумева надзор (Грешка отресача) и даљинско командовање отресачима (Старт/Стоп).

7 ЗАКЉУЧАК

Реконструкција напојно управљачких ормана електромагнетних отресача на електрофилтеру блока Б1 у ТЕ Костолац 2024. године допринела је поузданијем раду система отресања, омогућила више могућности у избору подешавања, као и стабилнији и безбеднији рад система уопште.

Могућност „финог“ усаглашавања периода отресања и силе отресања са јачином електричног поља између електрода пружа не само ефикасније прикупљање прашкастих материја, већ и поузданији рад система за отпепељивање, што као крајњи резултат даје мању емисију прашкастих материја у атмосферу.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је подржало Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз Уговор о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2025. години (број уговора 451-03-136/2025-03).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Parker, K. R.: Electrical operation of electrostatic precipitators, The Institution of Engineering and Technology, London, UK, 2007.
- [2] I. Stevanović, R. Prole, M. Ostojić, D. Jevtić, S. Dobričić, D. Arnautović, B. Radojičić: Optimizacija upravljanja otresачima elektroda u elektrostatičkim filterima, Elektrane 2014, Zlatibor, 2014.
- [3] <https://powertronic.co/service/rapping-system>
- [4] <https://recaust.com/product/electromagnetic-rapping-systems>