

7. (13.) savjetovanje

Šibenik, 24. - 27. lipnja 2021.

Marko Šarić
HEP-ODS d.o.o. - Elektroslavonija Osijek
Služba za vođenje pogona
Odjel za zaštitu mreže i kvalitetu EE
marko.saric@hep.hr

PRIMJENA NORME IEC 61850 U RASKLOPNIM POSTROJENJIMA 10 KV "VALPOVO 3" I "R-2 Uske njive" NA PODRUČJU DP ELEKTROSLAVONIJE

SAŽETAK

Radom je prikazana primjena norme IEC 61850 u rasklopnim postrojenjima 10 kV "Valpovo 3" i "R-2" na području DP Elektroslavonije. Prije samog opisa primjene norme u navedenim postrojenjima u radu su obrađene glavne funkcije i prednosti norme IEC 61850, kao i njena sve veća primjena u automatizaciji postrojenja. U daljnjem dijelu rad opisuje zamjenu postojećih zaštitno upravljačkih terminala polja sa novim terminalima koji su u potpunosti modelirani u skladu s normom IEC 61850, kao i zamjenu popratne sekundarne opreme za sustav daljinskog vođenja. Radom se želi prikazati kako i u kolikoj mjeri nova norma pojednostavljuje proces same revitalizacije navedenih rasklopnih postrojenja, te primjenu nove norme pri programiranju i konfiguriranju modernih zaštitno upravljačkih terminala.

Ključne riječi: norma IEC 61850, virtualni model, terminal polja, skup podataka, horizontalna komunikacija

APPLICATION OF IEC 61850 STANDARD IN SWITCHYARDS 10 kV „VALPOVO 3“ AND „R-2 „USKE NJIVE“ IN DP ELEKTROSLAVONIA

SUMMARY

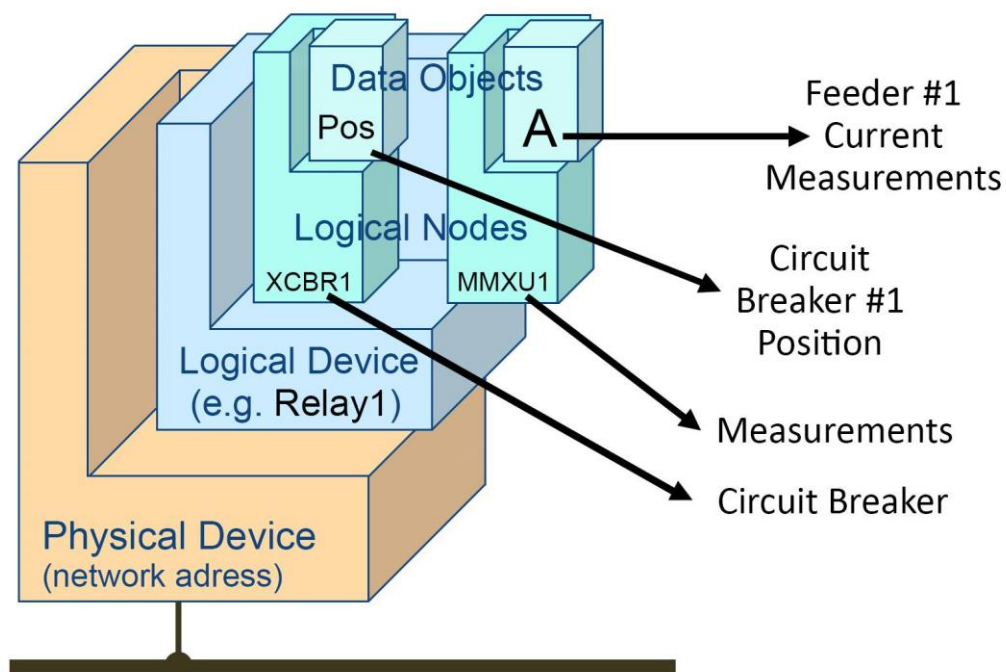
The paper shows the implementation of the IEC 61850 standard in switchyards „Valpovo 3“ and „R-2 Uske njive“ in the area of DP Elektroslavonia. Prior to the description of the application of the IEC 61850 standard, main function and benefits of the standard, as well as its increasing application in automation of substations are described. In the following part, paper describes the replacement of existing feeder terminals with new terminals that operate according to IEC 61850 standard, as well as the replacement of the secondary equipment for remote control and supervision. The paper aims to show how and to what extent this standard simplifies the process of revitalization of these switchyards, and the application of the new standard in the programming and configuration of modern feeder terminals.

Key words: standard IEC 61850, virtual model, feeder terminal, data set, horizontal communication

1. UVOD

Rast i razvoj tehnologije i uređaja vezanih za zaštitu elektroenergetskog sustava i za komunikaciju između uređaja i centara za njihovo upravljanje zahtijevalo je razvoj određene norme koja bi na adekvatan način povezala uređaje različitih proizvođača. Dodatni kriteriji koji su zahtijevali razvoj norme su brzina rada uređaja, raspoloživost na zahtjev, kratko vrijeme isporuke usluga i poruka, sigurnost mreže, interoperabilnost, prijenos podataka itd. Rast kompleksnosti distribucijske mreže je također postavio zahtjev za daljinskim upravljanjem i automatiziranim nadzorom čvornih transformatorskih stanica kako bi se omogućila sveobuhvatna koordinacija u slučaju nužde i smanjenju operativnih troškova. Iz svega toga je proizašlo stvaranje jedinstvene norme, danas poznate kao norma IEC 61850 (eng. *International Electrotechnical Commission*). Norma IEC 61850 je međunarodna norma koja definira komunikacijske protokole za inteligentne elektroničke uređaje (eng. *Intelligent Electronic Device*) u elektroenergetskim postrojenjima a koristi se za automatizaciju transformatorskih stanica tako što definira jedinstveni način po kojem se vrši razmjena podataka između inteligentnih elektroničkih uređaja unutar samog postrojenja. Cilj i namjena ove norme je spriječiti proizvođače opreme da koriste vlastite komunikacijske protokole te bi se time pojednostavila i olakšala implementacija uređaja različitih proizvođača u jednu operativnu cjelinu. Norma se primjenjuje kako bi njihovi uređaji mogli komunicirati međusobno, tj. omogućavanje njihove interoperabilnosti i kako bi nadzorni upravljački centri mogli njima po potrebi upravljati. Neke od prednosti norme IEC 61850 su:

- 1) Norma je posebno kreirana za LAN (eng. *Local Area Network*) mreže kako bi smanjila troškove instalacije, konfiguracije i održavanja uređaja u elektroenergetskim postrojenjima te povećala pouzdanost veze,
- 2) To je Objektno orijentirana norma koja definira objektivne modele svih uređaja u postrojenju kako je prikazano na slici 1., definira normirani konfiguracijski jezik (SCL), normirane usluge itd.,
- 3) Smanjuje troškove ožičenja tako što putem procesne sabirnice omogućuje razmjenu podataka i poruka između uređaja (peer-to-peer, GOOSE) te smanjuje troškove komunikacijske infrastrukture koristeći se raširenom TCP/IP i ethernet tehnologijom,
- 4) Smanjuje problematiku programiranja i održavanja putem normiranih modela i imena koja uklanjaju ručno mapiranje (preslikavanje) I/O signala u varijable EES-a – prikazano na slici 2. [1] i [2]



Slika 1. Prikaz objektnog modela uređaja [2]

Logical Device – predstavlja funkcijsku grupu

Logical Node – sadrži odvojenu funkciju (određeni funkcijski blok, npr. prekidač, mjerenja, zaštita)

Data Object – definira dio informacije koji pruža funkcija (npr. stanje aparata, mjerenje napona)

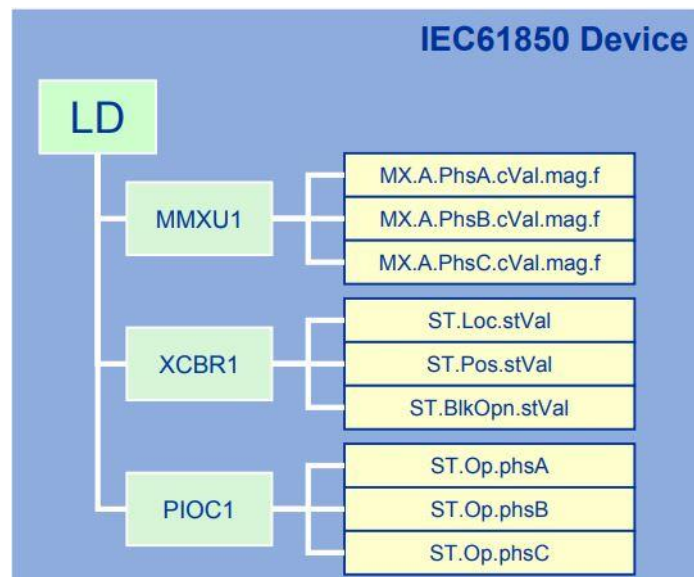
Moderni zaštitno upravljački terminali su u potpunosti modelirani u skladu sa normom IEC 61850. Data model (podatkovni model, može se sastojati od četiri logička uređaja na kojima se nalaze različiti logički čvorovi koji predstavljaju funkcije zaštite i upravljanja. Ovisno o odabranoj funkcionalnosti u zaštitnom uređaju, različite konfiguracije imaju različiti skup logičkih uređaja i čvorova. Podatkovni model također uključuje cjelovito modeliranje i funkcionalnost parametriranja, podešavanja grupa podešenja i konfiguraciju prema konceptu norme IEC 61850. Ta četiri data modela su:

- 1) Logički uređaj za upravljanje (Control logical device), CTRL
- 2) Logički uređaj za snimanje poremećaja (Disturbance recorder logical device), DR
- 3) Logički uređaj za zaštitne i srodne funkcije (Protection logical device), LD0
- 4) Logički uređaj za pretvaranje analognih vrijednosti u digitalne (Merging unit logical device) MU01 (primjenjuje se samo za SMV (eng. *Sampled Measured Value*) pošiljatelja)

Uređaj za pretvaranje analognih vrijednosti u digitalne (eng. *Merging unit*) predstavljen je u normi IEC 61850-9-2 te predlaže da se struje i naponi sa sekundarnih izlaza SMT i NMT i drugi signali digitaliziraju i šalju komunikacijski putem ethernet bazirane mreže. Ovaj koncept predstavlja budućnost automatizacije koji ima sve veću globalnu primjenu.

Na primjer, sve generičke funkcionalnosti, poput modeliranja fizičkih ulaza i izlaza i modeliranje alarmnih LED indikatora nalaze se pod logičkim uređajem LD0. U normi IEC 61850, komunikacijske usluge se konfiguriraju putem strukture podataka, uključujući skupove podataka, kontrolne blokove, GOOSE kontrolne blokove i kontrolne blokove grupe podešenja. Kako se ove strukture podataka odnose na cjelokupni logički uređaj, norma definira da se one trebaju modelirati pod LLN0, što je poseban logički čvor koji opisuje osnovnu funkcionalnost logičkog uređaja. Sve te strukture nalaze se u logičkom uređaju LD0 pod logičkim čvorom LLN0 [3].

Korištenjem virtualnog modela logičkih uređaja, logičkih čvorova omogućeno je definiranje podataka, usluga i ponašanja uređaja uz protokole koji se koriste za definiranje prijenosa podataka putem mreže. Ovim načinom se modeliraju stvarni uređaji virtualnim modelima (Logical Nodes, npr. XCBR predstavlja prekidač, MMXU predstavlja funkciju mjerenja, PIOC predstavlja funkciju trenutne nadstrujne zaštite) koji u sebi sadrže podatkovne objekte (Data Objects). IEC 61850 objekti su već automatski definirani u kontekstu elemenata elektroenergetskog sustava [2].



Slika 2. IEC 61850 mapiranje objekata [2]

Pojavom mikroprocesorskih multifunkcionalnih inteligentnih elektroničkih uređaja pojavila se prilika za premještanje više funkcionalnosti u manji broj uređaja, što je rezultiralo jednostavnijim izvedbama sa manje ožičenja, smanjenjem potrebnog mjesta u samoj prostoriji itd. Navedene stavke norme i stavke opisane u radu pripomogle su širenju i primjeni ove norme u svijetu te se ranije primjenjivane norme poput LON, IEC 60870-5-103, MODBUS, DNP3 zamjenjuju sa modernom IEC 61850 normom.

2. RASKLOPNA POSTROJENJA R-VALPOVO 3 I R-2 USKE NJIVE 10(20) kV

Rasklopna postrojenja R-Valpovo 3 i R-2 Uske njive 10 kV izgrađena su 2000. godine s ciljem daljnje elektrifikacije gradova Valpovo i Osijek, razvijanja industrijske zone te povećanja pouzdanosti napajanja i naponskih prilika.



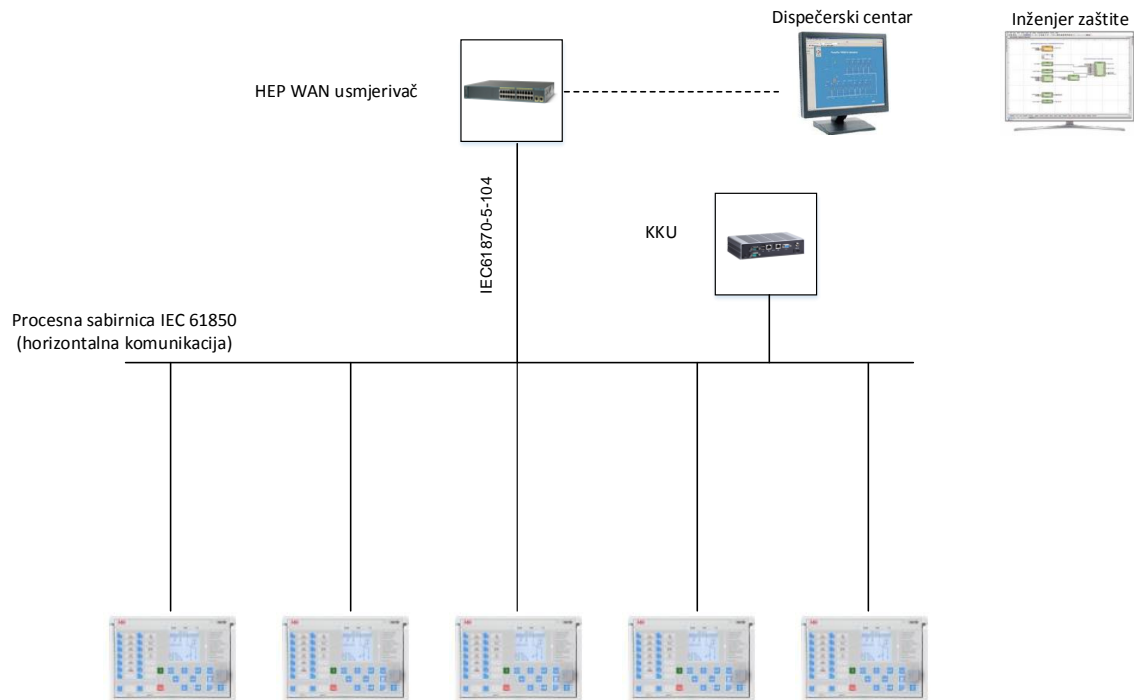
Slika 3. Rasklopno postrojenje R-Valpovo 3 10 kV

Oba rasklopna postrojenja bila su opremljena uređajima relejne zaštite ABB REF 54x koji su bili komunikacijski povezani sa K KU-om (kontrolno komunikacijski uređaj – industrijsko računalo koje služi za prikupljanje, obradu i prosljeđivanje podataka u SCADA sustav) putem protokola LON. Tijekom 2018. godine dogovorena je rekonstrukcija sekundarnog dijela tj. zamjena starih terminala polja (životni vijek terminala je deklariran na otprilike petnaest godina) sa novim zaštitno upravljačkim terminalima ABB REF620 te je uz to dogovorena i zamjena popratne komunikacijske opreme. Pošto su novi terminali polja REF620 bazirani na normi IEC 61850 bilo je potrebno na razini stanice omogućiti komunikaciju putem te norme. Zamijenjeni su stari terminali polja te je stavljeno kompletno novo ožičenje do terminala polja. Također je zamijenjena komunikacijska petlja koja je bila ostvarena putem plastičnih optičkih kabela sa novom ethernet komunikacijskom vezom (RJ-45) koja ide prema svakom terminalu. Stara petlja sadržavala je uređaj koji je prikupljao signale sa terminala (eng. *coupler*) i konvertirao ih, pa je bila povećana mogućnost pojave kvara, te je uređaj uklonjen tijekom rekonstrukcije. Svi terminali polja međusobno su povezani pomoću dva preklopnika koji se nalaze u ormaru SDV-a te stvaraju procesnu sabirnicu. Pomoću preklopnika koji su prikazani na slici 5. osigurana je interoperabilnost (mogućnost međusobnog funkcioniranja) između uređaja te slanje i razmjena GOOSE poruka. Na te preklopnike je spojen i kontrolno komunikacijskom uređaju i usmjerivač HEP WAN mreže kako je shematski prikazano na slici 6.



Slika 5. Preklopnici koji tvore procesnu sabirnicu

Na slici 6. nalazi se shematski prikaz izvedenog stanja komunikacije unutar postrojenja (horizontalna komunikacija) i komunikaciju između uređaja i upravljačkog centra (vertikalna komunikacija). Ovakav način izvedbe omogućava kreiranje različitih uvjeta koji se mogu slati putem procesne sabirnice te se time smanjuje ožičenje, mogućnost greške ili kvara i samonadzor komunikacijskih veza. Također je SMS petlja (zaštitarska petlja) pojednostavljena jer je daljinska komunikacija inženjera zaštite s uređajima relejne zaštite osigurana putem procesne sabirnice dok prije rekonstrukcije ona nije uopće postojala.



Slika 6. Shematski prikaz izvedenog stanja

2.1 Primjena norme IEC 61850 na uređaje relejne zaštite

Moderni terminali polja dizajnirani su korištenjem koncepta norme IEC 61850. To se prije svega odnosi na način modeliranja funkcija unutar terminala te način na koji je terminal predstavljen u postrojenju. Dizajniranje u skladu sa normom znači da je funkcionalnost terminala predstavljena u modelu podataka u skladu sa normom i da oni podržavaju širok raspon usluga koje norma pruža:

- 1) Process data - nadzor stanja aparata i mjerenja
- 2) Application data - aktiviranje zaštite, isklon, zapisi o kvaru
- 3) Disturbance records - spremljeni zapisi o poremećajima
- 4) Control commands – upravljačke naredbe
- 5) Protection settings – postavke zaštite
- 6) Settings and setting groups – postavke i grupe podešenja
- 7) Configuration data – podaci vezani uz konfiguraciju
- 8) Diagnostics and self-supervision – Dijagnostika i samo nadzor
- 9) Fast horizontal communication between devices – brza horizontalna komunikacija
- 10) Time synchronization – vremenska sinkronizacija
- 11) File transfer – prijenos podataka

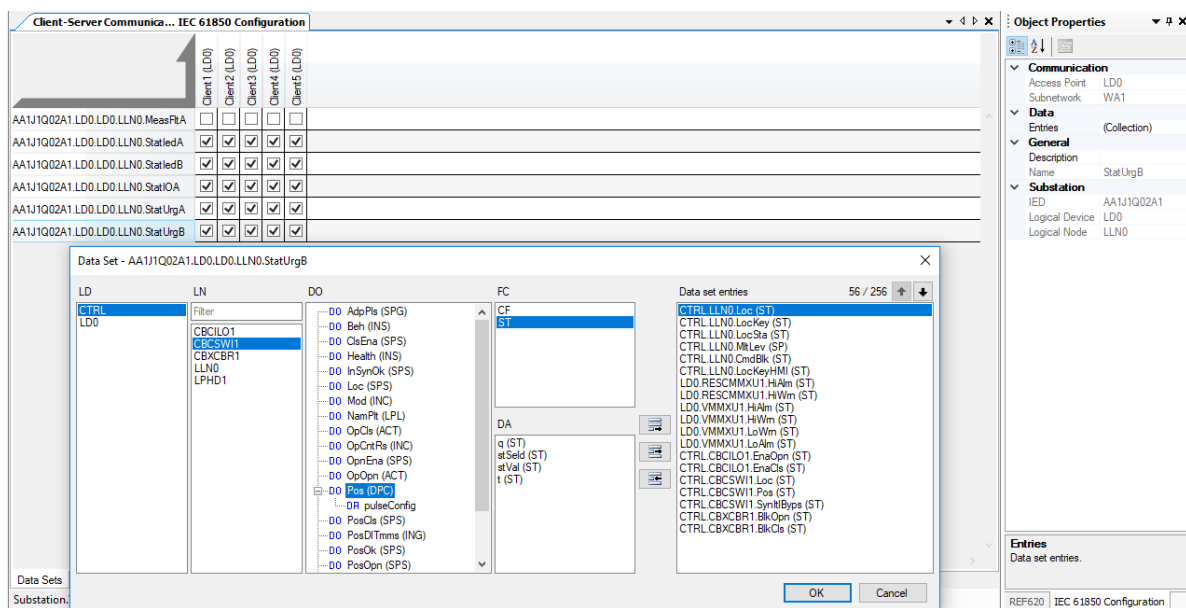
Programska podrška terminala polja također koristi normu IEC 61850 putem ethernet veze za komunikaciju sa uređajima te njihovo konfiguriranje i održavanje [3].

2.2 Vertikalna i horizontalna konfiguracija putem norme IEC 61850

2.2.1 Vertikalna komunikacija

Zaštitni terminali mogu vertikalno komunicirati – komunikacija između uređaja i nadzornih i upravljačkih centara (nadzor se vrši putem programske podrške a upravljanje putem SCADA (eng. *Supervisory Control And Data Acquisition*) sustava). Svaki uređaj može komunicirati sa do pet zasebnih klijenata za primanje događaja, čitanje ili pisanje konfiguracije. U ovom načinu komunikacije, terminal može generirati događaje koji se automatski šalju svim klijentima koji „slušaju“. Te se komunikacije konfiguriraju prema unaprijed definiranim skupovima podataka i odgovarajućim kontrolnim blokovima za izvještaj. Podatkovni skupovi se koriste za konfiguriranje podataka koji se šalju i koji se blok koristi za konfiguriranje prilikom slanja podataka. Ovi skupovi podataka i izvještajni kontrolni blokovi mogu se modificirati putem IEC 61850 konfiguratora unutar programske podrške terminala kako je prikazano na slici 7. gdje se vidi primjer slanja informacije o stanju položaja aparata. Paket za povezivanje uređaja (eng. *Connectivity package*) uključuje unaprijed definirane podatkovne skupove i upravljačke blokove za vertikalno komuniciranje. Ovi skupovi koriste se u komunikaciji sa osnovnih pet klijenata, a odabrani podaci u tim skupovima su dovoljni za većinu potreba korisnika [3]:

- 1) Statled – općenite informacije o statusu IED-a
- 2) Statlo – ulazi, izlazi, LED indikatori
- 3) StatUrg – nadzor mjerenja, povratne informacije upravljanja
- 4) StatNrml – pobuda i isklon zaštite, status automatskog ponovnog uklopa
- 5) StatDR – status digitalnog snimača događaja
- 6) MeasReg – zabilježene mjerene vrijednosti pri kvarovima
- 7) MeasFlt - mjerenja



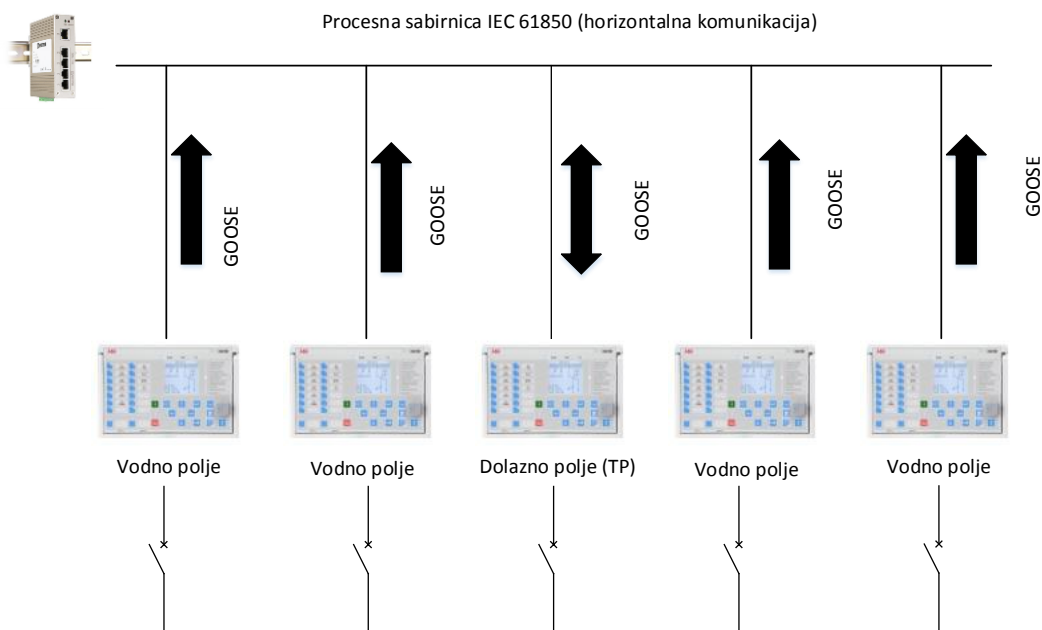
Slika 7. Primjer podatkovnog skupa koji se prosljeđuje centru

2.2.2 Horizontalna komunikacija

Zaštitni terminali također imaju mogućnost horizontalnog tj. peer-to-peer komuniciranja. Mogu se programirati za objavljivanje (slanje) informacija i pretplatu (primanje) informacija s drugih uređaja u skladu sa normama IEC 61850-8-1 i IEC 61850-9-2LE. IEC 61850 norma omogućuje komunikaciju putem GOOSE (eng. *Generic Object Oriented Substation Events*) poruka preko procesne LAN sabirnice. GOOSE se koristi u automatizaciji postrojenja za brzu horizontalnu komunikaciju između dva uređaja, a može se koristiti za direktnu razmjenu podataka, npr. za blokadne uvjete između zaštitnih terminala (putem signalizacije stanja položaja aparata), za isklon nadležnog prekidača, za pokretanje snimača poremećaja, za slanje vrijednosti mjerenja itd. Prema IEC 61850-8-1 normi GOOSE koristi profil izdavača/pretplatnika u kojem se informacije dijele s jednog uređaja na jedan ili više uređaja

pomoću ethernet višesmjernih (eng. *Multicast*) poruka. Poruka je slika poslanog podatkovnog skupa koji je definiran u konfiguraciji. Komunikacijska veza između uređaja nadzire se cikličkim slanjem podataka, kada uređaj koji prima informaciju potvrdi promjenu podataka, događaj se trenutno šalje na mrežu više puta kako bi se osigurao prijem podataka (brzina kašnjenja poruke do 3 milisekunde). U slučaju neuspjele isporuke korisnik je obaviješten. Konfiguracija horizontalne komunikacije vrši se na uređaju koji šalje poruke tj. vrši se odabir i kreiranje skupa podataka i na uređaju koji prima poruke [3]. Neke od prednosti korištenja horizontalne komunikacije su:

- 1) smanjenje ožičenja između uređaja (umjesto klasičnih vodiča koristi se UTP kabel)
- 2) automatsko nadziranje veza između uređaja (poznato je mjesto kvara, nadziranje kvalitete informacija koji su poslani itd.)
- 3) više ulaza/izlaza bez izmjene hardvera ili dodataka
- 4) proširivost
- 5) fleksibilnost (mogućnost naknadnog dodavanja funkcija)
- 6) isporuka podataka prema većem broju korisnika (eng. *multicasting*)



Slika 8. Prikaz razmjene GOOSE poruka

U rasklopnim postrojenjima R-Valpovo 3 i R-2 Uske njive primijenjen je ovakav način komunikacije za potrebe zaštite od zatajenja prekidača. Kriterij n-1 često se koristi kod projektiranja sustava zaštite postrojenja, a to znači da se kvar mora otkloniti čak i u slučaju ako je neki od aparata sustava u kvaru. Prekidač je nužan dio tog sustava, ali je i skup pa se iz ekonomskih razloga koristi funkcija zaštite od zatajenja prekidača. Ova zaštitna funkcija izdaje naredbu isklopa na nadležni prekidač u slučaju da izvorni prekidač ne uspije otkloniti kvar u postavljenom vremenu iz nekog razloga (kvar u isklonnom krugu, kvar u mehanizmu prekidača itd.). U postrojenjima R-Valpovo 3 i R-2 Uske njive upravo je ova zaštita izvedena putem razmjene GOOSE poruka koju je omogućila norma IEC 61850, a prije se nije koristila zbog nepostojanja veza između terminala polja. Slika 8. prikazuje način razmjene informacija vezanih za potrebe zaštite od zatajenja prekidača. U GOOSE komunikaciji slanje podataka se temelji na skupovima podataka i GOOSE kontrolnim blokovima. Skup podataka definira koji se podaci uređaja koriste u GOOSE komunikaciji i šalju lokalnom ethernet mrežom u poruci. GOOSE kontrolni blok povezuje skup podataka i njegove attribute sa stvarnim podacima. Kako bi se ostvarila ova komunikacija potrebno je izvršiti korake na uređajima koji šalju i primaju poruke:

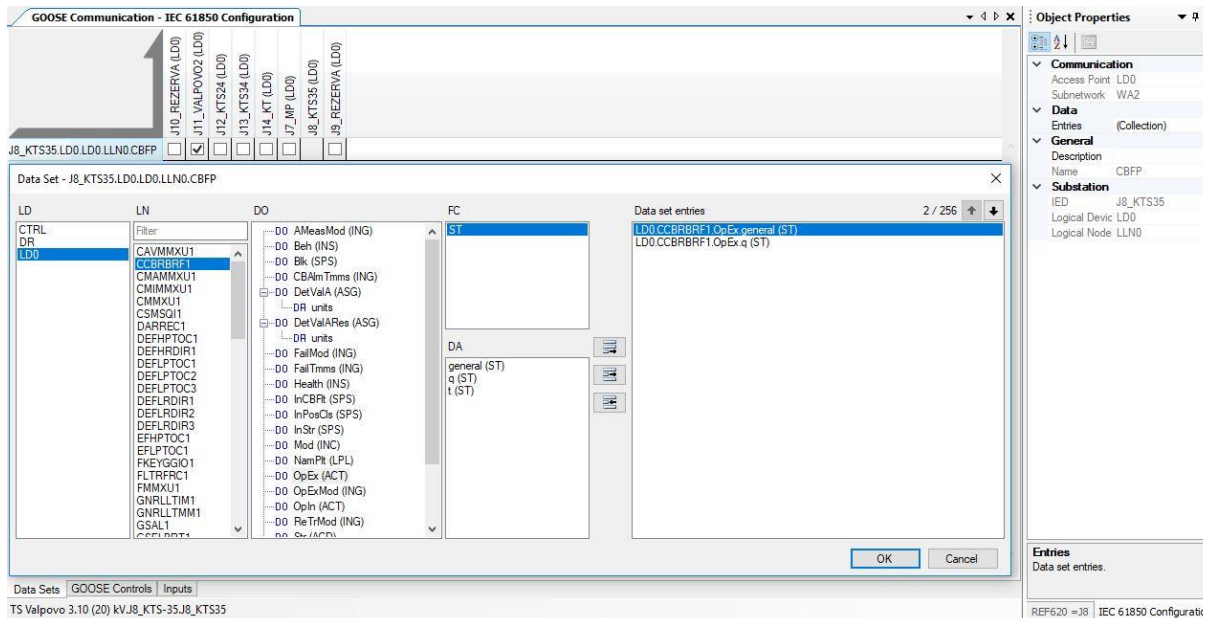
Pošiljalatelj:

1. Kreiranje podatkovnog skupa
2. Odabir i dodjela informacija data setu
3. Kreiranje GOOSE kontrolnog bloka
4. Dodjela data seta GOOSE bloku
5. Izmjena postavki GOOSE bloka
6. Označavanje primatelja (klijenta)

Primatelj:

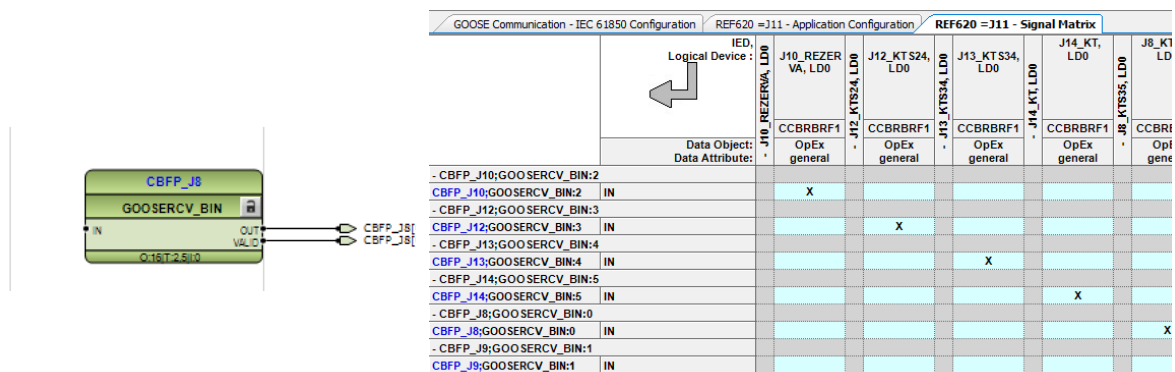
1. Kreiranje GOOSE blokova za primanje dolaznih signala
2. Spajanje blokova sa dolaznim signalima
3. Kreiranje logike za obradu novih signala

Prema ovim koracima izvršeno je programiranje terminala polja putem IEC 61850 konfiguratora. Na slici 9. prikazan je primjer definiranja GOOSE podatkovnog skupa u pošiljatelju za potrebe zaštite od zatajenja prekidača. Pošto je ovo funkcija srodna zaštitnim funkcijama ona se nalazi pod funkcijskom grupom LD0 (logical device), CCBRRBF1 logičkim čvorom LN (logical node). Zatim je odabran određeni dio informacije, „OpEx“ funkcijskog bloka CCBRRBF1 pod dijelom informacije DO (data object), te je na kraju odabrana vrijednost koja se želi poslati pretplaćenim uređajima.



Slika 9. Definiranje GOOSE podatkovnog skupa unutar IEC 61850 konfiguratora

Kako bi se konfigurirao uređaj koji prima GOOSE poruke potrebno je u njegovoj konfiguraciji kreirati GOOSE kontrolne blokove za primanje tih poruka i u signalnoj matrici dodijeliti signal pripadajućem bloku. Slika 10. prikazuje konfiguriranje uređaja koji prima GOOSE poruke. U gornjem dijelu signale matrice nalaze se podatkovni skupovi koji su definirani u uređajima koji šalju poruke dok se s desne strane signalne matrice nalaze GOOSE kontrolni blokovi koji se nalaze u uređaju koji prima te poruke.



Slika 10. konfiguriranje uređaja za primanje poruka

Ovo je jedan od načina primjene horizontalne komunikacije za potrebe zaštitnih funkcija. Također je moguće koristiti ovu vrstu komunikacije u većim postrojenjima za potrebe kratkospojne zaštite sabirnica, za potrebe diferencijalne zaštite pomoću Merging unit uređaja, za slanje signalizacije o položaju aparata radi dopuštanja upravljanja i kreiranja blokadnih uvjeta, za automatsku promjenu grupe podešenja itd.

3. ZAKLJUČAK

IEC 61850 je komunikacijski protokol koji se koristi diljem svijeta za integriranje opreme različitih proizvođača tj. ostvarivanje interoperabilnosti unutar elektroenergetskih postrojenja. Velika je razlika između drugih komunikacijskih protokola koji se primjenjuju u automatizaciji elektroenergetskih postrojenja jer IEC 61850 nije samo komunikacijski protokol nego okosnica za specificiranje, inženjering i upravljanje automatizacijskih sustava tih postrojenja. U radu je prikazano kako je primjenom nove norme olakšan inženjering konfiguriranja i komunikacijskih potreba kao i potreba za programiranje zaštitnih i upravljačkih funkcija. Upravo modeliranje stvarnog aparata virtualnim modelom te normiranjem imena funkcija omogućava se jednostavniji pristup programiranju samog zaštitno upravljačkog terminala. Primjenom norme koja koristi TCP/IP i ethernet vezu povećana je brzina ažuriranja stanja i prijenosa informacija u vertikalnoj komunikaciji. Nakon rekonstrukcije opisanih postrojenja kreirana je procesna sabirnica kojom je omogućena horizontalna komunikacija te je kao takva poslužila za međusobnu komunikaciju između uređaja zaštite što u prošloj izvedbi nije bilo moguće. U ovom radu prikazan je primjer korištenja GOOSE poruka za potrebe zaštite od zatajenja prekidača koja je ostvarena putem ethernet veze. Sve ove navedene stavke predstavljaju normu IEC 61850 kao kompletno i konačno rješenje za sustave automatizacije unutar elektroenergetskih postrojenja širom svijeta a granice primjene uređaja koji implementiraju normu 61850 značajno se proširuju.

Literatura

- [1] Protection of Electricity Distribution Networks 3rd edition, Juan M.Gers, Edward J. Holmes, 2011.
- [2] Overview of IEC 61850 and Benefits, Ralph Mackiewicz, 2011.
- [3] 620 series Engineering Guide, ABB, 2015.