



INDUSTRIJSKI KOMUNIKACIONI PROTOKOLI U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA SREDNJEG I VISOKOG NAPONA

INDUSTRIAL COMMUNICATION PROTOCOLS IN MEDIUM AND HIGH VOLTAGE SUBSTATIONS

Boško Jovanović, Boris Dumnić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratka sadržaj – U radu je navedena i opisana oprema koja se nalazi u transformatorskoj stanici, sa akcentom na zaštitne releje i SCADA sistem. Opisan je princip komunikacije između uređa na samoj stanici i prema SCADA sistemu. Komunikacija je zasnovana na IEC 61850 protokolu. Opisani su MMS, GOOSE i Sampled Values principi komunikacije. Praktičnim radom obrađena je zaštita od otkaza prekidača i predstavljen GOOSE princip komunikacije između tri releja.

Ključne reči: Relejna zaštita, Mikroprocesorski relej, SCADA, Komunikacija, Transformatorska stanica

Abstract – This paper discusses the equipment located in the substation, with emphasis on protection relays and SCADA system. Communication principle between relays on substation level and communication between relays and SCADA system were described. Communication is based on the IEC 61850 protocol. MMS, GOOSE and Sampled Values principle of communication were described. By practical work, the circuit breaker failure protection was adjusted and GOOSE principle of communication was tested.

Keywords: Relay protection, Microprocessor relay, SCADA, Communication, Substation

1. UVOD

Elektroenergetika predstavlja osnovu privrednog i društvenog razvoja na globalnom nivou. Razvoj elektroenergetike praćen je intenzivnim razvojem elektroenergetskog sistema. Elektroenergetski sistem sastoji se u suštini od četiri osnovna podsistema:

- Podsystem za proizvodnju električne energije;
- Podsystem za prenos električne energije;
- Podsystem za distribuciju električne energije i
- Podsystem za potrošnju električne energije.

Najvažniji elementi elektroenergetskog sistema su generatori, transformatori i vodovi. S obzirom da se u elektroenergetskom sistemu najčešće radi o velikim snagama i naponima potrebno je čvorne tačke sistema pažljivo izvesti. Zbog toga se čvorne tačke izvode kao razvodna postrojenja.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Boris Dumnić, van. prof.

Ova postrojenja mogu biti sa ili bez transformacije napona. S obzirom na namenu za koju se koriste, razvodna postrojenja mogu se podeliti na razdelne i transformatorske stanice. Razdelne stanice su postrojenja u kojima se stiču vodovi istog naponskog nivoa i za cilj imaju raspodelu električne energije na priključne vodove. U transformatorskim stanicama, pored raspodele energije na priključne vodove, vrši se i transformacija električne energije sa jednog naponskog nivoa na drugi. Transformatorska stanica je razvodno postrojenje sa jednim ili više energetske transformatora. Transformatorske stanice po svojoj konstrukciji su veoma kompleksni objekti koji moraju da ispune brojne složene i važne zadatke [1]. Osnovni elementi transformatorskih stanica su: sabirnice, izolatori, rastavljači, prekidači, osigurači, energetske transformatori, merni transformatori, energetske kablovi, prigušnice, odvodnici prenapona i zaštitni uređaji i dr.

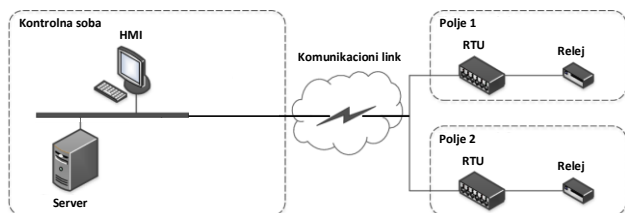
2. OPIS POSTROJENJA

Pri projektovanju transformatorskih stanica mora se voditi računa o izboru primarne opreme i opreme za zaštitu, jer su transformatorske stanice jedan od najskupljih elemenata u čitavom elektroenergetskom sistemu. Oprema u transformatorskoj stanici izložena je raznim naprezanjima kao što su: električna, termička, mehanička, ambijentalni uslovi i slično. Takođe, bitni faktori u radu stanice su i starost opreme, vreme korišćenja i način skladištenja. U radu su opisani svi glavni elementi transformatorske stanice.

Najvažniji zaštitni elementi u transformatorskim stanicama su zaštitni mikroprocesorski releji. Njihova uloga je da brzim reagovanjem isključe elemente sa mreže kada se pojavi struja kvara ili struja preopterećenja. Na taj način se oprema dovodi u beznaponsko stanje i izbegavaju se havarijske posledice do kojih bi došlo da su elementi ostali priključeni na mrežu pri pojavi struje kvara ili preopterećenja. Svaki relej štiti određeni element ili grupu elemenata, tako da na nivou transformatorske stanice postoji veliki broj releja. Zbog logike i selektivnosti zaštite releji moraju međusobno komunicirati. Takođe, releji komuniciraju i sa SCADA sistemom.

Arhitektura mreže između releja i SCADA sistema može biti realizovana na više različitih načina. Arhitektura mreže koja se danas najviše koristi jeste da je određena grupa releja preko ethernet sviča povezana na RTU. Između ostalog, uloga RTU-a u sistemu je da jedan komunikacioni protokol pretvori u drugi. Komunikacija između releja i RTU-a realizovana je preko IEC 61850 protokola, a dalje od RTU-a do SCADA-e preko IEC

60870-5-104 protokola. Arhitektura mreže sa RTU-om prikazana je na slici 1.



Slika 1. Arhitektura mreže od releja do SCADA sistema

3. MIKROPROCESORSKI RELEJI I SCADA SISTEM

3.1. Mikroprocesorski relej kao zaštitni element

U prošlosti su bile korišćene razne tehnologije za detekciju kvara u sistemu i zaštitu elemenata. Pre pojave mikroprocesorskih relaja, kao zaštita sistema koristili su se elektromehanički releji. Oni su radili na principu elektromagnetne indukcije. Sa razvojem tehnologije dolazi do razvoja i zaštitnih uređaja u transformatorskim stanicama. Prvi mikroprocesorski releji pojavili su se 1985. godine. Masovnija upotreba počela je 1990. godine. Danas se zaštita transformatorskih stanica ne može zamisliti bez mikroprocesorskih relaja. Postali su nezamenljivi elementi svake stanice zbog svoje pouzdanosti, preciznosti i brzine delovanja. Još jedna velika prednost u odnosu na prethodne izvedbe relaja jeste programabilnost. Time je omogućena upotreba relaja u mnogo složenijim procesima nego ranije. U ovom radu obrađivaće se samo mikroprocesorski releji.

Mikroprocesorski relej je zaštitni uređaj koji koristi mikroprocesor za analizu prikupljenih analognih i digitalnih signala. Oni imaju ugrađen konvertor za konverziju analognih signala, kao što su napon i struja, u digitalne i koriste mikroprocesor za određivanje logike i izdavanje komandi. Princip rada se kreće od prostih i jednostavnih do veoma složenih i zahtevnih operacija. Ovi releji imaju napredne programabilne funkcije koje omogućavaju veliku fleksibilnost u praćenu sistema i izboru karakteristike krive za proradu određene zaštite. Mikroprocesorski relej istovremeno upravlja sa nekoliko zaštitnih funkcija, obavlja komunikaciju sa ostalim uređajima, vrši nadgledanje i snimanje promena u sistemu. Upotrebom mikroprocesorskih relaja smanjuje se potreba za uređajima za lokaciju greške, snimanje događaja, kontrolu, nadzor i merenje, jer je sada sve to objedinjeno u jedan uređaj.

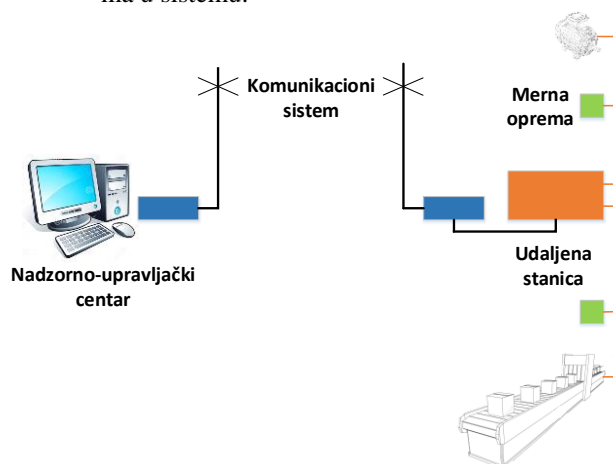
3.2. SCADA sistem

U današnjem savremenom društvu postoji veliki broj procesa za koje je potreban nadzor i upravljanje. Ti procesi su opremljeni uređajima za merenje, sensorima, raznim detektorima i drugom opremom neophodnom za nadzor i upravljanje sistemom. Kada je proces opremljen ovim uređajima on može biti kontrolisan određenim sistemom. Danas, najzastupljeniji sistem za tu namenu jeste SCADA sistem. Sa SCADA sistemom vrši se nadzor procesa i daljinsko upravljanje. Svi elementi procesa, nad kojima se vrši nadzor i upravljanje sa SCADA sistemom, su grafički prikazani na ekranima u kontrolnoj sobi. SCADA sistem ima veoma široku primenu u raznim sistemima i procesima. Najčešće se primenjuje u sistemima kao što su proizvodnja i distribucija električne i

toplotne energije, petrohemijska industrija, građevinska industrija, prehrambena industrija, industrija plastičnih masa i slično.

Glavni ciljevi SCADA sistema su:

- Vršnje nadzora sistema;
- Upravljanje sistemom;
- Prikupljanje i skladištenje pristiglih podataka iz sistema;
- Smanjenje angažovanja radne snage primenom automatizacije i
- Izdavanje upozorenja o detektovanim problemima u sistemu.



Slika 2. Primer SCADA sistema

Osnovni elementi SCADA sistema su:

- Nadzorno-upravljački centar;
- Komunikacioni sistem;
- Udaljena stanica i
- Merna oprema.

4. OPIS KOMUNIKACIONIH PROTOKOLA

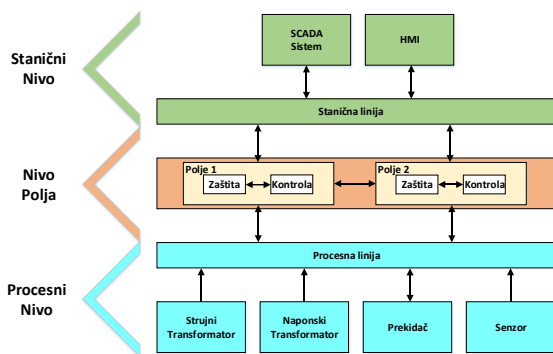
IEC 61850 je međunarodni standard primenljiv za komunikaciju u transformatorskim stanicama. Pre objavljivanja standarda IEC 61850 različiti proizvođači opreme koristili su različite protokole za komunikaciju. Tako je u transformatorskim stanicama u kojima se koristila oprema različitih proizvođača bilo neophodno informacije pretvoriti iz jednog protokola u drugi. Pretvaranje jednog protokola u drugi unosilo je određeno kašnjenje u sam proces. Sa porastom količine informacija to vreme je postalo sve duže i to je postao potencijalni problem. Cilj IEC 61850 standarda jeste da reši taj problem jednim standardizovanim protokolom za transformatorske stanice. Time je omogućena velika interoperabilnost između uređaja različitih proizvođača i objedinjeni različiti nivoi u okviru postrojenja [2].

Struktura IEC 61850 protokola je hijerarhijska i definisana je na tri tipična nivoa:

- Stanični nivo (računar, operatorske stanice...);
- Nivo polja (kontrolni, nadzorni i zaštitni uređaji) i
- Procesni nivo (merna i rasklopna oprema) [3].

Standard IEC 61850 definiše komunikaciju koristeći OSI model. OSI model je internacionalni standardizovani model koji opisuje interakciju uređaja, programa, softvera i protokola tokom komunikacije. Takođe, daje spisak

funkcija, servisa i protokola koji funkcionišu na svakom nivou. Za razliku od nekih prethodnih komunikacionih standarda čija se semantika procesnih podataka temelji na signalima (engl. *Signal-oriented*), IEC 61850 uvodi načelo opisivanja energetskih uređaja na principu objektno orijentisanog modelovanja [4].



Slika 3. Arhitektura IEC 61850 protokola na nivou transformatorske stanice

Tri najistaknutija protokola su:

- Client/Server (MMS);
- GOOSE i
- Sampled Values.

Princip klijent-server omogućava razmenu informacija koje nisu vremenski kritične između klijenta i servera. Primjenjuje se u aplikacijama za automatizaciju postrojenja kao što su kontrola i nadzor opreme u transformatorskoj stanici, sinhronizacija vremena, prenos komandi i dobijanje izveštaja iz sistema [5]. Klijent – server komunikacija je vertikalna komunikacija a primer je protokol proizvođačkih specifikacionih poruka (engl. *Manufacturing Message Specification - MMS*).

Za prenos informacija koje su vremenski kritične koristi se izdavač – pretplatnik princip. Prenos informacija je u okviru milisekundi. Dve metode koje se koriste kod principa izdavač – pretplatnik su opšti objektno orijentisani događaji trafostanice (engl. *Generic Object Oriented Substation Event - GOOSE*) i prenos uzorkovanih vrednosti (engl. *Sampled Values - SV*).

5. GOOSE KOMUNIKACIJA NA PRIMERU TRI RELEJA

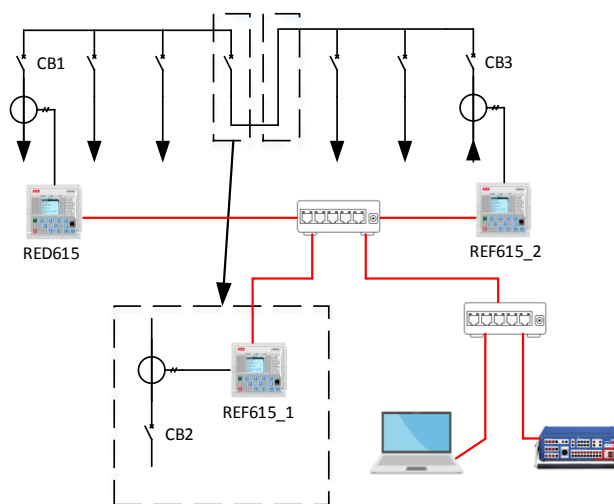
PCM600 (engl. *Protection and Control IED Manager*) softver predstavlja okruženje za podešavanje i ispitivanje releja proizvođača ABB. On je usklađen sa IEC61850 protokolom i pojednostavljuje inženjering releja i omogućava razmenu informacija sa drugim uređajima koji su takođe usklađeni sa IEC 61850 protokolom.

Osnovna uloga GOOSE komunikacije jeste prenos informacija između releja na nivou jedne stanice. Za potrebe ovog rada koriste se 3 releja proizvođača ABB. Koristi se jedan RED615 i dva REF615 releja.

RED615 je mikroprocesorski relej namenjen prvenstveno za poduznu diferencijalnu zaštitu nadzemnih vodova i kablovskih izvoda.

REF615 je mikroprocesorski relej za zaštitu nadzemnih vodova i kablovskih izvoda. Kao zaštitna funkcija koristi se zaštita od otkaza prekidača (CCBRBRF).

Nakon pojave struje kvara u polju u kojem se nalazi prekidač CB1, relej RED615 šalje komandu za otvaranje prekidača CB1. Nakon izdavanja komande za otvaranje prekidača, kontakti prekidača su ostali zatvoreni. Zatim, potrebno je da relej ponovo pošalje komandu za otvaranje prekidača (Re-Trip) i ukoliko prekidač i dalje bude zatvoren potrebno je preko GOOSE komunikacije proslediti informaciju releju REF615_1 o otkazu prekidača CB1. Zatim, relej REF615_1, koji štiti sabirnice, treba, takođe preko GOOSE komunikacije, da prosledi informaciju svim relejima koji se nalaze na sabirnici da izdaju komandu za otvaranje prekidača da bi se izolovao prekidač CB1 koji je u kvaru.

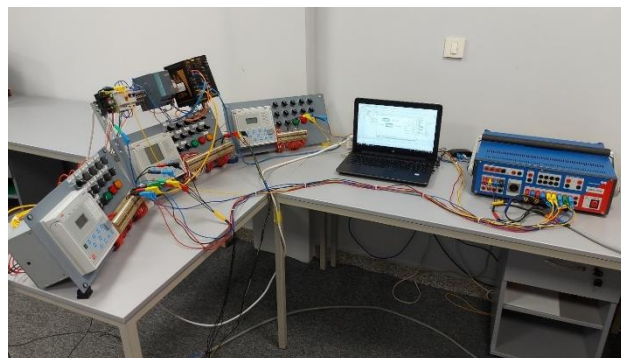


Slika 4. Pozicije prekidača i releja u mreži

Za potrebe praktičnog rada korištene su prekostrujna zaštita (PHHPTOC) i zaštita od otkaza prekidača (CCBRBRF). Nakon završenog podešenja zaštita potrebno je podesiti parametre GOOSE komunikacije u sva tri releja.

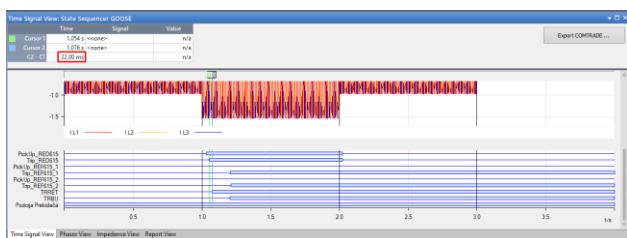
5.1. Ispitivanje GOOSE komunikacije

Sva tri releja su povezana na upravljivi svič RuggedSwitch RS900. On je zatim povezan na drugi manji neupravljivi svič D-Link DES-1005D. Na njega su takođe povezani računar i test set CMC 356, proizvođača OMICRON, koji je korišćen za injektovanje struja i simulaciju kvara. Za potrebe ispitivanja GOOSE komunikacije u sva tri releja injektovane su struje samo u prvoj fazi. To je dovoljan uslov za prorađu zaštite.



Slika 5. Izgled testnog okruženja za ispitivanje GOOSE komunikacije

Za prvi test, zaštita od otkaza prekidača podešena je tako da prati samo poziciju prekidača. To znači da će izlaziti iz bloka zaštite za Re-Trip i BackUp-Trip ostati aktivni sve dok je prekidač zatvoren, bez obzira na vrednost struje. Vreme Re-Trip signala podešeno je na 20ms, a vreme BackUp-Trip signala na 150ms. Na slici 6. prikazani su odzivi vremenskih signala.



Slika 6. Prikaz vremenskih signala

Za drugi test, zaštita od otkaza prekidača podešena je tako da prati samo vrednost struje. To znači da će izlaziti iz bloka zaštite za Re-Trip i BackUp-Trip ostati aktivni sve dok je vrednost struje veća od podešene vrednosti u koloni *Current Value*, bez obzira na poziciju prekidača. Vreme Re-Trip signala podešeno je na 20ms, a vreme BackUp-Trip signala na 150ms.

Za treći test, zaštita od otkaza prekidača podešena je tako da prati vrednost struje i poziciju prekidača. To znači da će izlaziti iz bloka zaštite za Re-Trip i BackUp-Trip ostati aktivni sve dok vrednost struje ne padne ispod podešene vrednosti u koloni *Current Value* ili dok prekidač ne otvori svoje kontakte. Vreme Re-Trip signala podešeno je na 20ms, a vreme BackUp-Trip signala na 150ms.

Snimanje i praćenje paketa podataka koji se šalju kroz mrežu odrađeno je *Wireshark* softverom. *Wireshark* je najrasprostranjeniji softver za analizu mrežnih protokola. Omogućava praćenje dešavanja u mreži sa veoma velikom preciznošću. *Wireshark* softver ima širok set funkcija, neke od najbitnijih su: snimanje paketa na mreži, filtriranje paketa, vizuelizacija podataka.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisana je komunikacija između uređaja na nivou transformatorske stanice i komunikacija prema SCADA sistemu. Opisana su tri osnovna principa komunikacije IEC61850 protokola. To su MMS komunikacija, GOOSE komunikacije i Sampled Values komunikacija. Pažnja je posvećena modelovanju podataka u okviru IEC61850 protokola.

Praktičan deo rada obuhvatio je detaljan opis softvera za podešavanja ABB releja – PCM600, opis i podešavanje zaštite od otkaza prekidača i podešavanje GOOSE komunikacije. Dobijeni rezultati testiranjem GOOSE komunikacije pokazuju da nakon otkaza prekidača, relej šalje Re-Trip komandu za ponovno otvaranje prekidača.

Nakon novog neuspešnog pokušaja otvaranja prekidača, relej preko GOOSE komunikacije šalje releju hijerarhiski iznad sebe informaciju o otkazu prekidača. Taj relej nakon prijema informacije, preko GOOSE poruke šalje komadu svim ostalim relejima, na dovodnim i odvodnim poljima, da izdaju komandu za otvaranje prekidača i na taj način izoluju kvar.

7. LITERATURA

[1] S. Škuletić, Z. Sekulić, „Proizvodnja električne energije,” Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Podgorica, 2019.

[2] Dajana Cvijić, „GOOSE Komunikacija,” Master rad, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 2020.

[3] Shawn Nick, „An investigation approach to test Protection Intelligent Electronic Devices (IEDs) in IEC 61850 based Substation Automation Systems (SAS) at Station level,” Science and Engineering Faculty, Brisbane, 2014.

[4] S. Sučić, A. Martinić, H. Keserica, „Utjecaj drugog izdanja IEC 61850 standarda na razvoj komunikacijske arhitekture elektroenergetskog sustava,” Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, Umag, Hrvatska 2010.

[5] Matija Skelo, „Pregled komunikacijskih sustava u pametnim elektroenergetskim mrežama,” Završni rad, Osijek, 2017.

Kratka biografija:



Boško Jovanović rođen je u Nürnberg-u 1996. godine. Osnovne akademske studije uspio je 2015. godine na Fakultetu tehničkih nauka, studijski program Energetika, elektronika i telekomunikacije. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Električne mašine odbranio je 2019. god. Master studije upisao je 2019. god. Kontakt: bosko.jovanovic.bnb@gmail.com



Boris Dumnić rođen je 1976. godine. Zaposlen je na Fakultetu tehničkih nauka, Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Katedri za energetsku elektroniku i pretvarače. Oblasti interesovanja su mu električne mašine, pogoni, energetska elektronika i obnovljivi izvori električne energije.