

MODERNIZACIJA SISTEMA ZAŠTITE I UPRAVLJANJA POSTROJENJEM 220 KV U HE SALAKOVAC

MODERNIZATION OF PROTECTION AND CONTROL SYSTEM OF 220 KV SWITCHGEAR IN HPP SALAKOVAC

Armin Selimić¹, Ensar Kalajdžisalihović¹, Adnan Cokić¹, Sanjin Čekić¹

Sažetak: Rad opisuje modernizaciju sistema zaštite i upravljanja u elektroenergetskim postrojenjima proizvodnog objekta HE Salakovac. Modernizacija sistema zaštite i upravljanja uključivala je korištenje rješenja koja su se po prvi put implementirala na elektroenergetskim objektima u Bosni i Hercegovini, počev od ugrađenih multifunkcionalnih zaštitnih i upravljačkih uređaja za funkcije zaštite i upravljanja s poljima u 220 kV postrojenju, do instaliranog sistema za lokalno i daljinsko upravljanje baziranog na telemetrijskom uređaju. Funkcije daljinskog nadzora i upravljanja su implementirane preko telemetrijskog uređaja koji je povezan s centrima upravljanja proizvodnjom u Sarajevu i Jablanici. Komunikacioni protokoli IEC 61850, IEC 60870-5-101 i IEC 60870-5-104 iskorišteni su za lokalnu i daljinsku komunikaciju.

Ključne riječi: sistem zaštite i upravljanja, multifunkcionalni zaštitni i upravljački uređaji, telemetrijski uređaj, komunikacioni protokoli IEC 61850, IEC 60870-5-101 i IEC 60870-5-104, operatorska stanica, SCADA.

Abstract: This paper describes modernization of protection and control system in substations of HPP Salakovac. Modernization of protection and control system included usage of technical solutions implemented for the first time in power plant substations in Bosnia and Herzegovina, ranging from installed multifunctional protection and control devices to installed system of local and remote supervisory control and data acquisition for 220 kV substation. Supervisory control and data acquisition functions are implemented using remote terminal unit that is connected to the management production centres in Sarajevo and Jablanica. Communication protocols IEC 61850, IEC 60870-5-101 and IEC 60870-5-104 are used for local and remote communication.

Key words: protection and control system, multifunction protection and control relays, remote terminal unit, communication protocols IEC 61850, IEC 60870-5-101 and IEC 60870-5-104, HMI, SCADA.

UVOD

Razvoj velikih EES-a (elektroenergetski sistem) s pripadajućim postrojenjima je kontinuiran proces neophodan za zadovoljavanje sve većih potreba za električnom energijom. Paralelno s povećanjem kapaciteta EES-a i eksploatacionih zahtjeva istih, dolazi do razvoja modernih metoda zaštite i upravljanja, koje koriste znatno veći stepen tehničkih kapaciteta za implementiranje neophodnih zaštitnih i upravljačkih funkcija. Na ovaj način iskorištena je programabilnost multifunkcijskih uređaja za implementaciju funkcija upravljanja kroz softverske blokade korištenjem komunikacije na nivou polja, kao i veći stepen zaštite korištenjem komunikacije između multifunkcijskih uređaja na drugim krajevima dalekovoda.

Koncept modernog sistema zaštite i upravljanja obuhvata širok aspekt tehnoloških dostignuća potrebnih za integraciju svih neophodnih cjelina EE postrojenja u kom-

paktan i pouzdan sistem zaštite i upravljanja. Ovakav sistem će pored osnovne funkcije sigurnog i pouzdanog rada u periodu eksploatacije, zadovoljavati i ostale elemente definisane standardima i zakonskim normama.

Usklađivanja sistema zaštite i upravljanja sa stvarnim fizikalnim ograničenjima u EE postrojenjima neminovno dovodi do integracije sistema automatizacije u postrojenja. Fizikalna ograničenja postrojenja, kao redoslijed manipulacija VN aparatima, usklađena su sa softverskim i hardverskim blokadama. Softverske blokade riješene su preko multifunkcijskog uređaja za upravljanje, kroz automatizovan proces praćenja trenutnog uklopnog stanja i razmjene signala s drugim upravljačkim uređajima (GOOSE komunikacija).

Automatizacija EE postrojenja, praćena razvojem računarskih sistema, predstavlja prvi korak u implementaciji modernog sistema zaštite i upravljanja. Moderni sistemi zaštite i upravljanja u EE postrojenjima trebali bi posjedovati slijedeće funkcije [1]:

- zaštite svih dijelova postrojenja,

¹ CET Energy d.o.o., Bosna i Hercegovina
armin.selimic@cet-energy.com

Rad dostavljen: 24.04.2014.; Rad prihvaćen: 20.09.2104.

- lokalni nadzor i upravljanje,
- komunikaciju prema daljinskim centrima nadzora i upravljanja,
- daljinski nadzor i upravljanje,
- sistem arhiviranja i upravljanja bazom podataka.

Prethodno navedene funkcije sistema zaštite i upravljanja implementiraju se korištenjem odgovarajućih uređaja, koji se uz adekvatnu mrežnu topologiju uvezuju u zajednički sistem. S obzirom na veličinu postrojenja, broj procesnih informacija koji se obrađuju, broj različitih centara i nivoa upravljanja, prema [1], razlikuju se tri najčešće korištene mrežne topologije:

- HMI (human machine interface) - bazirana topologija (Softver za implementaciju daljinskog nadzora i upravljanja nalazi se na operatorskoj stanici, koji preko komunikacionih protokola ostvaruje direktnu vezu sa zaštinim i upravljačkim uređajima u postrojenju. Veza prema daljinskom SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemu također se ostvaruje preko operatorske stanice, korištenjem odvojenog komunikacionog interfejsa),
- RTU (remote terminal unit) - bazirana topologija (Softver za implementaciju daljinskog nadzora i upravljanja nalazi se na telemetrijskom uređaju, tako da u tom slučaju operatorska stanica jedino obavlja funkcije vizuelizacije procesa. Telemetrijski uređaj je mikroprocesorski uređaj najčešće modularnog tipa, dizajniran za obavljanje funkcija automatizacije),
- decentralizovana topologija (Svako polje u postrojenju posjeduje uređaj sa softverom za implementaciju funkcija automatizacije, te odgovarajući komunikacioni interfejs za komunikaciju sa zaštinim i upravljačkim uređajima i operatorskom stanicom.).

Hidroelektrana Salakovac nalazi se na rijeci Neretvi i s tri instalisane agregata ukupne snage 210 MW može ostvariti srednju godišnju proizvodnju od 410 GWh.

Postrojenje 220 kV je klasično vanjsko postrojenje i sastoji se od slijedećih dijelova:

- dva sistema sabirnica,
- tri transformatorska polja (blok generator-transformator),
- dva dalekovodna polja,
- jednog zajedničkog spojnog i mjernog polja.

Elektroprivreda BiH je tokom posljednje dvije do tri godine, kroz tri ugovora, investirala u rekonstrukciju postojećeg i nadgradnju novog sistema zaštite i upravljanja postrojenjem 220 kV u HE Salakovac. Stari sistem zaštite i upravljanja bilo je potrebno zamijeniti zbog dotrajalosti korištenih zaštitnih uređaja, zbog zastarjelog sistema upravljanja s lokalnog komandnog panela, te uvođenja ovog postrojenja u sistem daljinskog nadzora i upravljanja.

1. SISTEM ZAŠTITE I UPRAVLJANJA 220 KV POSTROJENJA U HE SALAKOVAC

1.1. Opis starog sistema

Stari sistem zaštita 220 kV postrojenja u HE Salakovac sastojao se od zaštita dalekovoda izvedenih pomoću uređaja REL 531 proizvodnje ABB, zaštite spojnog polja izvedenih pomoću uređaja stare generacije 7SL24 proizvodnje Siemens, i zaštita generatora-transformatora izvedenih pomoću više uređaja Siprotec 3 proizvodnje Siemens.

Postrojenje 220 kV je izvedeno na način da zaštita spojnog polja u određenim uslovima može preuzeti funkciju zaštite dalekovoda („režim zamjene“). Međutim, stari zaštitni uređaj na spojnog polju je imao mogućnost podešenja samo jedne grupe zaštitnih parametara kojim su se trebala štititi dva dalekovodna i jedno spojno polje. Ovo rješenje zaštite spojnog polja nije imalo dovoljno kapaciteta da u punom smislu iskoristi režim zamjene u proteklom periodu eksploatacije.

Funkcije upravljanja VN (visokonaponskim) aparatima u postrojenju 220 kV bile su omogućene s dva nivoa, s nivoa VN aparata i s nivoa komandne prostorije u elektrani. Upravljanje iz komandne prostorije s elementima u VN postrojenju bilo je implementirano preko komandne ploče.

1.2. Rekonstrukcija i nadogradnja sistema zaštite i upravljanja

Kroz projekte rekonstrukcije i nadogradnje sistema zaštite i upravljanja u HE Salakovac izvršena je zamjena postojećih zaštita na dalekovodima i spojnog polju, moderniziranje i proširenje lokalnog i daljinskog sistema upravljanja, te ugradnja novog sistema sabirničke zaštite i zaštite od zatajenja prekidača za 220 kV postrojenje. Rekonstrukcija i nadogradnja sistema zaštite i upravljanja realizovana je kroz tri odvojena projekta:

- „Ispruka i ugradnja distantne zaštite spojnog polja 220 kV u HE Salakovac“,
- „Ispruka i ugradnja sistema sabirničke zaštite i zaštite od zatajenja prekidača u 220 kV postrojenju u HE Salakovac“,
- „Implementacija sistema upravljanja 220 kV rasklopnim postrojenjem u HE Salakovac“.

Realizacijom ovih projekata, 220 kV postrojenje u HE Salakovac opremljeno je nizom novih i funkcionalnih sistema koji ga čine jednim od najmodernijih postrojenja ove vrste u Bosni i Hercegovini. Nova distantna zaštita dalekovodnih polja parametrisirana je u skladu s ranijim podešenjima distantnih zaštita, s tim što se u ovom slučaju vrijeme prorade distantne zaštite u drugom stepenu (podešeno 300 ms), skraćuje na vrijeme prorade u prvom stepenu (0 ms + vrijeme odrade zaštitnog uređaja). Ubrzanjem djelovanja drugog stepena distantne zaštite omogućeno je korištenje tehnologija za komuni-

kaciju sa zaštitnim uređajima na suprotnim stranama dalekovoda, tzv. teleprotection funkcija. Također, ubrzano je vrijeme djelovanja zaštite od pojave zemljospoja na dalekovodu.

Distanтна zaštita spojnog polja izvedena je na način da funkcije zaštite obavlja u tri različite grupe podešenja, čime je u potpunosti iskorištena mogućnost postrojenja da distanтна zaštita spojnog polja preuzme ulogu zaštite dalekovoda. Promjena grupe podešenja vrši se automatski u zavisnosti od uklopnog stanja. S obzirom na vremenske zahtjeve redovnog i interventnog održavanja dijelova postrojenja, ova funkcija distanтne zaštite spojnog polja povećat će raspoloživost i vrijeme eksploatacije pojedinih dalekovoda.

Ugradnjom novog sistema sabirničke zaštite i zaštite od zatajenja prekidača u 220 kV postrojenju postignut je niz prednosti koji opravdavaju ugradnju ovog sistema:

- prije instaliranja sabirničke zaštite kvarovi na sabirnicama štice su drugim stepenom distanтne zaštite na suprotnom kraju dalekovoda s vremenom djelovanja 320 do 350 ms (podešenih 300 ms + vrijeme odrade zaštitnog uređaja). Instaliranjem sabirničke zaštite vrijeme otklanjanja kvara na sabirnicama svodi se na vrijeme odrade zaštitnog uređaja tj. na oko 20 ms, čime se s velikom sigurnošću može reći da kvarovi neće utjecati na tranzijentnu stabilnost elektroenergetskog sistema. Skraćenje vremena trajanja sabirničkih kratkih spojeva također bitno smanjuje posljedice razornog djelovanja električnog luka, ne samo na direktno pogođenoj opremi, nego smanjuje i vjerovatnost širenja kvara u 220 kV postrojenju,
- kvarovi na sabirnicama vrlo često mogu nastati usljed pogrešnih manipulacija „s lica mjesta“; posebno treba naglasiti značaj skraćenja trajanja kratkog spoja u smislu zaštite osoblja i smanjenja posljedica eventualnih povreda,
- sistem sabirničke zaštite omogućava eliminaciju dijela postrojenja u kvaru od ostatka postrojenja korištenjem „Check“ i „Bus“ zona. Ovim se postiže isključenje samo onih dijelova postrojenja koji su u kvaru te se na taj način povećava raspoloživost postrojenja,
- u sistemu sabirničke zaštite implementirana je i zaštita od zatajenja prekidača koja smanjuje ukupno vrijeme eliminisanja kvara na EE objektima u slučaju zatajenja prekidača,
- mogućnost slanja komande za isključenje prekidača na suprotnom kraju dalekovoda „InterTrip“ doprinosi postizanju još veće selektivnosti štićenja i brzine eliminisanja kvara (npr. za kvarove između prekidača i strujnih mjernih transformatora).

1.3. Ugrađena oprema

Realizacijom novih projekata u spojno polje i dva dalekovodna polja ugrađene su zaštitne i upravljačke funkcije u

skladu s konceptom modernog sistema zaštite i upravljanja. U ormara zaštite i upravljanja ugrađene su savremene multifunkcionalne mikroprocesorske upravljačke (6MD6631) i zaštitnog uređaja (7SA6121), generacije Siprotec 4, proizvodnje Siemens. Pri izradi projektnih rješenja ormara zaštite i upravljanja predmetnim poljima uvažen je uslov da se u svakom ormaru razdvoje funkcije zaštite i upravljanja po pojedinim uređajima. Upravljački uređaji služe za upravljanje svim upravljivim VN sklopnim aparatima te prikupljanje mjerenja, alarma, položaja aparata i drugih informacija iz postrojenja i njihovo slanje u sistem nadzora i upravljanja. Također, u upravljačkim uređajima integrisan je i sistem blokada (interlocking). Zaštitni uređaji služe za implementaciju zaštitnih funkcija odgovarajućih polja u skladu s principima i tehničkim preporukama korisnika.

Sistemi sabirnica 220 kV postrojenja štite se sabirničkom zaštitom, s kojom je integrisana zaštita od zatajenja prekidača. U ormaru sabirničke zaštite ugrađena je savremena mikroprocesorska zaštita 7SS522, generacije Siprotec 4, proizvodnje Siemens. Centralni uređaj 7SS522 štiti 220 kV postrojenje, uključujući tri generatorsko-transformatorska polja, dva dalekovodna polja i jedno mjerno/spojno polje od kratkih spojeva na sabirnicama i zatajenja prekidača na pojedinim poljima. Svi proračuni i evaluacije stanja postrojenja, s aspekta zaštite od kratkih spojeva na sabirnicama i zatajenja prekidača, vrše se u centralnom uređaju na osnovu informacija dobivenih od jedinica polja (Bay Unit). Ukupno je ugrađeno šest (6) savremenih mikroprocesorskih jedinica polja 7SS523, generacije Siprotec 4, proizvodnje Siemens. Jedinice polja služe za prikupljanje relevantnih informacija o stanju polja kojeg štite, te njihovu distribuciju do centralnog uređaja.

Za potrebe uvezivanja u sistem daljinskog nadzora i upravljanja zaštitnih i upravljačkih uređaja u postrojenju, u centralni ormar daljinskog nadzora i upravljanja ugrađen je telemetrijski uređaj proizvođača Siemens, tip SICAM AK 1703 ACP.

Za potrebe upravljanja s komandnog pulta na operatorsko/inžinjersku radnu stanicu instalirana je operatorska stanica SICAM SCC (Station Control Center) koja radi na bazi SIMATIC WinCC-a. SIMATIC WinCC (Windows Control Center) je SCADA sistem pune grafike i nudi standardizirane funkcijske module za grafički prikaz, signalizaciju i arhiviranje.

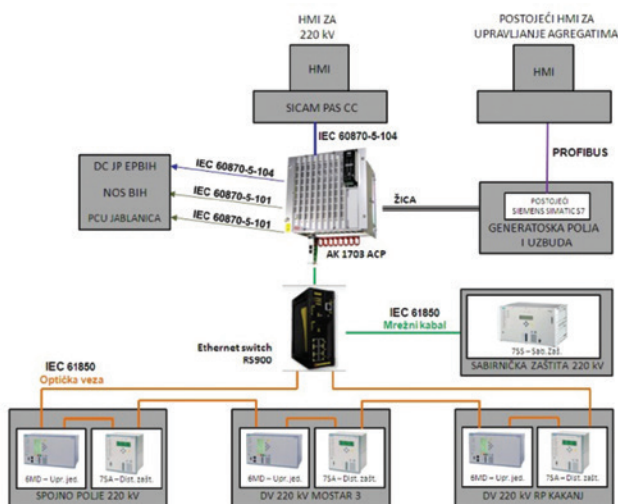
Komunikacija između telemetrijskog uređaja i zaštitno-upravljačkih uređaja u postrojenju izvedena je preko IEC 61850 komunikacionog protokola.

S obzirom na važnost ovog EE objekta predviđena je mogućnost prosljeđivanja signala u tri dispečerska centra i to:

- DC JP EP BiH (komunikacioni protokol IEC 60870-5-104),
- NOS BiH (komunikacioni protokol IEC 60870-5-101),

- PCU Jablanica (komunikacioni protokol IEC 60870-5-101).

Koncept modernog sistema zaštite i upravljanja u 220 kV postrojenju u HE Salakovac implementiran je preko modifikovane RTU-bazirane topologije prikazane na Slici 1. Funkcije upravljanja u ovom slučaju su dodijeljene upravljačkim uređajima na nivoima polja, iako su određene funkcije upravljanja aktivnom snagom agregata zadržane na nivou telemetrijskog uređaja.



Slika 1: Sistem zaštite i upravljanja u HE Salakovac

2. UREĐAJI ZA ZAŠTITU I UPRAVLJANJE NA NIVOU POSTROJENJA

Implementacija zaštitnih i upravljačkih funkcija ostvarena je ugradnjom savremenih mikroprocesorskih zaštitnih i upravljačkih uređaja s velikim brojem zaštitnih i upravljačkih funkcija i fleksibilnim komunikacijskim mogućnostima, korištenjem jedne računarske aplikacije (DIGSI) za konfiguraciju svih tipova i generacija (verzija) uređaja.

2.1. Zaštitni uređaji i njihove implementirane funkcije

Zaštitni uređaji dalekovoda (i spojnog/mjernog polja) opremljeni su svojim osnovnim i pomoćnim funkcijama. U sklopu zaštitnog uređaja u HE Salakovac, na zahtjev naručioca aktivirane su slijedeće funkcije, [2]:

- (21/21N) distantna zaštita ($Z < \text{quadrilateral}$),
- (68/68T) detekcija oscilacije/njihanja snage (Power swing detection),
- (85/21) »teleprotection« za distantnu zaštitu (TP for distance), (samo za DVpolja),
- (50/51/67) rezervna prekostrujna zaštita (Backup overcurrent),
- (50N, 51N, 67N) zemljospojna zaštita (Earth fault overcurrent),
- (85/67N) »teleprotection« za zemljospojnu zaštitu (TP for EF), (samo za DVpolja),
- (79) automatski ponovni uklop (AR-1cycle),

- (25) provjera sinhronizma - sinhroček (Synchronism),
- (FL) lokator kvara (Fault locator),
- (49) termička zaštita (Thermal overload),
- promjena grupe podešenja (Setting group change) (samo za spojno polje),
- komunikacija i razmjena signala sa telemetrijskim uređajem (komunikacijski protokol IEC 61850).

Osim navedenih funkcija koje su aktivirane u zaštitnom releju, postoje određene zaštitne funkcije koje štite predmetno polje, a čije je izvor na drugoj lokaciji. Zaštita od otkaza prekidača dalekovodnih polja i spojnog polja je implementirana u sistemu sabirničke zaštite. Također, isključenje prekidača uzrokovano neskladom polova jed-nopolnih prekidača je aktivirano u samom VN prekidaču.

Osnovna zaštita 220 kV dalekovoda je distantna zaštita. Međutim, ovdje treba posebno spomenuti funkciju »teleprotection« koja je aktivirana na dalekovodu prema RP Kakanj. Ova funkcija vrši razmjenu signala između dvaju zaštitnih uređaja na krajevima dalekovoda (teleprotection scheme) i u zavisnosti od odabrane logike vrši poboljšanje selektivnosti djelovanja zaštite. Funkcija »teleprotection« sa svojom pomoćnom telekomunikacionom opremom predstavlja ustvari jedan TP (teleprotection) sistem, odnosno tehničko rješenje kojim se ostvaruje komunikaciona veza između dvaju zaštitnih uređaja na suprotnim krajevima predmetnog dalekovoda i njihovo zajedničko djelovanje. Svaki TP sistem ovog tipa omogućava razmjenu više vrsta informacija između zaštitnih uređaja kojim se upotpunjuje logika zaštite elektrenergetskih objekata i povećava selektivnost zaštite.

Zaštite sabirnica, odnosno sistemi sabirničkih zaštita, postaju sve važniji kako za sigurnost postrojenja, tako i za stabilnost i raspoloživost cijelog EES-a. Centralni uređaj sabirničke zaštite 7SS522 u HE Salakovac štiti kompletno 220 kV postrojenje od KS (kratkih spojeva) na sabirnicama i zatajenja prekidača na pojedinim poljima. Izbor zaštitnih funkcija koje su aktivirane u sistemu sabirničke zaštite izveden je u skladu s ranijim projektima ovog tipa u ostalim proizvodnim pogonima koji su u vlasništvu JP Elektroprivrede d.d. Sarajevo. Kao primjer se može navesti sistem sabirničke zaštite u TE Kakanj na 220 kV postrojenju.

U sklopu centralnog uređaja sabirničke zaštite na zahtjev naručioca, a na prijedlog izvođača radova, aktivirane su slijedeće funkcije [3]:

- sabirnička zaštita za »BUS« zonu i »CHECK« zonu (Potpuna selektivnost s obzirom na uklopno stanje),
- zaštita od zatajenja prekidača s modelom »Bus zone unbalance« (zaštita od zatajenja prekidača na svim poljima 220 kV postrojenja. Potpuna selektivnost s obzirom na uklopno stanje),

- "low current mode" (funkciju aktivira prorada zaštita generatora, preko binarnog ulaza na sabirničkoj jedinici polja (BU), ukoliko je binarni,
- ulaz prisutan nakon isteka vremenske zadržke, a prekidač generatorskog polja je i dalje uključen, zaštita od otkaza prekidača u tzv. Low Current Mode izdaje nalog za isključenje prekidača svih polja u pripadajućoj sabirničkoj zoni. Low Current Mode je neovisan o veličini struje kroz BU.),
- "end fault protection" (funkcija se koristi za zaštitu zone na kvarove između strujnog mjernog transformatora i prekidača u slučajevima kad je prekidač isključen. Ukoliko je prekidač određenog polja isključen, a struja teče kroz jedinicu polja (BU), tada se radi o kvaru između prekidača i strujnog mjernog transformatora. U tom slučaju End Fault Protection djeluje i isključuje prekidač na drugoj strani DV-a.),
- 1-polno i 3-polno isključenje,
- slanje naloga za isključenje suprotnog kraja dalekovoda (zaštita od zatajenja prekidača za dalekovodna polja-transfer trip),
- nadzor diferencijalne struje (*diff* superv),
- nadzor prolaska struje kroz nulu (0) (0-cross superv),
- nadzor položaja VN aparata.

Na jedinicama polja 7SS523 postoji mogućnost aktiviranja zaštitnih funkcija. Međutim, u ovoj konfiguraciji jedinice polja su upravljane od strane funkcija centralnog uređaja i služe samo kao distributeri signala i komandi prema centralnom uređaju. Na Slici 2 prikazana je jednopolna shema 220 kV postrojenja sa sabirničkom zaštitom.

U novi sistem daljinskog upravljanja u HE Salakovac integrisan je i postojeći sistem zaštita i upravljanja agregata

(blok generator-transformator) koji je izveden sa zaštitnim uređajima generacije Siprotec 3 i PLC-ima SIMATIC S5 i S7, proizvodnje Siemens. Informacije s ovog dijela sistema zaštita i uzbude generatora uvedene su „žicom“ u novi telemetrijski uređaj, Slika 1.

2.2. Upravljački uređaji i njihove implementirane funkcije

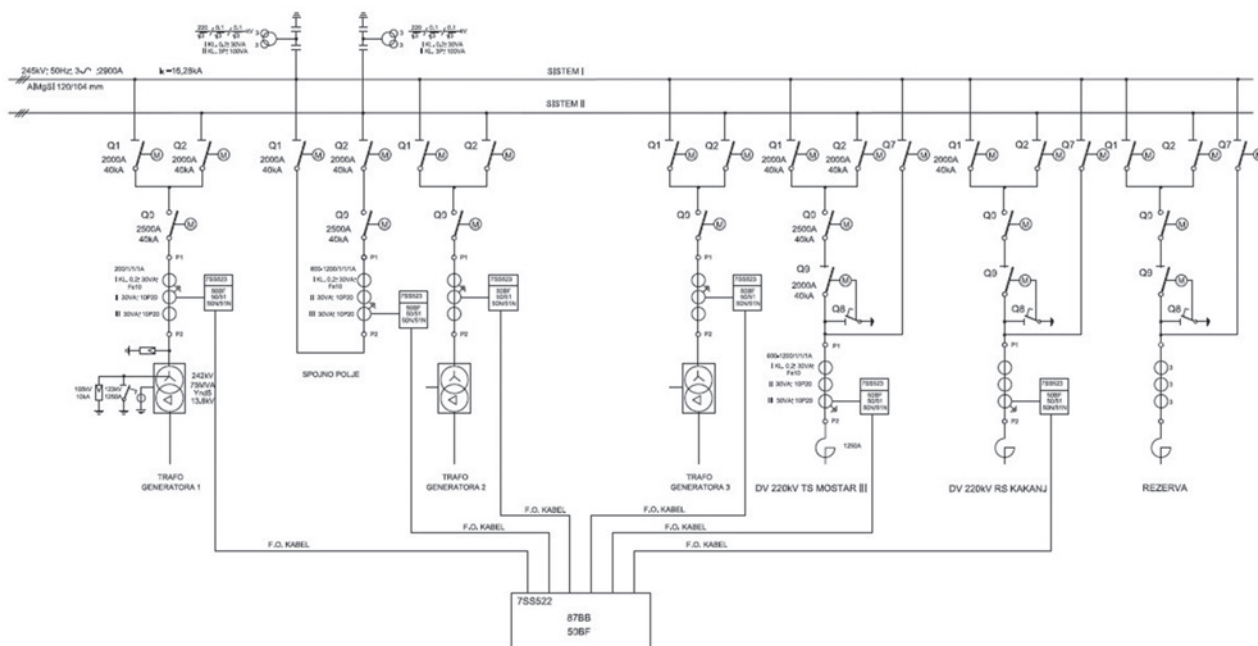
Nadležnost upravljanja postrojenjem je organizovana strogo hijerarhijski. U svakom trenutku, prilikom manipulacija VN aparatima ispoštovan je princip subordinacije, tj. nadležnost upravljanja je dodijeljena samo jednom nivou upravljanja. Najviši prioritet ima najniži nivo (lokalno s ormarića VN aparata) i uvijek niži nivo višeg prioriteta može oduzeti nadležnost višem nivou nižeg prioriteta, dok obratno ne vrijedi.

Upravljanje VN aparatima u 220 kV postrojenju je podijeljeno u četiri nivoa upravljanja i to:

- lokalno s ormarića VN aparata (postrojenje),
- s ormara zaštite i upravljanja (relejna prostorija),
- s operatorske stanice u objektu (komandni pult),
- daljinski iz centra nadzora i upravljanja (DC JP EP BiH, NOS BiH, PCU Jablanica).

Svi procesni podaci raspoloživi na nivou objekta istovremeno su raspoloživi i za funkciju daljinskog nadzora i upravljanja u nadređenim centrima.

S obzirom na fizikalna ograničenja postrojenja i zaštitu od pogrešnih manipulacija operatorskog osoblja, instalirani su sistemi blokada (interlocking). U njima vrijedi princip da se sve izdane komande, na svim nivoima upravljanja podvrgavaju provjeri zadovoljenja uklopnog stanja, odnosno svih uslova blokada. Pri tome je omogućeno da se u



Slika 2: Blok shema sabirničke zaštite

izvanrednim pogonskim uslovima, uz prethodnu autorizaciju pristupa, neposredno upravljanje aparatima s nivoa ormara zaštite i upravljanja, provede bez prethodne provjere zadovoljenja uslova blokade. U HE Salakovac sistem blokada je izveden hardverski (žičanim vezama u postrojenju) i softverski (logičkim sklopovima „CFC“ (Continuous Function Chart) u upravljačkim uređajima i međusobnom komunikacijom između svih upravljačkih uređaja u postrojenju preko GOOSE komunikacije. Hardverski i softverski sistem blokada funkcionišu paralelno i nezavisno jedan o drugom (redundancija).

Upravljački uređaj ima slijedeće funkcije [4]:

- upravljačke funkcije VN aparata,
- prenos nadležnosti upravljanja između lokalnog i daljinskog nivoa,
- izbor upravljanja sa i bez blokada,
- prihvata položaja VN aparata, statusa i alarma,
- mjerenja (struje faza (I_1 , I_2 , I_3), struja nultog provodnika (I_0), napon faza (U_1 , U_2 , U_3), napon nultog provodnika (U_0), aktivna (P) i reaktivna (Q) snaga, faktor snage ($\cos\phi$), frekvencija (f), aktivna (W_p) i reaktivna (W_q) energija u oba smjera i razlika mjerenja za sinhronizaciju (ΔU , Δf , $\Delta \alpha$),
- komunikacija i razmjena signala, statusa, alarma i mjerenja s telemetrijskim uređajem (komunikacijski protokol IEC 61850).

2.3. Komunikacija na nivou postrojenja

Komunikacija na nivou postrojenja implementirana je korištenjem komunikacionog protokola IEC 61850, koji predstavlja jedinstven međunarodni standard za komunikacione mreže i sisteme u EE postrojenjima. Za razliku od dosadašnjih komunikacionih protokola, IEC 61850 definiše stroga pravila za razmjenu podataka između funkcijskih čvorišta, čime je omogućena interoperabilnost uređaja u sistemu zaštite, nadzora i upravljanja te automatizacije EE postrojenja, nezavisno od proizvođača opreme.

Postizanje zamjenjivosti i interoperabilnosti opreme različitih proizvođača, predstavljali su jedan od temeljnih ciljeva prilikom izrade standarda, a omogućeni su tek nakon priznavanja standarda od strane vodećih proizvođača opreme. Interoperabilnost je definisana kao sposobnost dvaju ili više uređaja, istog ili različitih proizvođača da razmjenjuju informacije na temelju kojih se izvršavaju interne ili eksterne operacije [5]. Uobičajeni naziv za navedeno svojstvo u industriji jest "plug-n-play" [9].

Za prenos informacija, prema standardu, koristi se Ethernet komunikaciona infrastruktura, koja se prema [6] može podijeliti u pet osnovnih topologija:

- topologija prsten (zaštini i upravljački uređaji međusobno su povezani u prsten),
- topologija zvijezda (svaki zaštini i upravljački uređaj povezan je na centralno komunikaciono čvorište),
- topologija višestruka zvijezda (postoji veći broj komunikacionih čvorišta koji su međusobno povezani u kaskadni niz),
- topologija prsten-zvijezda (zaštini i upravljački uređaji povezani su s komunikacionim čvorištima korištenjem topologije prsten i zvijezda).

S obzirom na stroge zahtjeve sistema zaštita za razmjenu podataka između povezanih zaštitnih i upravljačkih uređaja, iskorištena je mogućnost komunikacionog protokola IEC 61850 za generisanje GOOSE poruka. Poruke GOOSE predstavljaju jednostavan način komunikacije između više zaštitnih i upravljačkih uređaja povezanih preko zajedničke komunikacione infrastrukture, čime se postiže ušteda u ožičenju i smanjenje broja potrebnih binarnih ulaza i izlaza.

Svaki upravljački uređaj polja preko vlastitih binarnih ulaza dobiva inoformacije o stanju VN aparata svog polja. Za implementaciju softverskih blokada bilo je neophodno da upravljački uređaji oba dalekovodna polja poznaju stanje s VN aparatima spojnog polja. Korištenjem GOOSE komunikacije omogućena je razmjena informacija o stanju VN aparata između upravljačkih uređaja i na taj način su implementirane softverske blokade.

Zaštini i upravljački uređaji korišteni za funkcije zaštite i upravljanja 220 kV postrojenja u HE Salakovac uvezani su u zajedničku Ethernet komunikacionu infrastrukturu preko topologija prstena i zvijezde, Slika 1. Upravljački uređaji, zaštitni uređaji i Ethernet switch RS900 povezani su optičkom vezom u topologiju prsten. Centralni uređaj sabirničke zaštite je preko mrežnog kabla direktno povezan na Ethernet switch (topologija zvijezda).

Za potrebe komunikacije na nivou postrojenja, upravljački uređaj i zaštitni uređaj opremljeni su modulima s optičkim LC interfejsima, za komunikaciju po IEC 61850 komunikacionom protokolu. Preko ovih interfejsa upravljački i zaštitni uređaji su optičkim kablom povezani na Ethernet switch. Sabirnička zaštita koja je ugrađena u ormaru sabirničke zaštite opremljena je komunikacionim modulom s RJ45 interfejsima. Preko ovih interfejsa sabirnička zaštita je mrežnim kablom povezana na Ethernet switchem.

3. LOKALNI SCADA SISTEM

Potreba usklađenog funkcionisanja EE postrojenja s ostalim dijelovima EES-a dovela je do prepoznatljive organizacije velikih EES-a i razvoja centara nadzora i upravljanja. Upotreba komunikacionih tehnologija dovela je do razvoja sistema za akviziciju podataka i funkcija daljinskog nadzora i upravljanja, tzv. SCADA. Sistemi SCADA programska su podrška za nadzor i upravljanje

- sabirnička topologija (zaštini i upravljački uređaji direktno su povezani na komunikacionu mrežu),

energetskim i industrijskim procesima. Prednosti korištenja ovakvih sistema su: otvorenost, skalabilnost, veća bezbjednost, ekonomičnost, brza integracija u postojeće sisteme, niži troškovi održavanja sistema, te jednostavno proširivanje istog. Hijerarhijska struktura takvog sistema sastoji se od tri glavna elementa:

- Telemetrijski uređaj,
- Operatorska stanica,
- Komunikaciona infrastruktura.

3.1. Telemetrijski uređaj

Za potrebe uvezivanja u sistem daljinskog nadzora i upravljanja zaštitnih i upravljačkih uređaja u HE Salakovac, odabran je telemetrijski uređaj koji bi zadovoljio potrebe sistema upravljanja 220 kV rasklopnim postrojenjem u HE Salakovac.

Odabrani telemetrijski uređaj ima visok nivo funkcionalnosti i fleksibilnosti koji su temelj za uspješnu automatizaciju sistema. Naravno, to također uključuje sveobuhvatne opcije za daljinski nadzor i upravljanje, komunikaciju i povezivanje perifernih uređaja koje su u skladu s komunikacionim protokolom IEC 61850. Potrebno je posebno istaći mogućnost klijent/server funkcionalnosti na samo jednom Ethernet interfejsu. Telemetrijski uređaj se, prema [7], može koristiti kao: centralna jedinica sistema daljinskog nadzora i upravljanja ili kao dio istog, front-end jedinica, te jedinica za funkcije automatizacije s autonomnim funkcijskim grupama s lokalnim ili udaljenim perifernim elementima. Neki od razloga izbora ovog uređaja jesu i njegova skalabilnost, te redundancija komponenti. Omogućena je i direktna veza s aktuatorima i senzorima korištenjem žice prečnika do 2,5 mm² te instalacija komponenti do 200 m udaljenosti.

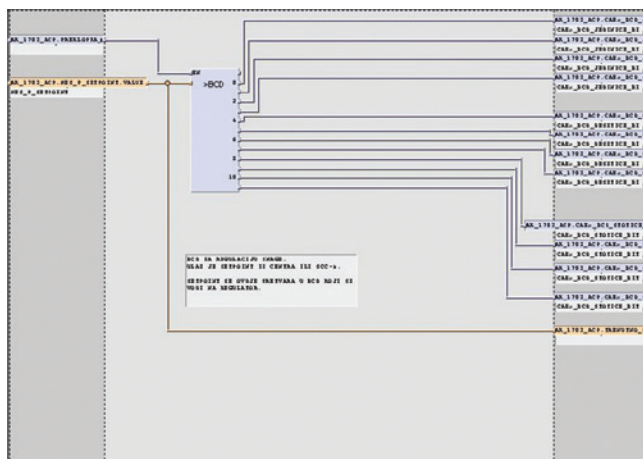
Parametrisanje, systemska dijagnostika i testiranje u pogonu se mogu obavljati s udaljenih lokacija korištenjem softverskog alata Toolbox II, proizvođača SIEMENS. Svi parametri se čuvaju na flash kartici te se u slučaju kvara novi uređaj može staviti u pogon uz minimalno vrijeme zastoja. Telemetrijski uređaj podržava do 66 serijskih interfejsa za lokalnu i daljinsku komunikaciju, te serijsku ili LAN/WAN komunikaciju za komunikacijske protokole IEC 60870-5-101/103/104, IEC 61850, Profibus DP, te brojne druge. Za vremensku sinhronizaciju odabran je protokol NTP (Network Time Protocol) koji sinhronizuje zaštitno upravljačke uređaje u postrojenju, telemetrijski uređaj i operatorsku stanicu. Sinhronizacija se obavlja iz DC EP BiH.

Implementiranim tehničkim rješenjem telemetrijski uređaj ima funkcije telemetrije i stanične kontrole pa je po prvi put u toj konfiguraciji uspješno implementiran na postrojenjima ovog tipa kako u JP EP BiH, tako i u BiH.

Jedan od razloga odabira ovog uređaja jeste i zahtjev za realizaciju sistema upravljanja aktivnom i reaktivnom snagom iz daljinskog centra upravljanja.

Telemetrijski uređaj, prema [8], podržava sve PLC programske jezike definisane IEC 61131-3 standardom. Da bi se realizovao zahtjev za upravljanje aktivnom i reaktivnom snagom iz daljinskog centra upravljanja korišten je grafički PLC programski jezik FBD (Function Block Diagram). Postojeći grupni regulator aktivne i reaktivne snage u HE Salakovac posjeduje BCD (Binary-Coded Decimal) ulaze za upravljanje aktivnom i reaktivnom snagom s komandnog pulta. Ugradnjom novog sistema, BCD ulazi su iskorišteni za realizaciju upravljanja aktivnom i reaktivnom snagom s lokalnog SCADA sistema i iz daljinskih centara nadzora i upravljanja. Ova funkcija je realizovana izradom odgovarajućeg FBD logičkog sklopa, prikazanog na Slici 3. Telemetrijski uređaj prima komandu tipa „setpoint“ koju konvertuje u BCD kod i zatim proslijeđuje na BCD izlaze.

Upravljanje iz daljinskog centra upravljanja moguće je samo ako se nivo upravljanja na lokalnom SCADA sistemu prebaci na nivo upravljanja iz daljinskog centra. Postojeća regulacija snage s palčastog davača na komandnom pultu je zadržana i koristi se samo u slučaju kvara telemetrijskog uređaja, ili ako niti jedan od drugih nivoa upravljanja nije aktivan.



Slika 3: Function Block Diagram za upravljanje aktivnom i reaktivnom snagom

3.2. Operatorska stanica

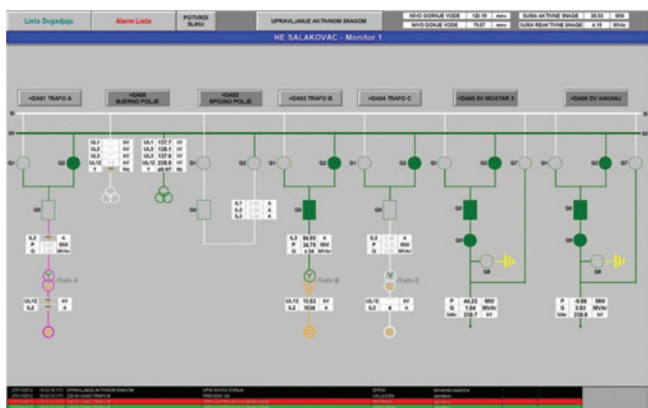
Vizualizacija procesa i kontrola sistema važan je element distribucije i prenosa električne energije. Programi SCADA služe za upravljanje, dojavu i alarmiranje stanja, te pohranu podataka prikupljenih iz kontrolisanih procesa.

Izbor primijenjenog tehničkog rješenja s ovom operatorskom stanicom izvršen je na osnovu sljedećih kriterija:

- Pojednostavljen nadzor i upravljanje iz komandne prostorije. (Raniji sistem upravljanja iz komandne prostorije uključivao je upravljanje s komandnog panela, preko komandnih preklopki. Komandni panel bio je uvezan u sistem preko niza signalnih i komandnih kablova koji su implementacijom ovog projekta izbačeni iz upotrebe.),

- Unificiranost opreme. (Radi lakšeg inženjeringa, izbor proizvođača operatorske stanice je unificiran s izborom istog za nadzirani sistem.),
- Skalabilnost i otvorenost za nadogradnju s mogućnošću jednostavne integracije u postojeći sistem. (Mogućnost proširenja sistema u skladu s planiranim uvođenjem 35 kV postrojenja u sistem daljinskog nadzora i upravljanja u HE Salakovac).

Komunikacija s telemetrijskim uređajem ostvarena je korištenjem IEC 60870-5-104 komunikacionog protokola vezom mrežne kartice u operatorskoj stanici i mrežne kartice u racku telemetrijskog uređaja. Operatorska stanica sastoji se od dvaju 24" monitora organizovana na način da se na jednom monitoru uvijek prikazuje pregledna slika sistema, Slika 4, dok se na drugom monitoru odgovarajućim odabirom prikazuje detaljna slika polja, lista alarma (lista aktivnih alarma), lista događaja (lista posljednjih 1000 događaja uz mogućnost pretrage arhiviranih događaja) ili prikaz nadzora sistema (stanje komunikacije između telemetrijskog uređaja, pojedinih uređaja po poljima i dispečerskih centara), te upravljanje aktivnom snagom.



Slika 4: Pregledna slika SCADA aplikacije

S pregledne slike nije moguće upravljanje VN aparatima i aktivnom snagom, nego je to omogućeno s detaljnih slika koje mogu biti:

- detaljna slika mjernog/spojnog polja,
- detaljna slika dalekovodnog polja,
- detaljna slika za upravljanje aktivnom snagom.

Detaljne slike mjernog/spojnog polja i dalekovodnih polja prikazuju vlastita mjerenja, alarm liste i trendove.

Postoji mogućnost regulacije aktivne i reaktivne snage s tri mjesta:

- palčastog davača na komandnom pultu,
- operatorske stanice,
- dispečerskog centra DC JP EP BiH.

Dosadašnja regulacija iz dispečerskog centra preko starog telemetrijskog uređaja bila je izvedena tako da šalje impulse na grupni regulator elektrane. Novi telemetrijski

uređaj omogućio je primanje analogne informacije iz centra i njeno kodiranje i proslijeđivanje na odgovarajuće BCD ulaze grupnog regulatora elektrane. Ovim se postigla precizna i brza grupna regulacija aktivne snage elektrane. Na Slici 5 prikazan je dijalog upravljanja aktivnom snagom elektrane.



Slika 5: Dijalog za upravljanje aktivnom snagom

4. DALJINSKI NADZOR I UPRAVLJANJE

HE Salakovac je preko telemetrijskog uređaja uvezana s daljinskim centrima nadzora i upravljanja u Sarajevu i Jablanici. Iskorišteni su komunikacioni protokoli IEC 60870-5-104 prema DC JP EP BiH i IEC 60870-5-101 prema NOS BiH i PCU Jablanica. Daljinskim centrima nadzora i upravljanja je dodijeljen najniži prioritet upravljanja koji je jedino omogućen u slučaju prebacivanja nadležnosti upravljanja s elektrane (lokalno upravljanje) na upravljanje iz daljinskih centara nadzora i upravljanja (daljinsko upravljanje). U skladu sa zahtjevima EP BiH, daljinskom centru nadzora i upravljanja DC JP EP BiH omogućeno je upravljanje sa svim VN aparatima u 220 kV postrojenju, te upravljanje aktivnom i reaktivnom snagom proizvodnih jedinica, dok je daljinskim centrima NOS BiH i PCU Jablanica omogućeno upravljanje samo sa VN aparatima u postrojenju.

5. ZAKLJUČAK

Modernizacija sistema zaštite i upravljanja u HE Salakovac implementirana je ugradnjom savremene opreme za zaštitu i sistema za nadzor i upravljanje 220 kV postrojenjem.

Realizacijom niza projekata rekonstrukcije i nadogradnje sistema zaštite i upravljanja u HE Salakovac, 220 kV postrojenje je opremljeno nizom novih sistema u skladu sa opisanim konceptom, gdje telemetrijski uređaj ima funkcije telemetrije i stanične kontrole, te je po prvi put u toj konfiguraciji uspješno implementiran na postrojenjima ovog tipa kako u JP EP BiH tako i u BiH.

Ugradnja novih sistema u postrojenje znatno utječe na povećanje raspoloživosti i sigurnosti pojedinih dijelova postrojenja, te brže i selektivnije isključenje dijelova postrojenja koji su u kvaru.

Ugradnjom upravljačkih uređaja za dalekovodna polja i spojno polje sistem je nadograđen novim mogućnostima:

- povećan je broj nivoa upravljanja s VN aparatima,
- uz prethodnu autorizaciju omogućeno je upravljanje bez blokada,
- korištenjem prednosti komunikacionog standarda IEC 61850 / GOOSE poruka omogućena je implementacija softverskih blokada upravljanja, kao redukcija postojećim hardverskim blokadama,
- omogućena je sinhronizacija bez korištenja dodatnih uređaja.

Ugradnjom zaštitnih uređaja za dalekovodna polja sistem je nadograđen komunikacijom s uređajem na drugom kraju dalekovoda, čime je omogućena zaštita na cijeloj dužini u vremenu djelovanja prve zone distantne zaštite.

Ugradnjom zaštitnog uređaja za spojno polje sistem zaštita koristi više grupa podešenja zaštita, čime je u potpunosti iskorištena mogućnost postrojenja da distantna zaštita spojnog polja preuzme ulogu zaštite dalekovoda.

Prednosti ugradnje sistema sabirničke zaštite su:

- eliminacija dijela postrojenja koje je u kvaru od ostatka postrojenja,
- skraćanje vremena isključenja sabirničkih kvarova s vremena prorade drugog stepena distantne zaštite ($\approx 320\text{ms}$) na vrijeme prorade sabirničkog releja ($\approx 20\text{ms}$),
- zaštita od otkaza prekidača.

Novim sistemom daljinskog nadzora i upravljanja, s telemetrijskim uređajem kao centralnom komponentom, postignuti su ciljevi za lakšom i pouzdanijom eksploatacijom elektrane koji se ogledaju u sljedećem:

- pojednostavljen nadzor i upravljanje iz komandne prostorije,
- unificiranost opreme,
- skalabilnost i otvorenost za nadogradnju postojećeg sistema planiranim uvođenjem 35 kV postrojenja u sistem daljinskog nadzora i upravljanja u HE Salakovac.

S obzirom na dosadašnji tempo razvoja EES-a i sve strožije kriterije za pouzdano snabdijevanje potrošača električnom energijom, razvoj modernih tehnologija i primjena novih ideja dovela je do realizacije koncepta sistema zaštite i upravljanja opisanog u ovom radu.

Prihvatanje zajedničkog komunikacionog protokola IEC 61850 od strane svih proizvođača opreme u velikoj mjeri uvodi unificiranost i fleksibilnost u EE postrojenja, te otvara cijeli niz novih mogućnosti za implementaciju sve složenijih izazova koji se postavljaju pred razvoj ovih sistema. Ovaj rad svakako može poslužiti kao uspješan primjer realizacije jednog takvog projekta i kao takav može postaviti referentni okvir implementacije sistema nadzora i upravljanja u EE objektima ovog tipa u BiH i šire.

LITERATURA

- [1] Alstom Grid, Network Protection & Automation Guide, 2011, str. 422-441
- [2] Siemens, Distance Protection 7SA6, v04.70.01, 02.2011.
- [3] Siemens, Distributed Busbar/Breaker Failure Protection, v4.60.02, 2005.
- [4] Siemens, High Voltage Bay Control Unit 6MD66x, v4.70.01, 03.2009.
- [5] IEC 61850-1 Communication Networks and Systems in Substations, Part 1: Introduction and Overview.
- [6] IEC 61850-5 Communication Networks and Systems in Substations, Part 5: Communication Requirements for Functions and Device Models
- [7] Siemens, SICAM 1703 - AK 1703 ACP, v2.01, 2012.
- [8] Siemens, AK 1703 ACP - CP-2017/PCCX25, v2.01, 2008.
- [9] B Kasztenny, J Whatley, E A Urden, J Burger, D Finney, M Adamiak, "IEC 61850 - A Practical Application Primer for Protection Engineers", Power Systems Conference Advanced Metering Protection Control Communication and Distributed Resources, IEEE, str. 18-55, 2006.

BIOGRAFIJA

Armin Selimić rođen je 1966. godine u Stocu. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu 1994. godine. Vlasnik je firme CET Energy d.o.o. Sarajevo. Učestvovao je u realizaciji većeg broja projekata. Područje profesionalne orijentacije su mu konsalting, inženjering, ispitivanje i puštanje u pogon sistema zaštite i upravljanja u elektroenergetici, te projekt menadžment.

Ensar Kalajdžisalihović rođen je 1981. godine u Sarajevu. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu 2007. godine. Zaposlen je u CET Energy d.o.o. Sarajevo i trenutno radi kao inženjer za sisteme daljinskog upravljanja i komunikacije. Učestvovao je u realizaciji većeg broja projekata. Područje profesionalne orijentacije su mu projektovanje, inženjering, ispitivanje i puštanje u pogon SCADA sistema lokalnog i daljinskog nadzora i upravljanja.

Adnan Cokić rođen je 1986. godine u Mostaru. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu 2008. godine, a magistrirao na istom 2010. godine. Zaposlen je u CET Energy d.o.o. Sarajevo i trenutno radi kao inženjer za mjerenja, ispitivanja i sisteme zaštite. Učestvovao je u realizaciji većeg broja projekata. Područje profesionalne orijentacije su mu izrada projektne dokumentacije, inženjering, proračun i parametrisiranje mjerno-zaštitno-upravljačkih uređaja, ispitivanje i puštanje u pogon sistema zaštite u elektroenergetici.

Sanjin Čekić je rođen 1986. godine u Sarajevu. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu 2008. godine, a magistrirao na istom 2010. godine. Zaposlen je u CET Energy d.o.o. Sarajevo i trenutno radi kao inženjer za sisteme daljinskog upravljanja i komunikacije. Učestvovao je u realizaciji većeg broja projekata. Područje profesionalne orijentacije su mu izrada projektne dokumentacije, inženjering, ispitivanje i puštanje u pogon sistema daljinskog nadzora i upravljanja u elektroenergetici.