

## **ARHITEKTURE INTEGRISANIH SISTEMA ZAŠTITE I UPRAVLJANJA BAZIRANIH NA PROTOKOLU IEC 61850**

**D. Vukotić\*, PD "Elektrodistribucija Beograd" d.o.o. , Srbija**

### **UVOD**

U radu je su prikazani primeri arhitekture integrisanih sistema zaštite i upravljanja u transformatorskim stanicama 110/10 kV i 35/10 kV, koje u potpunosti podržavaju nove koncepte definisane najnovijim standardnim protokolom IEC 61850. Prikazani primeri su već primenjeni u nekoliko novoizgrađenih transformatorskih stanica, kao i u nekoliko postojećih transformatorskih stanica u kojima je izvršena kompletna rekonstrukcija postrojenja i zamena postojećeg sistema relejne zaštite i upravljanja, na konzumnom području PD EDB.

Budući da su prikazani neki od primera arhitekture integrisanih sistema zaštite i upravljanja koja su već našli primenu u praksi, u radu će biti prikazana neka od početnih iskustava, kao i neke do sada uočene komparativne prednosti jednih rešenja u odnosu na druge. Poseban osvrt u radu će biti dat na primeni pojedinih rešenja arhitekture sistema prilikom izvođenja radova na kompletnoj rekonstrukciji transformatorskih stanica. Takođe, u radu će biti data tehno-ekonomska analiza pojedinih rešenja arhitekture integrisanih sistema zaštite i upravljanja, na osnovu koje će biti predloženi optimalne arhitekture za pojedine tipove transformatorskih stanica.

Budući da se u narednom periodu očekuje intenzivna rekonstrukcija postojećih transformatorskih stanica x/10 kV, kao i izgradnja novih, u radu predložena optimalna rešenja arhitekture integrisanih sistema zaštite i upravljanja, omogućiće da se ti poslovi krajnje efikasno obave, kao i da će u potpunosti zadovoljiti zahteve zaštite i upravljanja u pogledu eventualnih proširenja na duži vremenski period.

### **SISTEM ZA ZAŠTITU I UPRAVLJANJE**

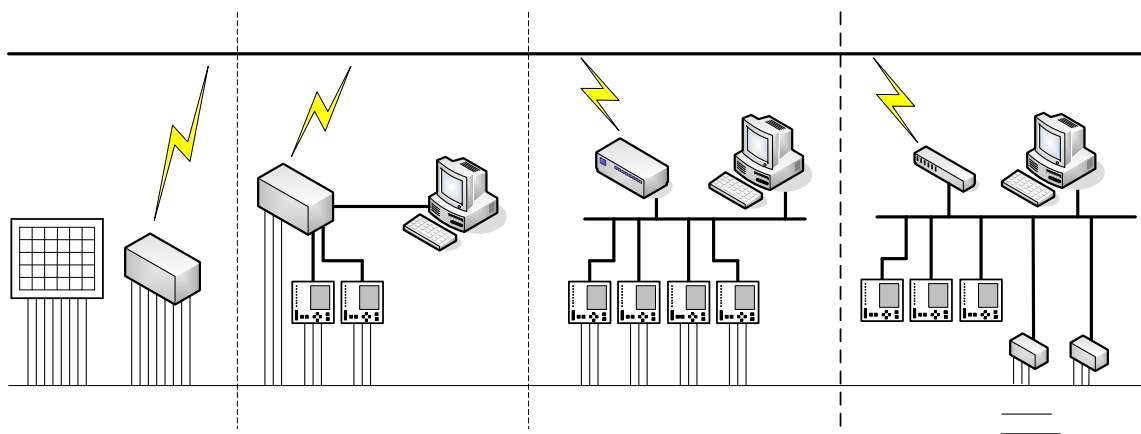
Potreba za definisanje novih arhitektura sistema za zaštitu i upravljanje je direktna posledica primene novih tehnologija koje su utemeljene u okviru novog standarda IEC 61850 („Communication Networks and Systems in Substations“), koji definiše realizaciju sistema, kao i same komunikacije između mikroprocesorskih jedinica unutar same transformatorske stanice, a u cilju potrebe da se realizuje efikasna zaštita, upravljanje i nadzor. U okviru standarda definisana je komunikacija između mikroprocesorskih jedinica (MPCU/MPU) koje su realizovane na nivou polja i direktno pokrivaju merne

*\* Balkanska 34, 11000 Beograd  
dusan.vukotic@edb.eps.co.yu*

transformatore i motorne pogone na samom procesnom nivou, kao i komunikacija ka nivou sistema realizovanog u samoj transformatorskoj stanici, ali i prema nivou centra upravljanja. Osnovne komponente standarda čine:

- Objektni model koji opisuje koje su informacije dostupne od strane različite primarne opreme na procesnom nivou i raznih zaštitno-upravljačkih funkcija koje su realizovane u okviru transformatorske stanice.
- Specifikaciju komunikacije između mikroprocesorskih jedinica (MPCU/MPU) koje se nalaze u okviru realizovanog sistema za zaštitu i upravljanje.
- Konfiguracioni jezik koji se koristi u cilju razmene konfiguracionih informacija između inženjerskih alata pomoću kojih se vrši konfigurisanje i parametrisanje realizovanog sistema za zaštitu i upravljanje u samoj transformatorskoj stanici, ali i na nivou centara upravljanja.

Realizacije sistema za zaštitu i upravljanje u transformatorskoj stanici su praktično u poslednjih dvadeset godina doživele evolutivan tehnološki razvoj, pre svega prateći trenutni tehnološki razvoj sistema, a u cilju dostizanja željene funkcionalnosti i pouzdanosti realizovanih sistema uz prihvatljive troškove investiranja. Na Slici 1 prikazan je tehnološki razvoj sistema za zaštitu i upravljanje, koji se po svojoj funkcionalnosti može podeliti u više etapa.



Slika 1 – Tehnološki razvoj sistema za zaštitu i upravljanje

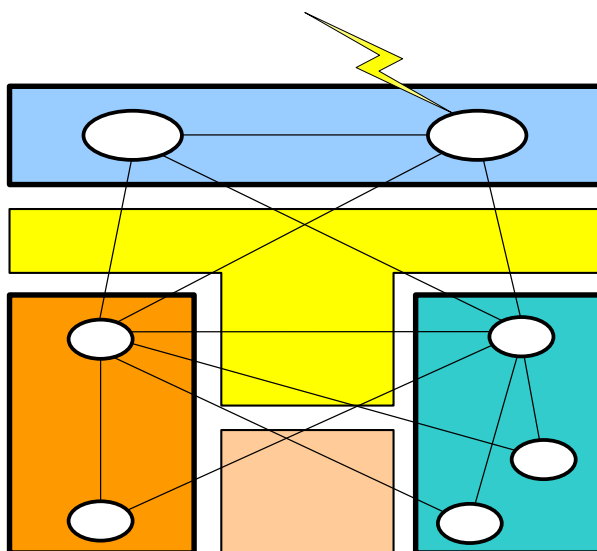
Pre dvadeset godina sistemi za zaštitu i upravljanje su realizovali putem instalacije centralne daljinske stanice (DAS) koja je direktno prikupljala informacije sa procesnog nivou putem direktnog ožičenja sa realizovanom klasičnom zaštitom preko realizovanih ormana koncentracije, ormana komande i ormana mernih pretvarača. Za potrebe lokalnog nadzora realizovane u odgovarajuće komandne table sa tabloima u okviru posebnih prostorija za telekomandu. Pojava mikroprocesorske zaštite uslovlila značajnu redukciju ožičenja između daljinske stanice i mikroprocesorskih jedinica, ali iz razloga nedovoljne razvijenosti tadašnjih komunikacionih protokola u pogledu realizacije horizontalne komunikacije između mikroprocesorskih jedinica, zadržano je direktno ožičenje u nešto manjem obimu između daljinske stanice i procesnog nivou. Takođe, tadašnji informatički razvoj uslovio je zamenu komandnih tabli sa staničnim računarnim preko koga je realizovao kompletni nadzor i upravljanje na transformatorskom stanicom. Arhitekture takvih sistema su pre svega bile uslovljene stepenom razvoja protokola koji su pokrivali praktično samo vertikalnu komunikaciju, što je dovelo do toga da su takvi sistemi bazirali samo na zrakastoj arhitekturi. Današnji nivou razvoja standardnih protokola, ali i pre svega definisanje najnovijeg standarda IEC 61850, dovelo je do toga da se arhitektura sistema za zaštitu i upravljanje korenito izmehi. Klasičnu daljinsku stanicu (DAS) zamenio je komunikacioni računari, u okviru koga je realizovan protokol za komunikaciju sa procesnim nivoom, ali i protokol za komunikaciju sa nadređenim centrima upravljanja, tako da oni praktično predstavljaju konsolidirane protokola. Podržavanje horizontalne komunikacije putem GOOSE mehanizma omogućilo je da se ožičenje zadrži između mikroprocesorskih jedinica (MPCU/MPU) prema procesnom nivou, odnosno prema motornim pogonima i mernim transformatorima. U budućnosti realnoj je očekivati da se realizuju tehnološka rešenja koja će putem inteligentnih uređaja ostvariti direktnu vezu sa procesnim nivoom, odnosno sa motornim pogonima i nekonvencionalnim mernim transformatorima (senzorima). Takođe, intenzivnom digitalizacijom postojećih telekomunikacionih pravaca omogućiće se eliminacija

komunikacionog računara, tako da će se komunikacija preko odgovarajuće aktivne opreme ostvarivati direktno sa nadređenim centima upravljanja, čime će postići željena „arhitektura bez granica“.

Kao što je ranije napomenuto, današnji savremeni sistemi za zaštitu i upravljanje, koji obezbeđuju prikupljanje i prenos informacija za potrebe nadređenog centra upravljanja sa procesnog nivoa energetskeg dela postrojenja, sastoji se od:

- Komunikacionog računara („gateway“) sa integrisanim GPS uređajem.
- Staničnog računara sa aplikativnom podrškom za lokalni SCADA sistem.
- Aktivnom mrežnom opremom („switch“) sa optičkim i žičanim mrežnim kablovima.
- Mikroprocesorskih jedinica sa zaštitno-upravljačkim funkcijama (MPCU/MCU).
- Komunikacionog uređaja (TK uređaj).

Ako bi se aktuelni sistemi za zaštitu i upravljanje prikazali preko odgovarajućih logičkih čvorova, koji su locirani u okviru različitih fizičkih uređaja unutar sistema, dobio bi se prikaz koji je dat na Slici 2. Prikazani logički čvorovi se prema standardu IEC 61850 veoma lako mapirati prema realizovanim mikroprocesorskim jedinicama, a u skladu sa realizovanom komunikacionom strukturom unutar transformatorske stanice. Na ovaj način je potpuno dat funkcionalan prikaz distribuiranog sistema za zaštitu i upravljanje nad transformatorskom stanicom.



Slika 2 – Tipičan distribuiran sistem za zaštitu i upravljanje sa staničnom magistralom

Sa stanovišta zaštite u okviru sistema ona je skoncentrisana praktično na nivou polja, dok sa stanovišta upravljanja, može se jasno uočiti da su u okviru transformatorske stanice realizovana praktično tri nivoa upravljanja:

- lokalno – sa mikroprocesorskih jedinica (MPCU/MCU) i sa ćelije,
- lokalno – sa staničnog računara (HMI), i
- daljinski - iz nadređenog centra upravljanja (CU).

**CU**

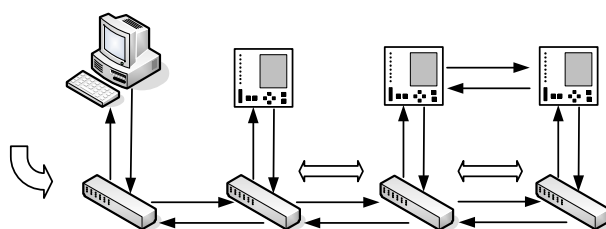
U cilju predaje nadležnosti upravljanja nad transformatorskom stanicom, u okviru sistema je potrebno realizovati odgovarajuća softverska rešenja na staničnom računaru, kojom bi vršila predaja nadležnosti sa nadređenog centra upravljanja na stanični računar, i obrnuto. Sa druge strane, za potrebe predaje nadležnosti između staničnog računara i mikroprocesorske jedinice (MPCU/MCU) u polju, potrebno je da mikroprocesorska jedinica poseduje odgovarajuće hardversko rešenje (taster ili zakretni prekidač) za definisanje nadležnosti. Takođe, ako mikroprocesorska jedinica ne poseduje hardversko rešenje za predaju nadležnosti na nivou ćelije moguće je na poslužnom HMI u ćeliji instalirati odgovarajuću preklopku u cilju predaje nadležnost upravljanja nad poljem.

Stanični računar HMI

**Stanična**

Za potrebe realizacije stanične magistrale (Station Bus) u okviru savremenih rešenja sistema za zaštitu i upravljanje koristi se aktivna mrežna oprema (switch), koja se realizuje kao samostalni uređaj ili kao integrisani uređaj (komunikaciona kartica integrisana u okviru mikroprocesorskih jedinica (MPCU/MCU) sa jednim ili dva kanala), pri čemu se u cilju sprečavanja kolizija u komunikaciji koristi dvokanalna tehnologija (Full Duplex). Predmetna tehnologija omogućava distribuiranu arhitekturu sistema koja se zasniva na protokolu IEC 61850:

- U isto vreme „Client/Server“ komunikaciju za potrebe komandovanja i „peer-to-peer“ komunikaciju za potrebe realizacije blokada.
- Eliminise dosadašnje probleme u kapacitetu i omogućava redundansu.
- Omogućava izvršavanje po prioritetu važnih procesnih poruka.
- Omogućava istu mrežnu tehnologiju na nivou cele transformatorske stanice.
- Omogućava efikasnu vremensku sinhronizaciju između mikroprocesorskih jedinica.
- Omogućava jedinstven pristup nadzoru nad radom realizovanog sistema.

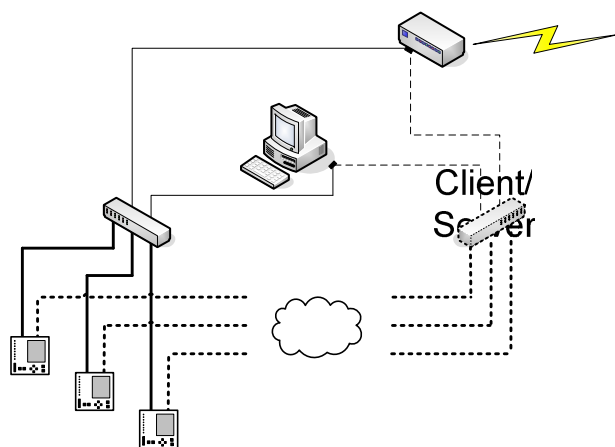


Slika 3 – Prikaz dvokanalne komunikacione tehnologije (Full Duplex)

Kao što se sa Slike 3 može jasno uočiti, na definisanje ciljne arhitekture sistema direktno utiče kakav je komunikacioni module na nivou mikroprocesorske jedinice korišćen. U slučaju da se koristi jednokanalni Ethernet port (100TX ili 100FX) moguća je isključivo realizacija zrakaste strukture sistema za zaštitu i upravljanje, dok u slučaju primene komunikacionog modula sa dvokanalnim dualnim Ethernet portovima moguća je realizacija i petljastih struktura sistema.

### ARHITEKTURA SISTEMA

Najjednostavnija arhitekturu sistema za zaštitu i upravljanje predstavlja zrakasta struktura i u suštini predstavlja sistem koji se realizuje preko centralnog switch-a velikog kapaciteta; samim tim predstavlja sistem bez redundanse. U slučaju da se želi realizacija sekundarnog komunikacionog sistema u paraleli, a u cilju obezbeđivanja potrebne redundanse, moguća je realizacija sistema kao na Slici 4.



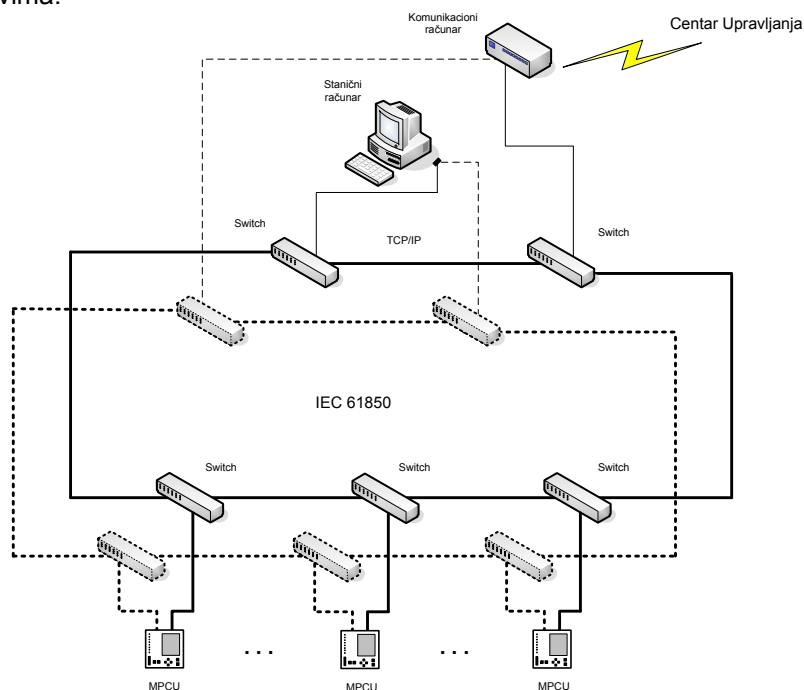
Stanična magistrala  
MPCU/MCU  
Ethernet port

«peer-to-peer»

Switch Switch

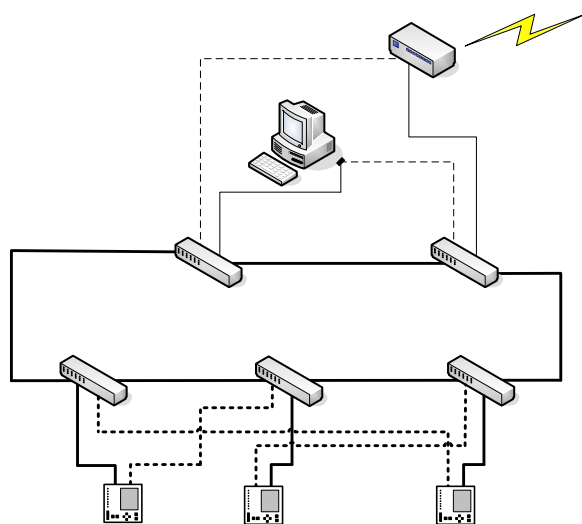
Slika 4 – Zrakasta struktura sistema (paralelna komunikacija prikazana isprekidano)

U cilju povećanja redundanse na nivou stanične komunikacije moguća je realizacija arhitekture preko petljaste strukture, koja bi se realizovala povezivanjem staničnih switch-eva u prsten. U slučaju da se želi potpuna redundansa takvog prstena, moguća je realizacija paralelnog prstena i povezivanje mikroprocesorskih jedinica na njega, kao što je prikazano na Slici 5. U principu da bi se realizovala paralelna struktura neophodno je da svaka mikroprocesorska jedinica poseduje komunikacionu karticu sa dualnim portovima.



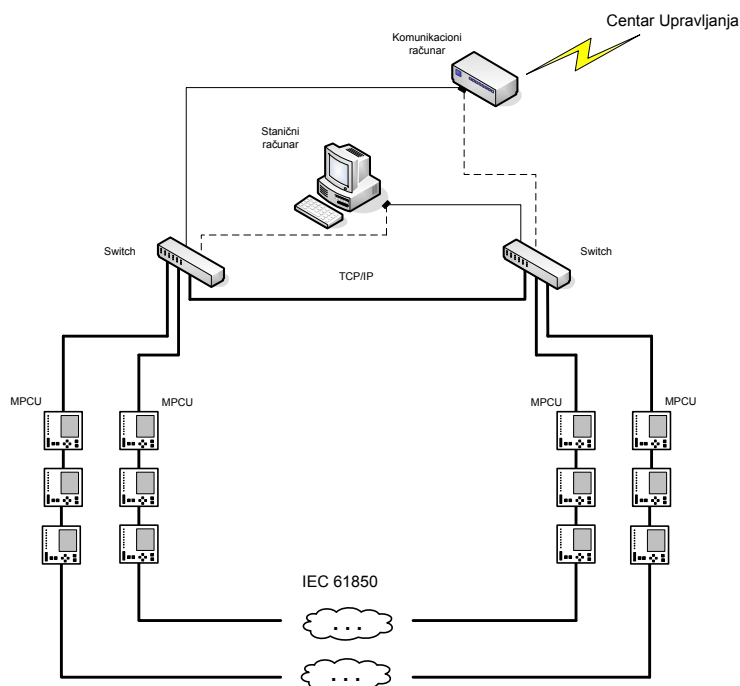
Slika 5 – Petljasta struktura na nivou switch-eva (dupli prsten prikazan isprekidano)

Takođe, moguće je da se realizuje petljasta struktura sistema, pri čemu bi se odustalo od realizacije duplog prstena sa switch-evima, ali bi se tražena redundansa obezbedila direktnim povezivanjem mikroprocesorskih jedinica sa dualnim portovima između switch-eva u prstenu, kao što je prikazana na Slici 6. Praktično bi se na ovaj način dobila potpuno ista funkcionalna struktura, kao prethodna, ali daleko jeftinija.



Slika 6 – Petljasta struktura sistema (dupla veza prikazana isprekidano)

Optimalna petljasta struktura u pogledu tražene funkcionalnosti, redundanse i troškova, dobila bi se međusobnim povezivanjem mikroprocesorskih jedinica u petlje koje bi se formirale po funkcionalnim celinama transformatorske stanice (naponskim nivoima ili sekcijama postrojenja), kao što je prikazano na Slici 7.



Slika 7 – Petljasta struktura sistema za zaštitu i upravljanje

Generalno posmatrano, ako bi se izvršilo upoređenje petljastih i zrakastih struktura sistema za zaštitu i upravljanje, moglo bi se zaključiti da su zrakaste strukture imaju kritične ispadе, naročito u slučaju kvara na centralnom switch-u, ali i da su strukture nešto jeftinije u slučaju manjih transformatorskih stanica budući da zahtevaju komunikacione kartice samo sa jednim Ethernet portom. Sa druge strane, petljaste strukture nemaju alternativu u pogledu zahtevane velike pouzdanosti i boljih komunikacionih performansi.

### OPTIMALNA ARHITEKTURA SISTEMA

Arhitektura sistema za zaštitu i upravljanje u velikoj meri zavisi i od raspoložive konfiguracije aktivne mrežne opreme, odnosno switch-eva, budući da su na tržištu raspoložive predefinisane konfiguracije aktivne mrežne opreme u pogledu broja i vrste mrežnih portova. Realizacija bilo koje ciljane arhitekture sistema za zaštitu i upravljanje moguća je korišćenjem sledeće najčešće konfiguracije aktivne mrežne opreme, koja se može naći kod nekoliko vodećih svetskih proizvođača:

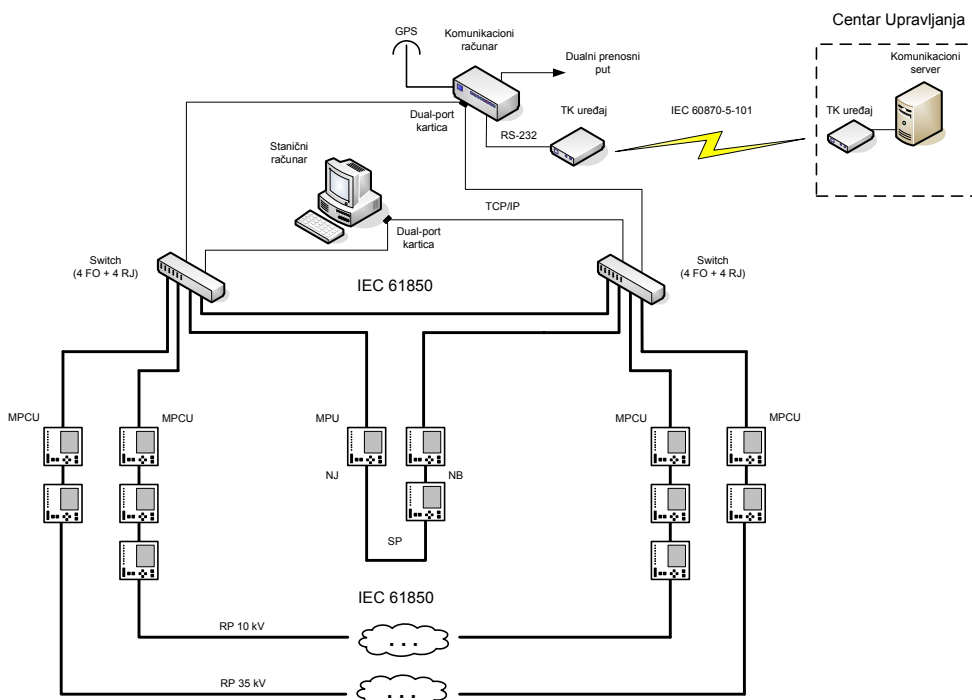
- Switch (ukupno 8 portova) – 2 FO (100FX) i 6 RJ (100TX).
- Switch (ukupno 8 portova) – 4 FO (100FX) i 4 RJ (100TX).
- Switch (ukupno 8 portova) – 8 FO (100FX).
- Switch (ukupno 16 portova) – 16 FO (100FX).

U slučaju da se ciljno želi realizovati petljasta struktura sistema za zaštitu i upravljanje nad transformatorskom stanicom, izbor jedne od dve ciljane optimalne arhitekture sistema koje su predložene u ovom radu su uslovljene brojem ćelija u okviru transformatorske stanice, odnosno brojem mikroprocesorskih jedinica instaliranim u njima.

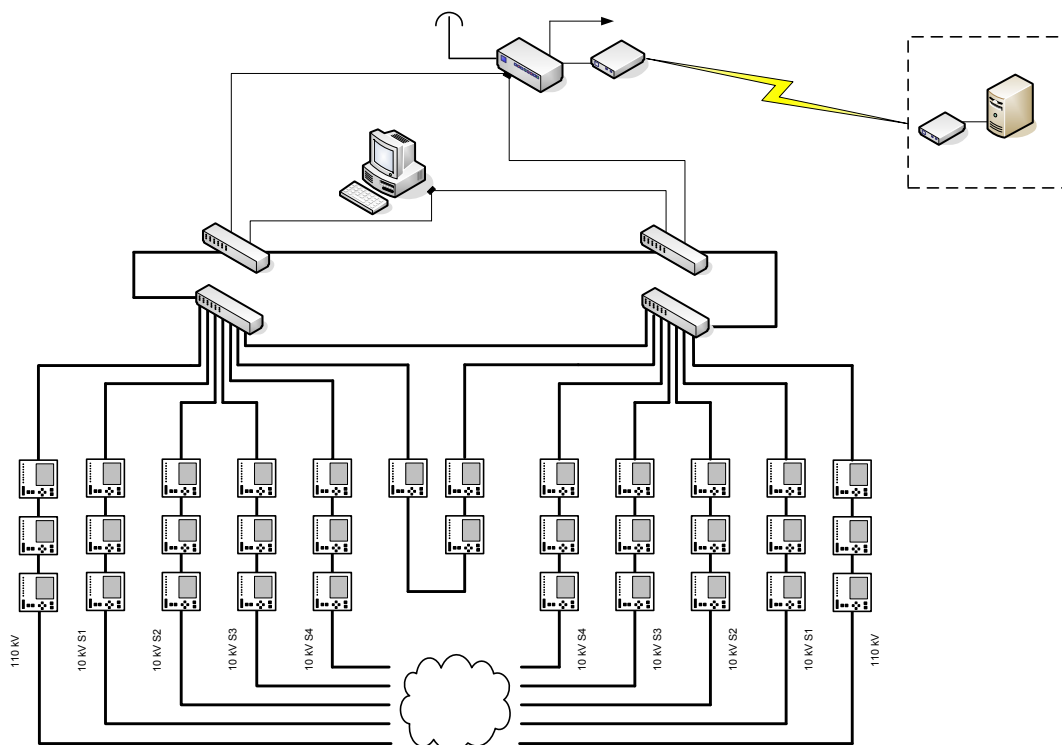
TS	Broj transformatora	Broj VN ćelija	Broj NN ćelija	NB	NJ	Ukupno ćelija
35/10 kV	1	3	8	2	1	14
35/10 kV	2	5	17	2	1	25
35/10 kV	4	16	36	2	1	55
110/10 kV	2	5	58	2	1	66

Generalno, arhitektura prikazana na Slici 8, primenjiva je praktično za sve tipove transformatorskih stanica 35/10 kV, pri čemu za slučaj transformatorske 35/10 kV sa četiri transformatora predstavlja granični slučaj u pogledu optimalnog broja mikroprocesorskih jedinica po jednoj optičkoj petlji. Zbog

toga arhitektura prikazana na Slici 8 je optimalna za transformatorske stanice 35/10 kV sa najviše dva transformatora, dok je za transformatorske stanice 35/10 kV sa četiri transformatora ili transformatorske stanice 110/10 kV optimalnija primena arhitekture sistema prikazane na Slici 9.



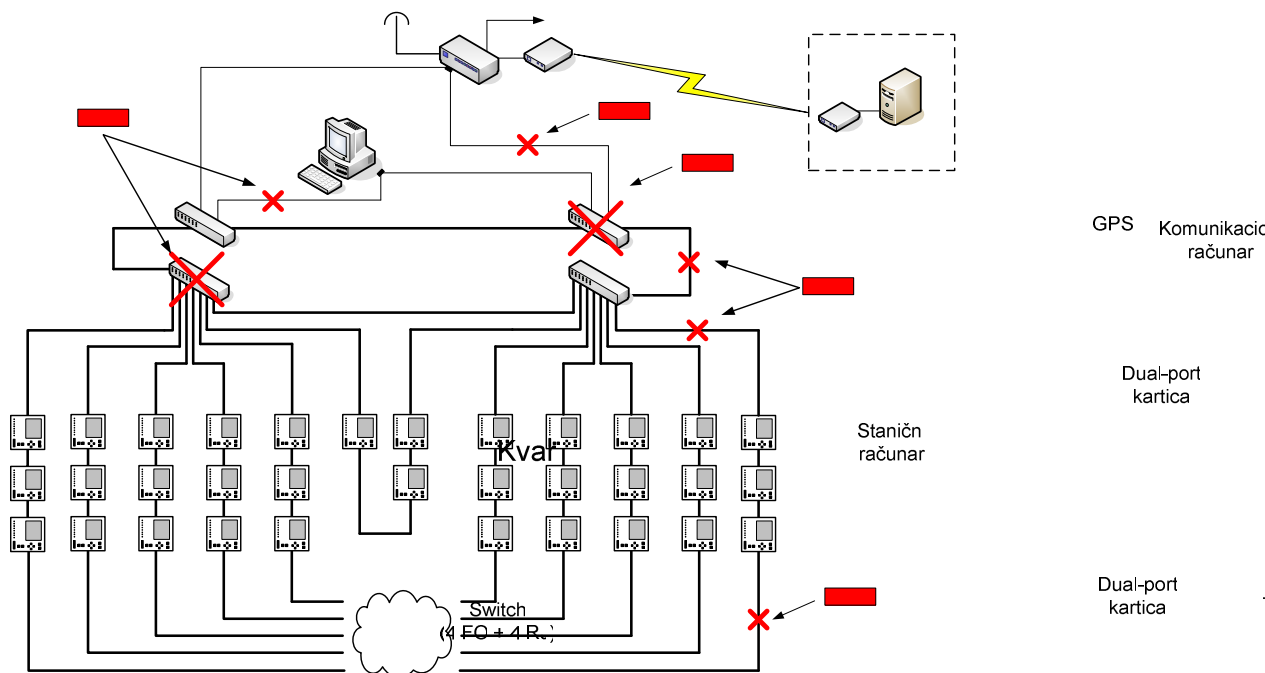
Slika 8 – Optimalna arhitektura sistema sa transformatorske stanice 35/10 kV (sa dva trafoa)



Slika 9 – Optimalna arhitektura sistema sa transformatorske stanice 35/10 kV (sa četiri trafoa)

Da bi ilustrovali koliko je predložena optimalna arhitektura bazirana na petljastoj strukturi redundantna u pogledu komunikacije i pouzdana u pogledu jednostrukog kvara na nekom od sastavnih elemenata stanične magistrale, na Slici 10 prikazani su praktično svi jednostruki kvarovi za koje je sistem u

potpunosti funkcionalno raspoloživ.



Slika 10 – Prikaz jednostrukih kvarova koji ne narušavaju funkcionalnost sistema

Ako bi se uradila tehno-ekonomska analiza pojedinih predloženih rešenja<sup>8</sup> optimalne arhitekture integrisanih sistema zaštite i upravljanja, za različite tipove transformatorskih stanica, dobili bi se relativni troškovi arhitekture, iz koje se jasno uočava da petljaste strukture već za transformatorske stanice sa dva transformatora su već ekonomski isplative, a da pri tome uopšte ne uzimamo u obzir tehnološke prednosti u pogledu pouzdanosti koje te strukture poseduju.

TS	Struktura	Broj trafoa	Relativni troškovi arhitekture
35/10 kV	Zrakasta	1	70
35/10 kV	Petljasta	1	100
35/10 kV	Zrakasta	2	120
35/10 kV	Petljasta	2	100
110/10 kV	Zrakasta	2	160
110/10 kV	Petljasta	2	100

## ZAKLJUČAK

U radu su predložene optimalne arhitekture sistema za zaštitu i upravljanje koje se baziraju na petljastim strukturama, koje će najverovatnije u narednom periodu dovesti do potpune unifikacije rešenja sistema za zaštitu i upravljanje u okviru elektro-distributivnih preduzeća. Pokazuje se da implementacijom protokola IEC 61850 i realizacijom stanične arhitekture koja podržava predmetni standard, investicija u implementiranu arhitekturu će se osigurati na duži vremenski period.

## LITERATURA

- 1. Andersson L, Brand K-P, Wimmer W, 2001, „The communication standard IEC 61850 supports flexible and optimised substation automation architectures“, 2nd International conference on Protection and Control in New Delhi
- 2. Andersson L, Brand K-P, 2005, „Reliability investigations for SA communication architectures on IEC 61850“, IEEE St. Petersburg PowerTech
- 3. De Mesmaeker I, Rietmann P, Brand K-P, Reinhardt P, 2005, „Practical considerations in applying IEC 61850 for protection and Substation Automation systems“, GCC Power