

**9. savjetovanje HRO CIGRÉ**  
**Cavtat, 8. - 12. studenoga 2009.**

---

Marin Furčić  
KONČAR - Institut za elektrotehniku  
[marin.furcic@koncar-institut.hr](mailto:marin.furcic@koncar-institut.hr)

Miro Lončar  
KONČAR - Institut za elektrotehniku  
[miro.loncar@koncar-institut.hr](mailto:miro.loncar@koncar-institut.hr)

Ivan Maras  
KONČAR - Institut za elektrotehniku  
[ivan.maras@koncar-institut.hr](mailto:ivan.maras@koncar-institut.hr)

Krešimir Meštrović  
KONČAR - Institut za elektrotehniku  
[kresimir.mestrovic@koncar-institut.hr](mailto:kresimir.mestrovic@koncar-institut.hr)

Ana Mik  
KONČAR - Institut za elektrotehniku  
[anamik@koncar-institut.hr](mailto:anamik@koncar-institut.hr)

Miroslav Poljak  
KONČAR - Institut za elektrotehniku  
[miroslav.poljak@koncar-institut.hr](mailto:miroslav.poljak@koncar-institut.hr)

Mladen Vidović  
KONČAR - Institut za elektrotehniku  
[mladen.vidovic@koncar-institut.hr](mailto:mladen.vidovic@koncar-institut.hr)

Zdravko Šojat  
HEP - Operator prijenosnog sustava  
[zdravko.sojat@hep.hr](mailto:zdravko.sojat@hep.hr)

## **SUSTAV MONITORINGA VISOKONAPONSKOG RASKLOPNOG POSTROJENJA - RAZVOJ, MONTAŽA I PROBNI RAD**

### **SAŽETAK**

Prikazana je dinamika razvoja i izrade prototipa sustava monitoringa visokonaponske opreme u rasklopnom postrojenju - BMS (Bay Monitoring System). Prvi korak bio je izrada modela sustava koji se sastojao od sklopovske opreme za monitoring (prednji rub, kontroler) koja se koristi i kod potpuno funkcionalnog sustava, te modela polja rasklopnog postrojenja koji je davao sve tipove i veličine (ali manji broj) signala koji se očekuju i u pravom rasklopnom postrojenju. Nakon završetka izrade softvera prototip sustava je ugrađen u transformatorsko polje 400 kV u TS Melina na kojem je prikazan postupak ugradnje, probni rad te problemi na koje se nailazilo.

### **Ključne riječi:**

rasklopno postrojenje, monitoring, visokonaponski prekidač, rastavljač, zemljospojnik, mjerni transformator

## **HIGH VOLTAGE SWITCHGEAR BAY MONITORING SYSTEM - DEVELOPMENT, MOUNTING, TRIAL OPERATION**

### **SUMMARY**

Development progress and prototype building of high voltage switchgear monitoring system BMS (Bay Monitoring System) is shown in this article. The first step of development process was building monitoring system model consisted of data acquisition hardware, which is also part of fully functional monitoring system, and bay model, which was used as source for signals which are meant to be measured in bay. After software development completed, monitoring system prototype was mounted in 400kV bay of TS Melina. This article describes system mounting process, test work and problems that came up.

**Key words:**

switchgear, monitoring, high-voltage circuit-breaker, disconnecter, earthing switch, instrument transformer

**1. UVOD**

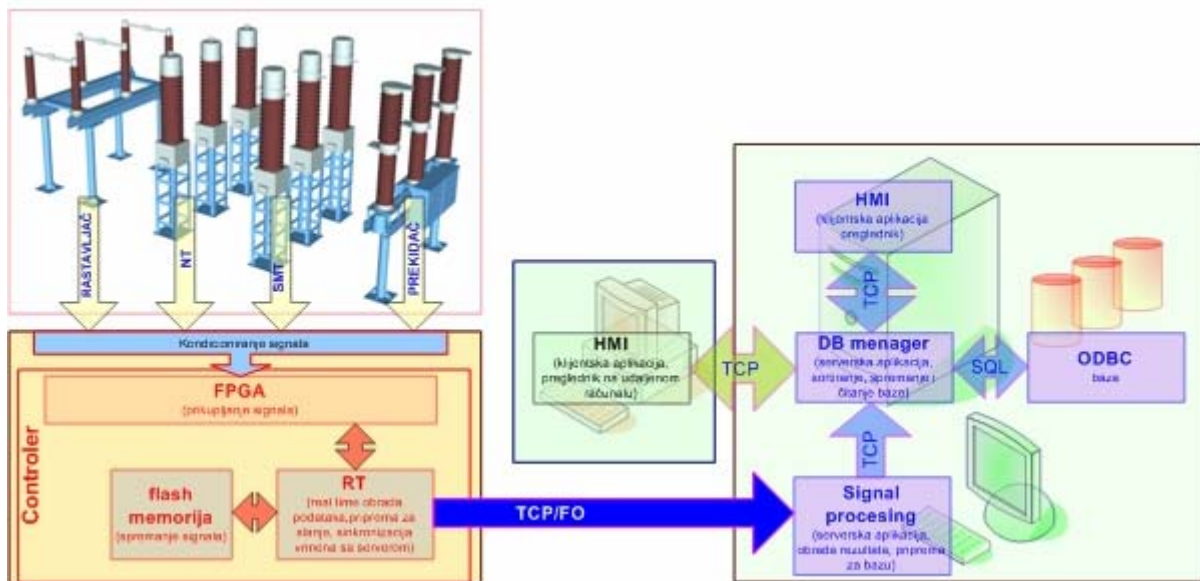
Sustav on-line monitoringa je sustav kontinuiranog prikupljanja, obrade i prezentacije mjerenih veličina i stanja kao i događaja, koji utječu i važni su za pravilan rad praćene opreme.

Najvažnije koristi od monitoringa:

- a) povećanje pouzdanosti i raspoloživosti postrojenja kroz stalni uvid u stanje opreme i u uvjete rada u postrojenju,
- b) otkrivanje kvarova u ranoj fazi nastanka prije većih kvarova ili havarija,
- c) ako do kvara i dođe, lakša i detaljnija analiza uzroka kvara i brže otklanjanje
- d) značajne uštede na održavanju zbog mogućnosti povećanja intervala i ciljanih intervencija, samo na dotrajale ili neispravne dijelove i sklopove.

U Končarevom Institutu je pokrenut razvoj vlastitog sustava monitoringa rasklopnog postrojenja «BMS» (Bay monitoring system), na platformi programibilnog kontrolera Compact Rio, proizvodnje National Instruments.

Odabrana je koncepcija sustava, slika 1., koja omogućuje fleksibilan pristup pri izboru broja i tipa signala, odnosno veličina, koje se žele pratiti.



Slika 1. Koncepcija sustava monitoringa rasklopnog postrojenja «BMS»

Kako bi se provjerile postavke odabrane koncepcije izrađen je model VN polja, koji je davao sve tipove i veličine signala kao i aparati u VN rasklopnom postrojenju, ali nešto manji broj signala. Sklopovska oprema (kontroler, senzori i sl.) korištena na modelu, identična je onoj iz sustava koji se montira na realno polje.

Osnovne komponente sustava «BMS» su:

- a) Prednji rub, koji čine razni senzori i pomoćni kontakti motrenog objekta i razni elektronički sklopovi za kondicioniranje signala,
- b) Procesna jedinica, koju čini kontroler s odgovarajućim komunikacijskim ulazima i modulima za prihvrat pojedinih tipova signala i odgovarajućim softverom,

- c) Poslužitelj, ili serversko računalo opremljeno potrebnim komunikacijskim ulazima i softverom (operacijski sustav, alati za programiranje procesne jedinice, baza podataka, aplikacija za pregled i analizu),
- d) Klijent, ili korisničko računalo opremljenog operacijskim sustavom i klijentskom aplikacijom, za pregled i analizu podataka
- e) Ostale komponente sustava, kao što su: signalni i komunikacijski kabeli, ormari za smještaj opreme, komunikacijski pretvornici, pomoćna napajanja i sl.

U skladu s brojem i tipovima signala s modela polja, izrađena je knjiga «tagova», u kojoj su definirani svi digitalni signali, mjerene i računске veličine, za svaki pojedini aparat modela, te način i mjesto njihove prezentacije.

Na osnovi knjige «tagova», krenulo se u izradu potrebnog softvera (najvećim dijelom uz pomoć Lab-view paketa), koji se sastoji od nekoliko segmenata. To su:

- a) «FPGA» aplikacija, koja omogućuje hardversko konfiguriranje logičkih sklopova za prijem i distribuciju signala, a sam program je spremljen u memoriju FPGA čipa,
- b) «RT» (real time) kontrolerska aplikacija, koja prihvaća signale (od FPGA), obavlja primarnu obradu signala, sprema podatke na flash memoriju kontrolera (8 posljednjih operacija i 8 zadnjih promjena stanja) i prosljeđuje podatke u «LVS»,
- c) «LVS» (Lab view server) je serverska aplikacija koja obavlja završnu obradu podataka, koje zatim šalje u «BMS server»,
- d) «BMS server» je aplikacija koja dobivene podatke sortira i sprema u odgovarajuću bazu, organiziranu također na serveru,
- e) «BMS klijent» je aplikacija koja omogućuje dohvat, pregled i analizu podataka iz baze, kroz odgovarajuća grafička sučelja, a instaliran je na korisničkom računalo, koje je povezano sa serverom ethernet ili dial-up vezom.

Po završetku cijelog programskog paketa, provjerena je komunikacija između pojedinih aplikacija, te je započeto funkcionalno ispitivanje sustava na modelu polja.

Tijekom ispitivanja, provjerene su sve sklopne operacije i stanja kakva se očekuju i u realnom postrojenju, ali i odziv kontrolerskih aplikacija. Također su provjerene odabrane metode mjerenja i rad senzora, kao i rad serverskih aplikacija za obradu podataka i punjenje baze.

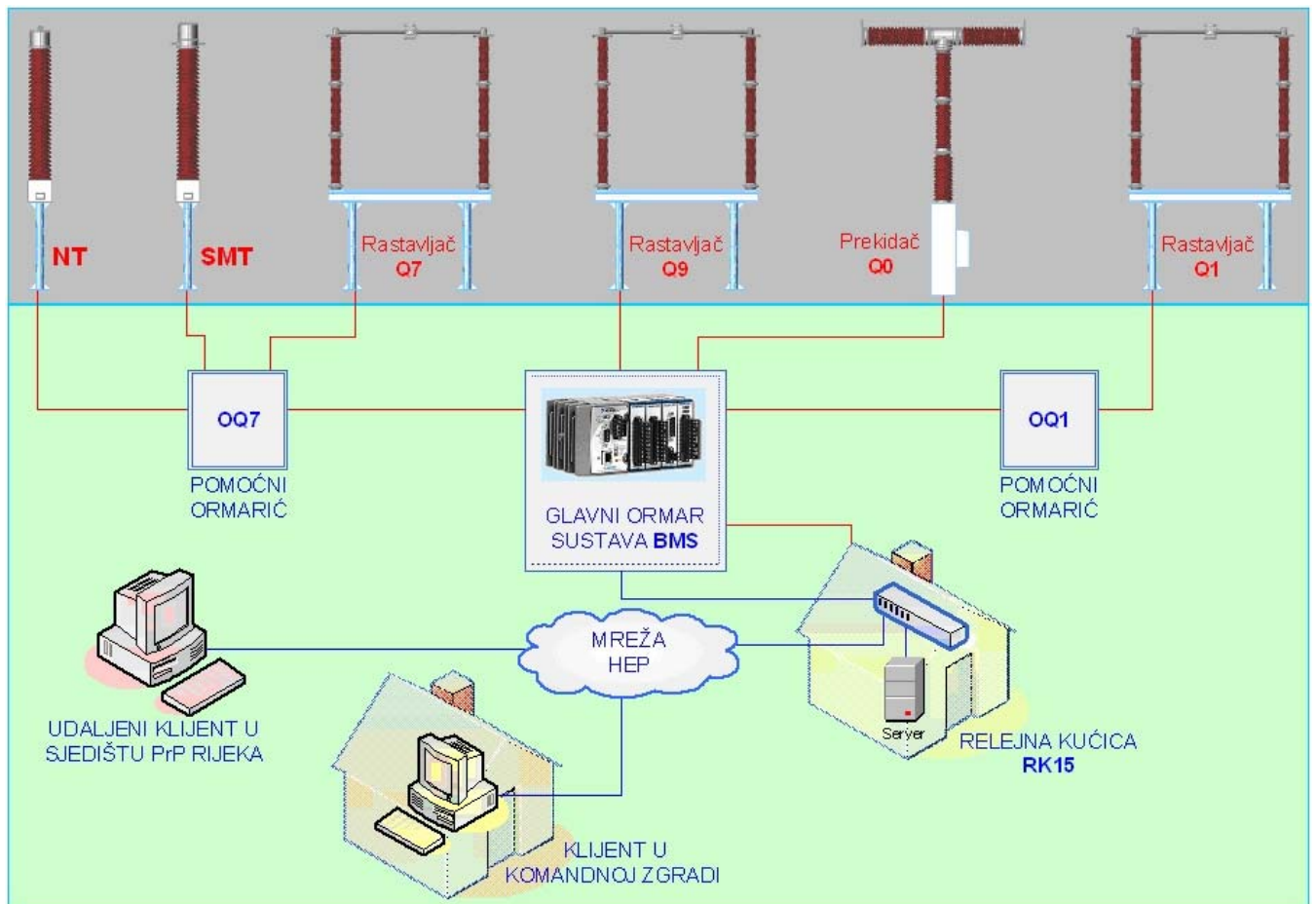
Na temelju provedenih ispitivanja odabrana je optimalna frekvencija uzorkovanja za pojedine tipove signala i pojava te su u skladu sa stečenim iskustvima u ispitivanju dorađeni svi segmenti programskog paketa sustava «BMS».

U završnom dijelu ove faze razvoja izrađene su još dvije pomoćne aplikacije i to jedna koja praktički pretvara kontroler u osciloskop, (kako bi se u svakom trenutku moglo provjeriti fizičko stanje signala) i druga koja kroz provjeru postavki pojedinih modula zapravo provjerava njihovu ispravnost. Ovaj posljednji će kasnije biti ugrađen u standardni programski paket sustava.

## 2. PROTOTIP

Zahvaljujući susretljivosti OPS PrP-a Rijeka omogućena je provjera rada «BMS» sustava u realnim pogonskim uvjetima, odnosno iskorištena je prilika da se u sklopu rekonstrukcije 400 kV-nog transformatorskog polja ugradi sustav monitoringa.

Radi se o polju nazivnog napona 400 kV koje se sastoji od energetskog transformatora 220/400 kV, 400 MVA koji je predmet zasebnog sustava motrenja «TMS» te mjernih transformatora, naponski tip VCU-420 i strujni APU-420. Od sklopnih aparata u polju je novi SF6 prekidač, 7E2, (umjesto 3P) te dva sabirnička i jedan linijski rastavljač, svi tipa CB 420-I-20.



Slika 2. Dispozicija motrene opreme i osnovnih komponenti sustava «BMS»

Središnji dio sustava predstavlja kontroler s odgovarajućim modulima za prihvatanje analognih i digitalnih signala, koji je smješten u glavnom ormaru sustava. U glavni ormar uvedeni su, bilo direktno bilo preko pomoćnih ormarića (OQ1 i OQ7), signalni kabeli koji dovode signale sa senzora montiranih na motrenoj opremi. S druge strane, kontroler je ethernet vezom spojen na preklopnik (switch) u relejnoj kućici RK 15. U ovoj relejnoj kućici je smješten i poslužitelj (serversko računalo), koji je također spojen na spomenuti preklopnik. Preklopnik je optikom povezan s glavnom zgradom, gdje je, preko postojećeg ormara koncentracije, sustav spojen na internu mrežu.

Klijent (korisničko sučelje) je instaliran na dva računala, jedan u glavnoj zgradi trafostanice i drugi u sjedištu OPS PrP-a Rijeka u Matuljima.

Za ovakvu konfiguraciju polja, izrađena je knjiga «tagova», odnosno broj i tip veličina koje se žele pratiti i prezentirati. Nabavljena je potrebna oprema (kontroler s pripadajućim ulaznim modulima, senzori i ostala potrebna oprema) te je izrađena osnovna dokumentacija. U skladu s knjigom tagova započeta je izrada svih segmenata programskog paketa, a paralelno se krenulo s izradom pod-sklopova koji će poslije biti ugrađeni u postrojenje.

Po završetku, svaka aplikacija iz programskog paketa zasebno je testirana, a prvo ispitivanje komunikacije između pojedinih aplikacija, odnosno rad cijelog paketa, obavljeno je na modelu.

Druga faza ispitivanja kompletnog sustava obavljena je nakon montaže i instalacije sustava u postrojenje, dok je završna faza započela puštanjem polja u normalni pogon, a podrazumijeva uz kontinuirano praćenje sustava i njegovu doradu i usavršavanje.

## 2.1. Organizacija podataka

Postoje veličine važne za pravilan rad motrene opreme koje, s raspoloživim stanjem tehnike, nismo u stanju pratiti u normalnom pogonu (kao što su produkti raspada SF6 plina ili padovi napona na

kontaktima). Međutim, uvedene mjerene veličine i logička stanja, pružaju dobar uvid u stanje motrene opreme, a prema objektima motrenja, pratimo:

Prekidač:

- a) Logička stanja: uklopljen, isklopljen, trigeri, blokade ...
- b) Put kontakta (mehanizma)
- c) Tlak ulja hidrauličkog pogona
- d) Tlak SF<sub>6</sub>
- e) Temperatura SF<sub>6</sub>
- f) Gustoća SF<sub>6</sub>
- g) Točka rosišta SF<sub>6</sub>
- h) Struje upravljačkih svitaka (uklopnih i isklopnih)
- i) Struja motora
- j) Temperatura okoline (u ormariću prekidača)

Rastavljači:

- a) Logička stanja: uklopljen, isklopljen i trigeri
- b) Struja motora
- c) Put kontaktnih ruku

Strujni i naponski mjerni transformatori:

- a) Hidrostatski tlak
- b) Struja glavnog kruga
- c) Napon glavnog kruga

Na temelju ovih veličina i stanja, pomoću odgovarajućih algoritama, dobivamo i druge podatke, važne za pravilan rad i stanje motrene opreme, a to su:

Prekidač:

- a) Sklopna vremena glavnog i signalnih strujnih krugova
- b) Brzina i ostvareni hod kontakta kod sklopnih operacija
- c) Lučni integral ( $I^2t$ ) kod isklopa
- d) Tlak SF<sub>6</sub> kod 20°C
- e) Postotak SF<sub>6</sub>
- f) Potrošnja hidrauličkog tlaka za pojedine operacije

Rastavljači:

- a) Vrijeme otvaranja i zatvaranja kontaktnih ruku
- b) Hod (kut) i kutna brzina kontaktnih ruku

Strujni i naponski mjerni transformatori:

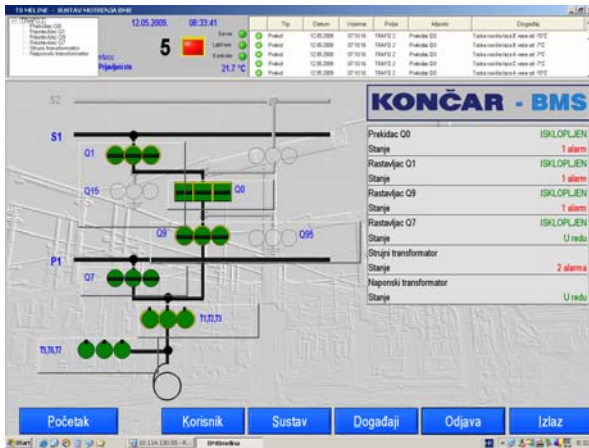
- a) Hidrostatski tlak kod 20°C
- b) Efektivna vrijednost struje (RMS)

Sve navedene, izmjerene i izračunate veličine, spremaju se i prezentiraju kao tri tipa podataka:

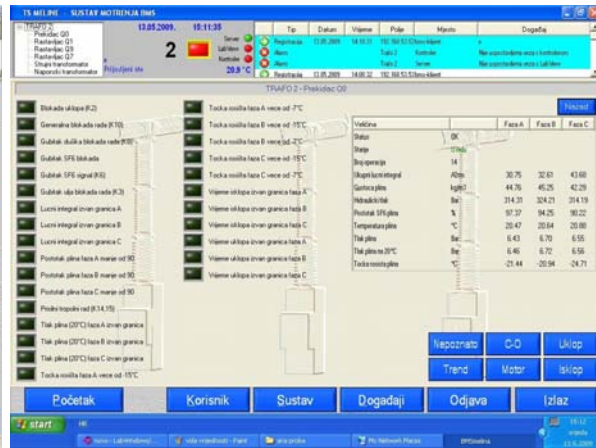
- a) Prikaz mjerenih veličina koje se prikupljaju ili prema događaju (operaciji) ili prema zadanom intervalu uzorkovanja,
- b) Prikaz logičkih stanja motrenog objekta (sklopno stanje, prorada blokade...),
- c) Prikaz rezultata dobivenih analizom jednog ili oba prethodna tipa rezultata.

Svi podatci spremeni u bazu mogu se naknadno analizirati (po događajima) ili se kao pojedina ili više veličina mogu pratiti kao trend.

Sustav je naime organiziran tako da u jednom dijelu kontinuirano prati statičke veličine (tlakovi, temperature, gustoća plina, efektivnu vrijednost struje glavnog kruga i sl.), a kada je promjena dovoljno velika novu vrijednost šalje u bazu, odnosno ako vrijednost prelazi zadane granice uz novu vrijednost dojavljuje i pripadajući alarm.



Slika 3. Glavni prozor (sučelje) sustava



Slika 4. Sučelje prekidača

U drugom dijelu sustav prepoznaje događaje, koji u stvari predstavljaju sklopne operacije, i to:

- Isklop prekidača
- Uklop prekidača
- CO prekidača
- Prorada motora hid. pumpe (ili motora opruge)
- Isklop rastavljača
- Uklop rastavljača

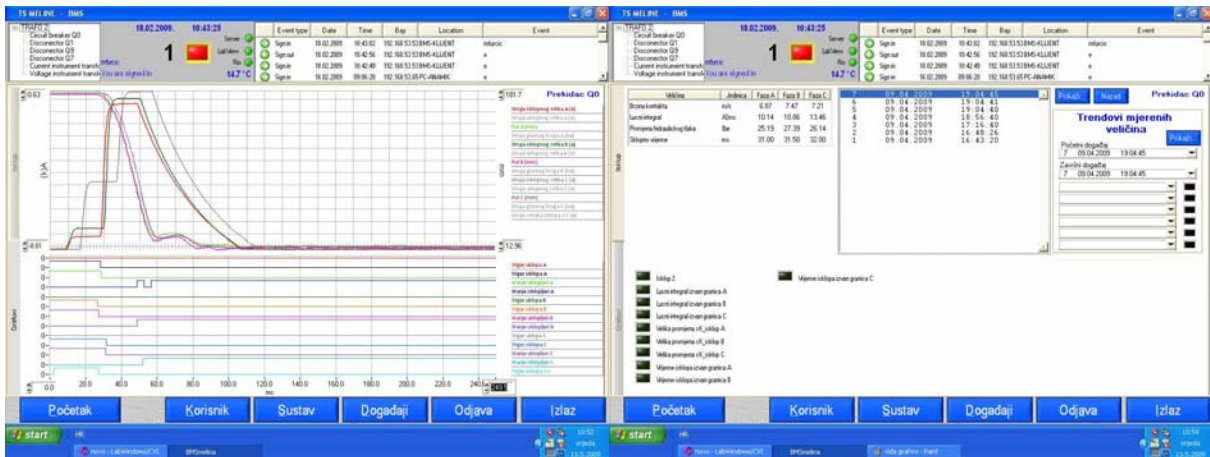
Ovi se događaji po svakom aparatu spremaju u bazu prema rednom broju s pripadajućom vremenskom markicom, ali i sa svim podacima vezanim uz taj događaj. To na primjer znači, želimo li pregledati neki od isklopa prekidača, da ćemo za odabrani događaj dobiti u grafičkom obliku slijedeće pojave:

- krivulja puta kontakata
- oblik struje isklonog svitaka
- oblik isklonpe struje glavnog kruga
- trenutke promjene logičkih stanja (početak i kraj naloga za isklop, stanje pomoćnih kontakata i sl.)

odnosno u numeričkom obliku:

- ostvoreni hod i brzinu kontakata
- vrijeme isklopa
- lučni integral ( $I^2t$ )
- potrošnju hidrauličkog tlaka,

a uz navedene podatke i pripadajuće alarme, ako je neka od veličina, kod konkretnog isklopa izašla iz zadanih granica vidi sliku 5 i 6.



Slika 5. Sučelje isključivanja prekidača s podacima u grafičkom obliku

Slika 6. Sučelje isključivanja prekidača s podacima u numeričkom obliku

Odabrane veličine mogu se analizirati i kao trend za grupu operacija ili za odabrani vremenski period.

## 2.2. Dosadašnja iskustva

### 2.2.1. Hardver

Treba napomenuti kako je sustav montiran u polje nazivnog napona 400 kV, te da je polje veliko i fizički (oko 100 m) i brojem aparata. Zbog niskog nivoa nekih signala i velike duljine signalnih kablova, očekivali smo probleme koji bi se mogli pojaviti zbog elektromagnetskih smetnji i sklopnih prenapona. Stoga su korišteni samo uvrnuti, uparični i oklopljeni signalni kablovi, na sve signale je postavljena prenaponska zaštita, a na pojedinim i pasivni filteri signala.

To međutim nije bilo dovoljno, pa su otkazivali i neki senzori, ali i dva analogna modula za prihvat signala, na kontroleru.

Stoga je postavljena prenaponska zaštita, (ovaj puta i veće snage), i na stranu senzora i na stranu kontrolera.

Drugi problem je bio u tome što senzori temperature točke rosišta ne mjere prema deklariranoj karakteristici pa smo privremeno promijenili način računanja dok se proizvođač ne očituje.

Također je ustanovljeno, da RTD modul na kontroleru, koji je predviđen samo za mjerenje temperature pomoću PT 100 sonde, ne može adekvatnom frekvencijom davati podatke, te je promijenjena metoda mjerenja i premješteno je mjerenje temperature na analogne module.

### 2.2.2. Softver

Počeci razvoja sustava rasklopnog postrojenja su opisani u [1]. U međuvremenu sustav je dovršen i ugrađen u TS Melina. Ovim člankom se želi opisati kako su se neke početne pretpostavke o realizaciji sustava u konačnici formirale u konkretnu realizaciju sustava.

### Modularnost organizacije sustava i prilagodljivost

Rasklopno postrojenje ima više polja, s više tipova visokonaponske opreme koja ovisno o namjeni polja može biti raspoređena u različitim kombinacijama. Sustav monitoringa rasklopnog postrojenja mora biti prikladan za instalaciju na svim ovim kombinacijama, dakle na njega se stavlja zahtjev za veliku prilagodljivost. Može se reći da je visokonaponsko polje organizirano modularno, gdje osnovne module predstavljaju pojedini aparati. Modularnu organizaciju postrojenja po aparatima prati i modularna organizacija najbitnijih dijelova monitoringa: akvizicije podataka, pohrane u bazu i prikaza mjerenja operateru, također modularno organiziranih po aparatima. Modularna organizacija akvizicije podataka podrazumijeva da su razvijeni moduli za akviziciju podataka konkretno za pojedini aparat. Svaki ovaj modul prikuplja podatke sa senzora postavljenih na konkretnom aparatu i pakira ih u pakete koje

šalje u RT aplikaciju na daljnju obradu, odnosno slanje u bazu podataka. Modularna organizacija kod pohrane podataka u bazu podrazumijeva da se u bazi specificiraju svi aparati s kojih se prikupljaju podatci i na te aparate se referenciraju pohranjena mjerenja kao svoj izvor. Modularna organizacija prikaza mjerenih podataka podrazumijeva da postoje razvijena grafička sučelja prikaza podataka za svaki pojedini aparat, tako da se prilagodba klijentske aplikacije konkretnom sklopnom postrojenju svodi na ugradnju odgovarajućih grafičkih sučelja za svaki aparat. Upravo modularana organizacija sustava monitoringa je ključna karakteristika koja ga čini na jednostavan način prilagodljivim raznim konfiguracijama rasklopnog postrojenja.

#### Autonomnost sustava i stabilnost

U RT aplikaciju je uveden jedan nivo redundancije koji osigurava autonomnost rada kontrolera u slučaju gubitka veze prema računalu serveru. Svi podaci koji se prikupe u vrijeme dok komunikacija s računalom serverom ne radi se spremaju lokalno na flash memoriju kontrolera, a potom se nakon uspostave komunikacije ti podaci šalju u aplikaciju na računalu serveru, te se oni dalje obrađuju i spremaju u bazu. Loša strana ovog pristupa je mogućnost da se flash memorija prepuni podatcima što može uzrokovati prestanak ispravnog rada aplikacije na kontroleru. Prepunjenje flash memorije bi se moglo zamisliti u situaciji u kojoj komunikacija s računalom serverom nije funkcionalna dok mjerni podatci kontinuirano pristižu sve dok ne napune flash memoriju. Da bi se onemogućilo prepunjenje flash memorije na ovaj način, implementiran je algoritam upravljanja mjernim podatcima pohranjenim lokalno na kontroleru. Mjerni podatci se pohranjuju u datoteke organizirane u cirkularni spremnik konačnog kapaciteta. Princip rada ovog spremnika je da se iz njega datoteke dohvaćaju redosljedom kojim su i dodavane u spremnik. Kod dodavanja datoteke u puni spremnik prepisuje se datoteka prva dodana u spremnik. Ovaj princip rada odgovara potrebama sustava monitoringa rasklopnog postrojenja. Na ovaj način, dok podatci pristižu na kontroler i komunikacija sa računalom serverom ne radi na kontroleru uvijek imamo pohranjen određen broj datoteka i taj broj ne može biti veći od kapaciteta cirkularnog spremnika. Zahvaljujući ovom svojstvu možemo procijeniti najveći kapacitet flash memorije potrebne za pohranu punog cirkularnog spremnika kao umnožak veličine najveće datoteke s mjernim podatcima i kapaciteta cirkularnog spremnika. Ako je spremnik mjernih podataka pun i pristignu novi podatci tada datoteka s tim mjernim podatcima prepisuje datoteku koja je najdulje u spremniku i nastupa gubitak podataka. Te podatke "žrtvujemo" za garanciju stabilnog rada kontrolera. Gubitak najranije pristiglih mjernih podataka umjesto najkasnije pristiglih smatramo boljim izborom. Objašnjenje sljedi. Neka se zamisli situacija u kojoj komunikacija sa računalom serverom ne radi i mjerni podatci se spremaju lokalno, a nastupila je havarija na aparatu obuhvaćenim sustavom monitoringa rasklopnog postrojenja. Za potrebe rekonstrukcije nastanka kvara svakako je poželjnije imati mjerenja zabilježena netom prije nastanka havarije.

#### Obradba podataka i točnost izračuna

Podatci koji se pohranjuju u bazu osim direktnim mjerenjem generiraju se i obradbom mjernih podataka. Algoritmi izračuna koji se koriste u sustavu monitoringa rasklopnog postrojenja su osjetljivi na pogrešne mjerne podatke, konkretnije na prisutnost *outliera* u mjernim podatcima. Zbog toga se podatci korišteni za potrebe izračuna filtriraju median filtrom prije no što se koriste za potrebe izračuna određenih parametara. Ovime se osigurava izvođenje algoritama nad ispravnim ulaznim podatcima.

### 3. ZAKLJUČAK

Prototip «BMS» sustava instaliran je u jednom od najzahtjevnijih rasklopnih postrojenja, kako po pitanju veličine i broju aparata (time i broju signala), tako i po prilikama vezanim uz elektromagnetske smetnje i sklopne prenapone, odnosno na sve tranzijente prenesene iz primarnih na sekundarne krugove. Stoga je već ovaj prototip u odnosu na inicijalno razvijenu verziju pretrpio izmjene u svim segmentima sustava. Sustav monitoringa prvenstveno treba trasirati opseg i dinamiku održavanja opreme pa će u tom smislu, na temelju iskustava u probnom radu, biti i dalje dorađivan do optimalne funkcionalnosti.



#### **4. LITERATURA**

[1] Ivan Maras, Toni Dropulić, Krešimir Meštrović, Mladen Vidović, „Razvoj sustava motrenja rasklopnog postrojenja“, 8. Savjetovanje HRO CIGRE, 2007.