

PRIMENA INTEGRISANOG SISTEMA ZAŠTITE I UPRAVLJANJA U MOBILNOJ TRANSFORMATORSKOJ STANICI 35/10 KV

D. Vukotić*, PD “Elektrodistribucija Beograd” d.o.o. , Srbija

V. Grujić, PD “Elektrodistribucija Beograd” d.o.o. , Srbija

Z. Ristanović, Siemens d.o.o. Beograd, Srbija

UVOD

U radu je dat prikaz primene integrisanog sistema zaštite i upravljanja u kontejnerskoj transformatorskoj stanici 35/10 kV, koja je realizovana kao novo rešenje u okviru PD “Elektrodistribucija Beograd”. U cilju efikasnijeg izvođenja radova tokom rekonstrukcije elektroenergetskih objekata x/10 kV na svom konzumnom području, ali i u eventualnom slučaju težih havarija na elektroenergetskim postrojenjima koja su kritična u slučaju obezbeđivanja neophodnog rezerviranja distributivne elektroenergetske mreže, pristupilo se realizaciji jednog ovakvog jedinstvenog rešenja, koje nesumnjivo predstavlja jedan od tehnoloških napredaka u našoj elektrodistributivnoj praksi.

Realizovano rešenje integrisanog sistema zaštite i upravljanja predstavlja jedno od najsavremenijih rešenja koja se trenutno primenjuju u svetu, budući da se zasniva na najnovijem svetskom standardu IEC 61850, pri čemu je primenjena arhitektura sistema koja obezbeđuje potpunu redundansu komunikacije na procesnom nivou.

Takođe, u radu je prikazana i integracija sa Sistemom Daljinskog Upravljanja EDB (SDU EDB), putem koga se obezbeđuje efikasno upravljanje nad predmetnim objektom, pri čemu se komunikacija preko primarnog puta obavlja putem radio-sistema, dok je za obezbeđivanje komunikacije preko sekundarnog puta ostavljena mogućnost da se koristi bilo koji drugi raspoloživi komunikacioni resurs.

MOBILNA TRANSFORMATORSKA STANICA

Mobilna kontejnerska transformatorska stanica (u daljem tekstu MTS) je inače standardno postrojenje koje poseduju elektrodistributivna preduzeća u razvijenim zemljama, međutim prezentovana MTS je prva tog tipa u našoj zemlji i praktično jedina na Balkanu. Jedan od osnovnih razloga što se pristupilo realizaciji ovakvog postrojenja je što se pojavila potreba da prilikom opsežnih rekonstrukcija na srednjenaponskim transformatorskim stanicama na konzumnom području PD EDB, obezbedi pouzdanost napajanja kupaca električnom energijom koji se napajaju sa predmetnih EEO.

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

Kako je većina od skoro 76 transformatorskih stanica 35/10 kV na konzumnom području PD EDB na kraju svog eksploatacionog veka, jedan od osnovnih zahteva koji se postavlja pred rekonstrukciju predmetnih transformatorskih stanica je da se ona izvrši što efikasnije, odnosno u što kraćem vremenskom periodu i po mogućstvu tokom letnjih meseci kada je niže opterećenje konzuma. Budući da se u većini slučajeva radi o transformatorskim stanicama sa više transformatora snage, predmetne transformatorske stanice nije moguće rekonstruisati u jednoj, nego u više etapa, što u nekim slučajevima zbog obima planiranih radova nije moguće uraditi tokom letnjih meseci. Realizacijom MTS je omogućeno da se radovi na rekonstrukciji nesmetano sprovedu tokom cele godine, bez obzira na nivo opterećenja konzuma. Takođe, i sezona remontnih radova prouzrokuje potrebu da se obezbedi nesmetano rezerviranje susednih transformatorskih stanica koje su planirane remontnim radovima, te predmetno rešenje u potpunosti zadovoljava postavljene zahteve. Sa druge strane, eventualne pojave većih havarija na transformatorskim stanicama koje nije moguće sanirati u kratkom vremenskom periodu (npr. u slučaju havarije na TS 35/10 kV „Borča 2“) i zbog kojih bi bilo ugroženo pouzdano napajanje kupaca električnom energijom, realizovano rešenje MTS bi u veoma kratkom roku omogućilo da se ponovo uspostavi pouzdano napajanje potrošača na pogođenom konzumnom području. Na Slici 1 je prikazan spoljašnji izgled samog postrojenja spremnog za transport.



Slika 1 – Spoljašnji izgled kontejnerske transformatorske stanice

Tokom prethodne godine, u PD EDB je usvojen interni standard pod nazivom „Zaštita i upravljanje u transformatorskim stanicama 35/10 kV“ koji se odnosi na TS 35/10 kV sa jednim transformatorom, prema kome su usaglašene sve tehničke karakteristike primarne i sekundarne opreme postrojenja, mikroprocesorskih zaštitno-upravljačkih jedinica (MPCU), opreme za nadzor i upravljanja i sopstvene potrošnje. Postrojenje je projektovano za transformaciju snage do 12,5 MVA (prenosnog odnosa $35 \pm 2.5\% / 10.5$ kV; sprege Dy5), pri čemu sam transformator nije sastavni deo MTS, pa je u slučaju potrebe moguće instalirati i transformator manje snage. Takođe, sastavni deo MTS nije ni metalni otpornik, kao ni ćelija sa rastavljačem za uzemljenje zvezdišta transformatora. Dimenzionisanje samog postrojenja u pogledu broja ćelija je u potpunosti u skladu sa Internim standardima PD EDB [1], te predmetno postrojenje se sastoji:

RP 35 kV se sastoji od ukupno 3 ćelije:

- 1 transformatorska ćelija,
- 1 dovodna ćelija, i
- 1 odvodna ćelija.

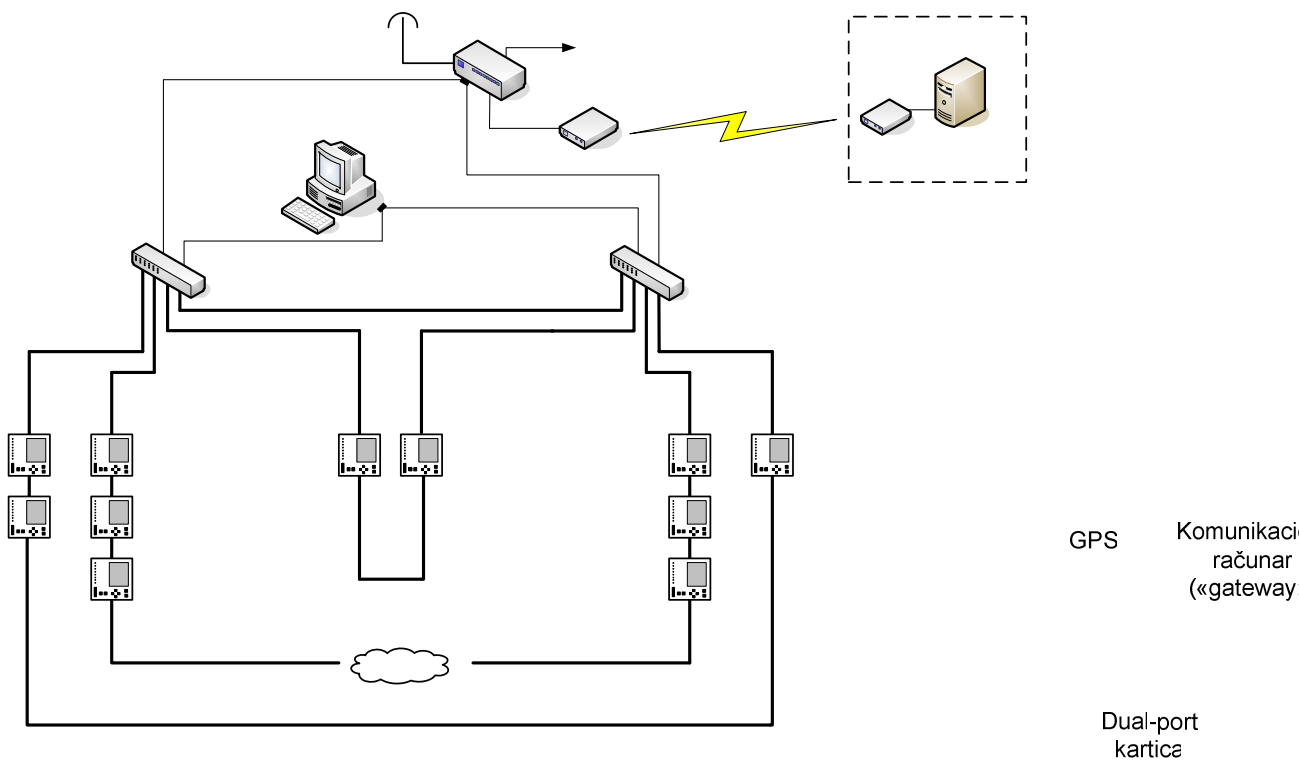
RP 10 kV se sastoji od ukupno 8 ćelija:

- 1 transformatorska ćelija,
- 6 izvodnih ćelija, i
- 1 merna ćelija / kućnog transformatora.

Sredjenaponske 35 i 10 kV ćelije su sa jednim sistemom sabirnica, metalom oklopljene i izolovane SF6 gasom, pri čemu su u potpunosti fabrički opremljene i testirane. Primenom ovakvog tipa ćelija je postignuto optimalno smanjenje ukupnih dimenzija i mase same MTS, te omogućeno ispunjavanje i dodatnih zahteva u pogledu jednostavnog prenošenja i postavljanja na ciljnu lokaciju, kao i postizanja potrebne stabilnosti i jednostavan pristup kablovskom prostoru za 35 i 10 kV priključke.

ARHITEKTURA SISTEMA

U predmetnom postrojenju je primenjen integrisan sistem mikroprocesorske zaštite i upravljanja, koji u potpunosti obezbeđuje funkcije zaštite, lokalne automatike, lokalnog upravljanja i nadzora, daljinskog upravljanja i nadzora, električnih blokada i prikaza merenja električnih veličina. Ove funkcije su realizovane putem mikroprocesorske opreme za zaštitu i upravljanje u razvodnim postrojenjima 35 i 10 kV, opreme za upravljanje sopstvenom potrošnjom, staničnog i komunikacionog računara, upravljačkih jedinica za opštu signalizaciju, kao i ostale opreme neophodne za funkcionisanje sistema. Na slici 1 je dat prikaz arhitekture realizovanog integrisanog sistema zaštite i upravljanja u predmetnom postrojenju.



Slika 2 – Arhitektura integrisanog sistema za zaštitu i upravljanje računara (HMI+arhiva)

MIKROPROCESORSKA ZAŠTITA

U predmetnu MTS ugrađeni su mikroprocesorski uređaji za zaštitu i upravljanje najnovije generacije, i koji po svojoj funkcionalnošću zadovoljava sve karakteristike distributivnih mreža i elemenata. Mikroprocesorski zaštitno-upravljački uređaj u potpunosti zadovoljavaju postavljene osnovne zahteve.

- Integrisani LCD displej. Switch (4 FO + 4 RJ)
- Upravljačke funkcije. IEC 61850
- Funkcije zaštite.
- Integrisani komunikacioni optički i serijski interfejs.
- Ulazno/izlaznu indikaciju statusa preko LED dioda.
- Pomoćni jednosmerni napon 110 V JSS.
- Ulazno/izlazni kapacitet za signalizaciju, komande i alarme.
- Strujne i naponske analogne ulaze.
- Prikupljanje alarma i događaja sa mogućnošću pamćenja najmanje 3 događaja, sa rezolucijom od 1ms. MPCU MPCU NB
- Integrisano procesiranje za električne merne veličine (U, I, P, Q, kWh, kVar, cos φ, F, itd.).
- Prikupljanje merenja za registraciju prelaznih procesa ne manje od 1 ms. MCU

Merni ulazi (MI) transformišu struju i napon koji dolazi sa strujnih i naponskih mernih transformatora i prilagođavaju ga internom nivou obrade uređaja. Mikroprocesorski uređaj ima 4 ulazna pretvarača struje i 3 ulazna pretvarača napona, pri čemu su strujni ulazi predviđeni za unos faznih struja i registrovanje struje zemljospoja I_E ili osetljive struje uzemljenja I_{EE} , dok su naponski ulazi predviđeni za 2 međufazna napona i napon otvorenog trougla.

Binarni ulazi (BI) i binarni izlazi (BO) se do/od mikroprocesorskog uređaja vode preko modula za ulaz/izlaz, i preko koga mikroprocesorski uređaj dobija informacije iz postrojenja (npr. stanja rasklopne opreme, ručno uključenje rasklopne opreme, daljinsko kvitiranje, stanje preklopke L/D, itd) ili od drugih uređaja (npr. blokadni uslovi, itd.). Preko binarnih izlaza izvršava se komandovanje nad prekidačima i rastavljačima sa motornim pogonom.

U mikroprocesoru uređaja se obrađuju sledeće zaštitne i upravljačke funkcije:

- Filtriranje i priprema mernih veličina.
- Stalno nadgledanje mernih veličina.
- Nadgledanje uslova iniciranje pojedinih zaštitnih funkcija.
- Ispitivanje graničnih vrednosti i vremenskog toka.
- Upravljanje signalima za logičke funkcije.
- Odluka o komandama za isključenje i uključenje.
- Memorisanje signalizacija, važnih događaja, promena stanja i podataka o vrednostima kod kvarova radi analiza.
- Upravljanje radnim sistemom i njegovim funkcijama, kao na primer memorisanje podataka, časovnik realnog vremena, komunikacija itd.

Integrirani upravljački tasteri i tasteri sa brojevima u kombinaciji sa LCD displejom omogućavaju komunikaciju sa mikroprocesorskim zaštitno-upravljačkim uređajem na licu mesta putem korisničkog interfejsa (HMI). Putem realizovanog korisničkog interfejsa se mogu pozvati sve informacije vezane za funkcionisanje samog uređaja, kao što su parametri podešavanja, dijagnostika rada i indikacija kvara, merne vrednosti itd., ali i izvršiti izmenu podešenih parametara uređaja. Takođe, putem interfejsa je moguće izvršiti komandovanje odgovarajućim rasklopim elementima polja/ćelije sa prednje strane uređaja putem odgovarajućih tastera. Preko zakretnog tastera sa ključem moguće je izvršiti izbor nadležnosti upravljanja („lokalno“/„daljinski“) nad predmetnim poljem/ćelijom.

Pored korisničkog interfejsa, komunikaciju sa mikroprocesorskim uređajem je moguće ostvariti putem sistemskog interfejsa, servisnog i dodatnog interfejsa. Preko serijskog RS-232 porta na prednjem delu mikroprocesorskog uređaja obezbeđuje se servisni interfejs, preko koga se uz pomoć specijalizovanog softverskog alata vrši konfiguracija i parametrizacija uređaja. Pomoću tog alata moguće je izvršiti podešavanje i izmenu parametara podešavanja uređaja, konfigurisanje logičkih funkcija, dijagnostiku rada uređaja i signalizaciju kvara, indikaciju svih statusnih veličina, prikaz trenutnih vrednosti mernih električnih veličina, očitavanje i prikaz registrovanja kvara, normalizaciju indikacija i mernih veličina, izdavanje komandi, itd. Servisni interfejs se alternativno koristi za priključak RTD boksa radi unosa eksternih temperatura (najviše 6 temperatura; npr. za zaštitu od preopterećenja, temperature ambijenta, i sl.). Dodatni interfejs služi za vremensku sinhronizaciju internog časovnika pomoću eksternih izvora sinhronizacije.

Preko sistemskog interfejsa, odnosno preko dvo-kanalnog optičkog modula vrši se povezivanje mikroprocesorskih uređaja u odgovarajuće fizičke optičke petlje na nivou procesnog nivoa, kao što je prikazano na Slici 1. Fizičke optičke petlje su tako realizovane da izvrše grupisanje komunikacija po naponskim nivoima unutar postrojenja (RP 35 kV – 3 MPCU; RP 10 kV – 8 MPCU; SP – 2 MCU). Komunikacija na procesnom nivou se obavlja preko protokola IEC 61850, pri čemu je ostvarena komunikacija između samih mikroprocesorskih zaštitno-upravljačkih uređaja, ali i komunikacija sa staničnim i komunikacionim računarom. Optičke petlje su realizovane putem MM fiber optičkim kablovima (optičke talasne dužine 1300nm), pri čemu su krajevi kablova terminirani sa ST optičkim konektorima. Takođe, važno je napomenuti da optički moduli unutar mikroprocesorskih zaštitno-upravljačkih uređaja u potpunosti podržavaju standard IEEE 802.3x, koji obezbeđuje realizaciju „full-duplex“ optičkog porta, a u cilju eliminacije eventualne kolizije pri komunikaciji unutar optičke LAN mreže.

ZAŠTITA U RP 35 kV

U Tabeli 1 prikazane su zaštitne funkcije realizovane u okviru odgovarajućih mikroprocesorskih uređaja unutar RP 35 kV.

35 kV transformatorska ćelija	35 kV odvodna/dovodna ćelija
<ul style="list-style-type: none">• Trofazna diferencijalna zaštita za unutrašnje kvarove.• Ograničena zemljospojna zaštita.• Trofazna prekostrujna zaštita sa podesivim vremenskim zatezanjem.• Kratkospojna zaštita sa podesivim vremenskim zatezanjem.• Zaštita od preopterećenja.• Zaštita od nesimetričnog opterećenja.• Zaštita od otkaza prekidača.• Zemljospojna zaštita sa podesivim vremenskim zatezanjem.• Registrator događaja.• Registrator poremećaja.• Termička slika preko RTD boksa.• Zaštita otpornika u zvezdištu transformatora.• Jednofazna vremenski zategnuta zemljospojna zaštita.• Zaštita od otkaza prekidača.• KIK (Kontrola Isključnih Krugova).• Zaštita kućišta transformatora (jednofazna prekostrujna zaštita bez vremenskog zatezanja).	<ul style="list-style-type: none">• Trofazna prekostrujna zaštita sa vremenskim zatezanjem.• Trofazna kratkospojna zaštita sa vremenskim zatezanjem.• Usmerena zemljospojna zaštita sa vremenskim zatezanjem.• APU (Automatsko Ponovno Uključenje).• KIK (Kontrola Isključnih Krugova).• Termička zaštita kabla.• Zaštita od otkaza prekidača.

Tabela 1 – Prikaz zaštitnih funkcija realizovanih u okviru RP 35 kV

Pored realizovanih zaštitnih funkcija u okviru mikroprocesorskih zaštitno-upravljačkih jedinica unutar transformatorske ćelije, u isti uređaj je uvedena indikacija delovanja osnovnih zaštita transformatora: Buholc (opomena; isključenje), kontakti termometar (opomena; isključenje), i termička slika.

ZAŠTITA U RP 10 kV

U Tabeli 2 prikazane su zaštitne funkcije realizovane u okviru odgovarajućih mikroprocesorskih uređaja unutar RP 10 kV.

10 kV transformatorska ćelija	10 kV odvodna ćelija
<ul style="list-style-type: none">• Trofazna prekostrujna zaštita transformatora.• Trofazna kratkospojna zaštita transformatora.• Usmerena zemljospojna zaštita transformatora.	<ul style="list-style-type: none">• Trofazna prekostrujna zaštita sa vremenskim zatezanjem.• Trofazna kratkospojna zaštita sa vremenskim zatezanjem.• Usmerena zemljospojna zaštita sa vremenskim zatezanjem.

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Kratkospojna zaštita sabirnica. • Zemljospojna zaštita sabirnica • Zaštita od otkaza prekidača. • KIK (Kontrola Isključnih Krugova). • Registrator događaja. | <ul style="list-style-type: none"> • APU (Automatsko Ponovno Uključenje). • Podfrekventna zaštita. • KIK (Kontrola Isključnih Krugova). • Termička zaštita kabla. • Zaštita od otkaza prekidača. • Zaštita otvorenog trougla.* |
|--|--|

Tabela 2 – Prikaz zaštitnih funkcija realizovanih u okviru RP 10 kV

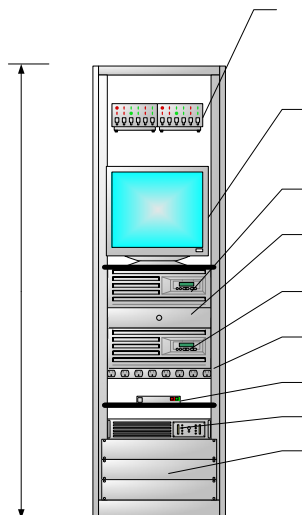
Važno je napomenuti da ja za zaštitu sabirnica i otkaza prekidača primenjen je princip „inter-locking“-a, gde se uslovne veze i blokade realizovane putem GOOSE mehanizma, pri čemu se komunikacija vrši putem realizovane optičkih LAN mreže na procesnom nivou.

U okviru tabli jednosmernog i naizmeničnog razvoda sopstvene potrošnje instalirani su mikroprocesorski upravljački uređaji, preko kojih je obezbeđen prenos merenja struje i napona, stanja niskonaponske rasklopne opreme i signalizaciju ispada automata u jednosmernom i naizmeničnom razvodu.

SISTEM ZA NADZOR I UPRAVLJANJE

Praktično celokupan sistem za nadzor i upravljanja nad predmetnim postrojenjem, osim mikroprocesorskih zaštitno-upravljačkih uređaja, je instaliran u okviru posebnog ormara upravljanja (+UT), koji je smešten u posebnom odeljku kontejnera zajedno sa tablama sopstvene potrošnje (+NJ i +NB), a koji se sastoji od sledeće opreme (prikazan na Slici 3):

- Stanični i komunikacioni računar.
- Operatorsko radno mesto opremljeno sa ugrađenim TFT monitorom i izvlačivom operatorskom konzolom (tastatura sa mišem).
- Industrijski „switch“-evi – dva komada (ukupno po 8 portova: 4 porta – FO; 4 porta – RJ).
- Oprema za sinhronizaciju tačnog vremena (GPS prijemnik).
- Telekomunikaciona oprema (radio modem ili drugi TK uređaj),
- Sistem besprekidnog napajanja (UPS) ormara upravljanja (+UT).



Slika 3 – Izgled ormara upravljanja (UT)

Kao što je napomenuto, aktivna mreža oprema („switch“-evi) poseduju odgovarajuće 100 BaseFx (MM; 1300nm; 50(62,5)/125µm) portove sa povezivanje preko ST konektora i 10/100 BaseTX CAT-5 portove za povezivanje preko RJ45 konektora. Aktivna mrežna oprema poseduje jedan servisni serijski RS-232

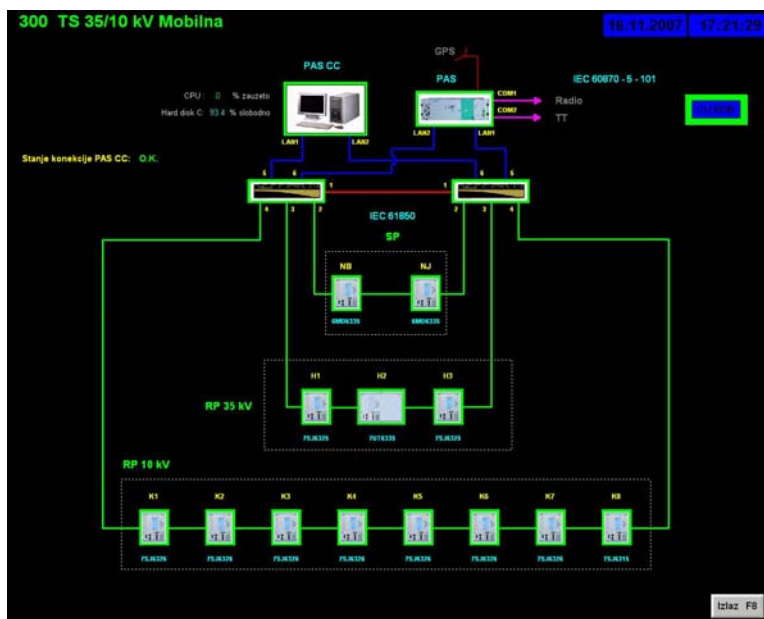
port, pri čemu ima mogućnost nadzora i upravljanja („managed switch“). Samo upravljanje mrežnom opremom je realizovano putem „web“ orijentisanog grafičkog HTML interfejsa, pri čemu postoji mogućnost daljinskog nadzora (RMON). Aktivna mrežna oprema poseduje operativni sistem koji omogućuje lako konfigurisanje portova, prijavu statusa, statistika, kao i odgovarajući visok nivo sigurnosti. Ambijentalna radna temperatura aktivne mrežne opreme se kreće u opsegu od -40 do +85°C, pri čemu nije potrebno da oprema poseduje dodatno forsirano hlađenje.

Upravljačke funkcije su distribuirane između staničnog računara i mikroprocesorskih zaštitno-upravljačkih uređaja na procesnom nivou, prema definisanim nivoima upravljanja:

- lokalno – sa mikroprocesorskih zaštitno-upravljačkih uređaja (MPCU) i sa prekidača,
- lokalno – sa staničnog računara (HMI), i
- daljinski - iz Centra Upravljanja EDB (CU EDB).

Izbor nivoa upravljanja je rešen preko preklopke „LOKALNO/DALJINSKI“ na poslužnom limu samih 35 i 10 kV čelija, kao i softverski okviru sistema za procesnu vizualizaciju (HMI) na staničnom računaru. Indikacija položaja preklopke na čeliji/polju prikazuje se u okviru sistema za procesnu vizualizaciju (HMI) na staničnom računaru i u okviru SDU EDB. Pored funkcija lokalnog komandovanja, obezbeđene su i funkciju lokalnog nadzora (signalizacija i merenje). Funkcija lokalnog nadzora obuhvata: prikupljanje i prenos merenja, indikacije signala od mikroprocesorskih zaštitno-upravljačkih uređaja (MPCU) do staničnog računara, prikaze procesnih prikaza u okviru sistema za procesnu vizualizaciju (HMI), registraciju događaja i registraciju poremećaja kod kvarova.

Daljinski nadzor i upravljanje nad predmetnim postrojenjem od strane nadređenog CU EDB vrši se putem protokola IEC 60870-5-101 u nebalansnom režimu rada preko komunikacionog računara i to brzinom ne manjom od 9.600 baud. U cilju ostvarivanja komunikacije sa nadređenim centrom upravljanja, predviđeno je povezivanje oba RS-232 serijska porta za povezivanje sa TK opremom da bi se obezbedila dva nezavisna prenosna puta.

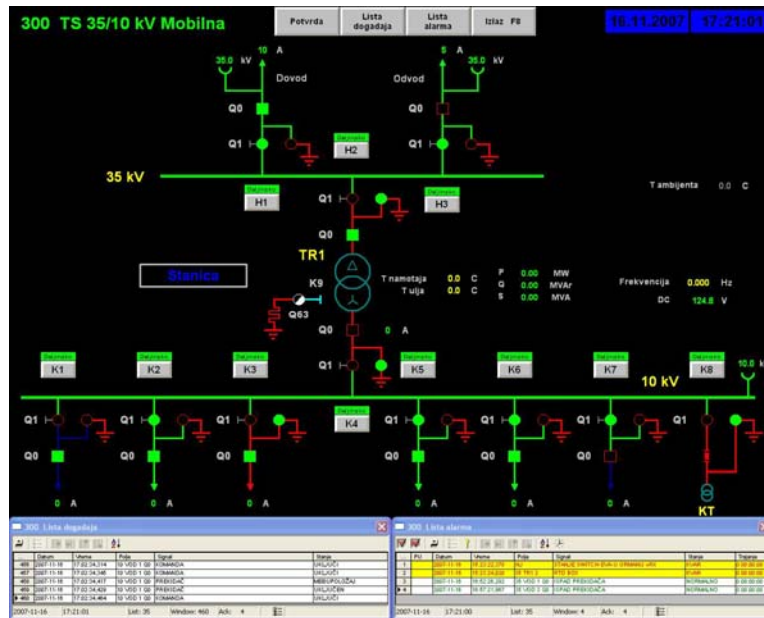


Slika 6 – Prikaz HMI slike sistema za nadzor i upravljanje

Na staničnom računaru je instaliran SCADA sistemom za upravljanje i nadzor u realnom vremenu pod OS MS Windows XP, pri čemu omogućava i sledeću aplikativnu podršku:

- „User“ listu korisnika.
- Dinamičku vizualizaciju sistema.
- Bazu podataka za procesne podatke i arhive.
- Aplikativnu podršku za editovanje jednopolnih šeme postrojenja.
- Podrška za konfiguraciju i parametrizaciju sistema.

- Prikaz listi događaja i alarma.
- Grafički prikaz merenja (trendove).
- Softversku blokadu daljinskog upravljanja sa HMI.
- Ispis željenih podataka iz arhive na HMI.
- Eksport podataka o prelaznim pojavama u COMTRAD formatu.
- Eksport podataka o merenjima u tekstualnom formatu.



Picture 7 – Prikaz HMI slike razvodnog postrojenja

U okviru procesne vizualizacije (HMI) sistema za nadzor i upravljanje nad predmetnim postrojenjem realizovani su sledeći sledeće procesni prikazi:

- Početni prikaz sa menijem tastera za izbor ostalih procesnih prikaza.
- Prikaz sa dijalogom za logovanje na sistem.
- Prikaz sa dijalogom za izbor nadležnosti upravljanja.
- Prikaz sistema.
- Prikaz razvodnog postrojenja.
- Prikaz sopstvene potrošnje.
- Prikaz liste događaja.
- Prikaz liste alarma (prisutne i prolazne).
- Pojedinačni prikazi svih 35 kV i 10 kV ćelija (polja) u postrojenju.

ZAKLJUČAK

Prikazano rešenje predstavlja jedno od najsavremenijih rešenja u pogledu zaštite i upravljanja, koje se bazira na najnovijem svetskom standardu IEC 61850, a samim tim što se radi o sasvim novom postrojenju za naše prilike, može se reći da realizovano postrojenje predstavlja poslednju reč tehnike. Praksa će pokazati da ono sigurno neće ostati usamljeno rešenje u našoj elektrodistributivnoj praksi i da ćemo u najskorijoj budućnosti imati više ovakvih postrojenja.

LITERATURA

1. Interni standardi PD EDB
2. Fabrička dokumentacija opreme - Siemens