

Ivan Maras, dipl.ing.
KONČAR – Institut za elektrotehniku
ivan.maras@koncar-institut.hr

Toni Dropulić, dipl.ing.
KONČAR – Institut za elektrotehniku
tdropulic@koncar-institut.hr

mr.sc. Krešimir Meštrović, dipl.ing.
KONČAR – Institut za elektrotehniku
kresimir.mestrovic@koncar-institut.hr

Mladen Vidović, ing.
KONČAR – Institut za elektrotehniku
mladen.vidovic@koncar-institut.hr

RAZVOJ SUSTAVA MOTRENJA RASKLOPNOG POSTROJENJA

SAŽETAK

U elektroenergetskom sustavu, jedan od ključnih elemenata su rasklopna postrojenja. U svakom od njih imamo više polja, koja u sebi imaju više tipova visokonaponske opreme, koja ovisno o tipu i namjeni polja može biti raspoređena u različitim kombinacijama. Tako u njima imamo prekidače, rastavljače, zemljospojnike, strujne i naponske mjerne transformatore i odvodnike prenapona.

Pravilno funkcioniranje svih ovih uređaja koji se mogu naći u jednom polju znači siguran rad svih uređaja koji su spojeni na to polje, a među njima su kapitalni objekti generatori i transformatori. Sustav motrenja rasklopnog postrojenja omogućavao uvid u stvarno stanje svakog pojedinog elementa. Nije nužno trajno provoditi nadzor svih navedenih elemenata, već nekih od njih.

Ključne riječi: rasklopno postrojenje, motrenje, visokonaponski prekidač, rastavljač, zemljospojnik, mjerni transformator

REAL-TIME DIAGNOSTICS OF HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR

SUMMARY

In power system, one of the key elements is switchgear. Each of them consists of bays that can contain numerous types of high-voltage equipment, that can, dependent on the type and purpose of the bay, be set up in many combinations. In bays we have circuit-breakers, disconnectors, earthing switches, current and voltage transformers and surge arresters.

Proper functioning of each of these elements of the equipment that can be found in one bay means right operation of all of the elements that are connected to this bay, and among them capital elements are generators and transformers. Switchgear monitoring system would provide insight into the real state of each monitored element in the switchgear. It is not necessary to monitor all of the named elements, but some of them.

Key words: switchgear, monitoring, high-voltage circuit-braker, disconnector, earthing switch, instrument transformer

1. UVOD

U posljednjih desetak godina u svijetu se javlja trend kontinuiranog motrenja opreme u elektroenergetskom sustavu, a naročito one opreme koja je kritična i bitna u radu sustava.

Ideje za kontinuirano motrenje opreme nisu novijeg datuma, međutim razvoj sklopovske podrške je omogućio da se svi relevantni parametri na ključnim elementima opreme u sustavu prate trajno te da se podaci o parametrima praćenima u njihovu radu nalaze trajno i sigurno pohranjeni u bazi. Iz tih se podataka tada mogu raditi složene analize i usporedbe podataka i trendova te davanje eventualno potrebnih alarma i upozorenja osoblju ukoliko postoje neka veća odstupanja od regularnih vrijednosti za pojedinu mjerenu ili računatu veličinu. Za sve parametre se unaprijed na serijskom tvorničkom ispitivanju utvrđuju vrijednosti svih parametara relevantnih za motrenje, te se daljnje vrijednosti dobivene motrenjem objekta u pogonu uspoređuju s tim vrijednostima. Bitno je napomenuti kako je u sustavu motrenja, bez obzira na tip opreme koji se nadzire, često mnogo bitniji trend promjena određenih parametara nego njihove stvarne vrijednosti.

Sva oprema u rasklopnim postrojenjima je održavana i servisirana, međutim, čak se i kod redovitog održavanja opreme dogode kvarovi na opremi koji mogu prouzročiti puno veće štete. Trajnim motrenjem svih ovih uređaja u polju rasklopnog postrojenja omogućiti će se upozorenje na određena odstupanja nekih veličina i trendova na pojedinim uređajima koja bi mogla prouzrokovati bilo kakav kvar i materijalnu štetu na opremi. Razvoj sustava motrenja rasklopnog postrojenja u Končar – Institutu za elektrotehniku se radi prvenstveno za primjenu na zrakom izoliranim postrojenjima (eng. AIS, Air Insulated Switchgear), međutim, nije isključeno da će se sustav također moći koristiti na postrojenjima izoliranim plinom SF₆ (eng. GIS, Gas Insulated Switchgear), budući da je koncepcija rada sustava jednaka za oba tipa rasklopnih postrojenja.

Omogućiti će se alarmiranje osoba u postrojenjima, a u daljnjim koracima razvoja postoji i mogućnost razvoja u sustav integriranog ekspertnog sustava koji bi na osnovu u programsku podršku ugrađene logike mogao davati lokacije i tipove kvara kao i preporuku popravaka i potrebnih rezervnih dijelova što bi značilo puno za osoblje održavanja. Time će se moći minimizirati vrijeme i troškovi potrebnih popravaka i radova na opremi. Također, održavanje opreme bi se moglo svesti na održavanje prema stanju opreme, a ne kao do sada, preventivnim pregledima i revizijama u redovitim vremenskim razmacima. Spajanje sustava motrenja na SCADA sustav operatora prijenosnog sustava bi također bilo moguće, te bi se njima davale sve informacije koje su bitne za vođenje sustava.

S ciljem razvoja sustava sa svim ovim mogućnostima već su nabavljeni senzori i oprema kojima bi se omogućilo trajno prikupljanje i spremanje podataka s relevantnih elemenata rasklopnog postrojenja: prekidača, rastavljača, strujnih i naponskih mjernih transformatora.

2. POTREBA ZA SUSTAVOM MOTRENJA RASKLOPNOG POSTROJENJA

Visokonaponska rasklopna postrojenja su jedan od ključnih elemenata u elektroenergetskom sustavu. Kako se ona sastoje od velikog broja raznorazne opreme koja uključuje i primarne i sekundarne krugove, održavanje postrojenja postaje prilično komplicirana stvar. Održavanjem se nastoji osigurati pouzdan rad postrojenja te se ranim uviđanjem određenih problema i grešaka na opremi i otklanjanjem istih nastoji izbjeći kvar u postrojenju.

Međutim, pojedine nepravilnosti u radu i u stanju opreme se čak niti na ovaj način ne mogu uvidjeti, prvenstveno stoga što se one mogu dogoditi u razdoblju između dva intervala inspekcija opreme. Na ovaj način se u postrojenju ipak može dogoditi kvar. Sustavom motrenja rasklopnog postrojenja bi se na osnovu poznavanja stanja svih parametara relevantnih za rad motrene opreme moglo na vrijeme upozoriti korisnika sustava na određene probleme već u njihovu začetku. Na ovaj način sustav motrenja rasklopnog postrojenja omogućava predviđanje i prevenciju kvara, te se time povećava pouzdanost i raspoloživost rasklopnog postrojenja kao cjeline.

Dalje poboljšanje u održavanju visokonaponske opreme u rasklopnom postrojenju dobiveno korištenjem podataka prikupljenih sustavom motrenja rasklopnog postrojenja se ogleda u smanjenju troškova održavanja na način da se poznavanjem stanja opreme mogu izbjeći troškovi preventivnog održavanja za slučajeve kada se ustanovi da su određeni sklopovi na opremi u dobrom stanju te ne zahtijevaju održavanje. To bi dakle smanjilo i troškove rezervnih dijelova i troškove rada ekipa za održavanje.

Nadalje, održavanje bi se uz korištenje podataka prikupljenih ovim sustavom moglo provoditi ovisno o stanju opreme, a ne periodičkim pregledima opreme, kao što je to sada slučaj.

Sumarno, dobrobiti od korištenja sustava motrenja rasklopnog postrojenja su:

- predviđanje i prevencija kvara,
- povećanje pouzdanosti i raspoloživosti opreme,
- smanjenje troškova održavanja,
- održavanje prema stanju opreme.

3. PREGLED SUSTAVA MOTRENJA RASKLOPNOG POSTROJENJA

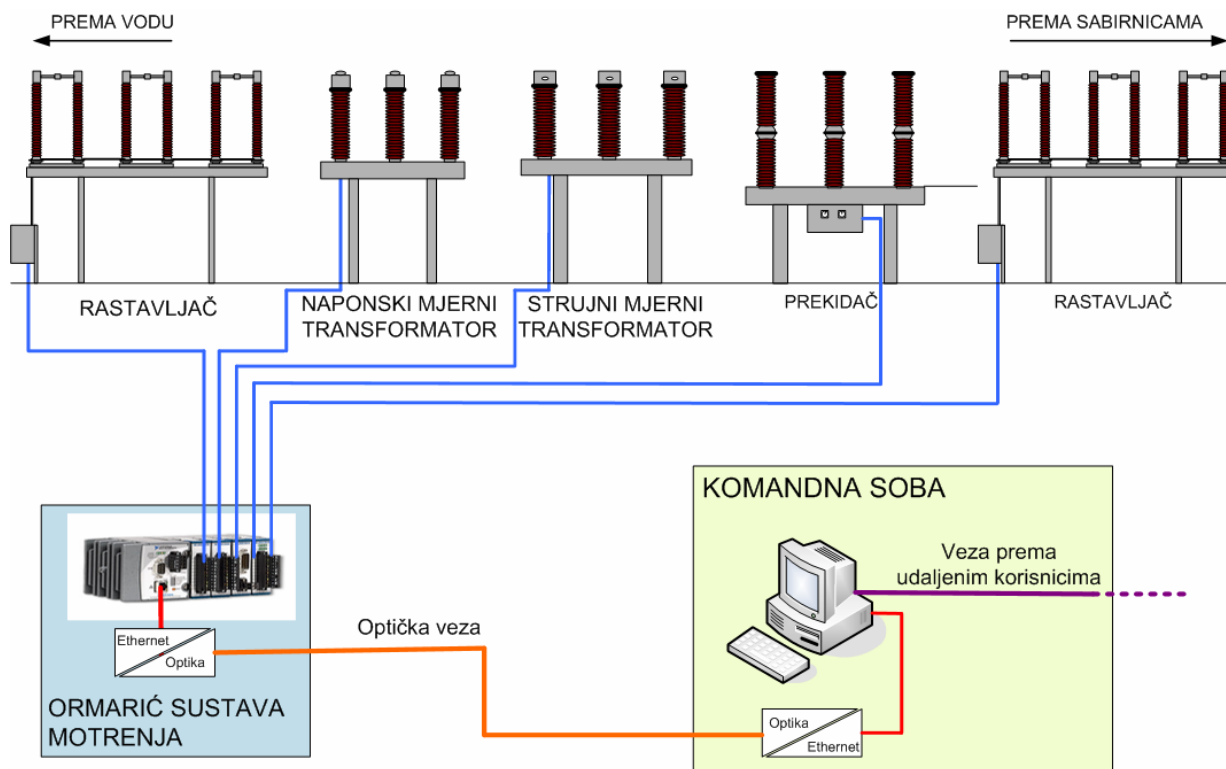
3.1. Pregled principa rada sustava motrenja rasklopnog postrojenja

Sustav motrenja rasklopnog postrojenja će raditi na principu prikupljanja podataka sa senzora postavljenih po visokonaponskim aparatima postavljenima u postrojenju, spremanja i obrade podataka na način da se korisniku sustava omogući uvid u trenutno i prošlo stanje opreme.

Principijelna shema spoja sustava motrenja rasklopnog postrojenja je dana na slici 1. Prikazana je konfiguracija jednog vodnog polja na kojem bi vod dolazio s lijeve strane slike, a sabirnice s desne strane.

Središnji dio sustava je smješten u ormariću sustava motrenja gdje se vrši prikupljanje i prvotno spremanje podataka prikupljenih sa senzora postavljenih na visokonaponskoj opremi. Središnji dio sustava motrenja je preko dvaju pretvornika signala Ethernet/optika vezan putem optičkog kabela na serversko računalo sustava motrenja gdje se podaci obrađuju i trajno pohranjuju u bazu. Povezivanje putem optike omogućava izbjegavanje utjecaja elektromagnetskog zračenja na prijenos podataka. Na serverskom računalu je moguće raditi složene analize prikupljenih podataka, kao i programsko podešavanje određenih parametara sustava motrenja, te alarmiranje korisnika u slučaju nekih nepravilnosti u radu.

Također, biti će omogućena veza udaljenog korisnika sa serverskim računalom čime će se i iz udaljenih lokacija putem specijalnog programa moći raditi s aplikacijom jednako kao i s lokalnog računala u stanici, izuzev, radi sigurnosti, eventualno nekih programskih modula za koje je bitno da korisnik bude u rasklopnom postrojenju. Svaki od sustava motrenja rasklopnog postrojenja se radi prilagođeno motrenoj opremi.



Slika 1. principijelna shema spoja sustava motrenja rasklopnog postrojenja u jednom vodnom polju

Ormarić sustava motrenja se radi kao samostalan ormar zaštićen od utjecaja elektromagnetskih zračenja iz postrojenja, te se može postaviti na gotovo bilo koje odgovarajuće mjesto u postrojenju, a koje je najviše diktirano uvjetom da ukupna duljina signalnih kabela prema njemu bude minimalna.

3.2. Oprema i parametri nadzirani sustavom motrenja rasklopnog postrojenja

Navedena oprema predstavlja opremu koju se namjerava pratiti sustavom motrenja rasklopnih postrojenja. Ona predstavlja opremu koja je dio trajno vodljivog kruga u pogonskom stanju uklopljenog polja u rasklopnom postrojenju. Ostala oprema se za sada ne planira motriti ovim sustavom, međutim po potrebi se i to može izvesti.

3.2.1. Prekidači

Sustav može pratiti bilo koji tip visokonaponskih prekidača koji se koriste u visokonaponskim postrojenjima današnjice (SF_6 , pneumatski, malouljni). Međutim, kako je trend prema postupnom prelasku u svim postrojenjima na prekidače s plinom SF_6 , sustav je u temelju predviđen za rad prvenstveno s SF_6 prekidačima.

Prilikom odabira parametara koji će se trajno nadzirati na visokonaponskim prekidačima vodilo se prema rezultatima međunarodne ankete o pouzdanosti visokonaponskih prekidača [8], a prema njoj statistički podaci o uzrocima kvarova prikazuju sljedeću raspodjelu uzroka kvarova i otkaza prekidača:

- 70% - mehanički problemi,
- 19% - upravljački i pomoćni strujni krugovi,
- 11% - glavni strujni krug.

Prema tome, pozornost se usmjerava prvenstveno prema pogonskom mehanizmu prekidača, jer je on glavni izvor problema mehaničke prirode, te prema upravljačkim i pomoćnim strujnim krugovima. Kod praćenja stanja glavnog strujnog kruga, potrebno je poznavati stanje plina SF_6 te stanje istrošenosti lučnih kontakata.

Parametri visokonaponskog prekidača predviđeni za praćenje sustavom motrenja obuhvaćaju:

- digitalni signali:
 - stanje prekidača: uklopljen, isklopljen (kontakti signalne sklopke) i ostali digitalni signali (blokada pumpanja, okidački signali – uklop, isklop, prorada motora);
- analogni signali:
 - put mehanizma iz kojeg se proračunava hod i brzina kontakata,
 - tlak ulja u slučaju prekidača s hidrauličkim pogonom ili hod opruge kod prekidača sa opružnim pogonom,
 - tlak i temperatura SF_6 iz kojih se može proračunavati i gustoća plina SF_6 ,
 - struje uklopnih i isklopnih svitaka,
 - struja i trajanje rada motora,
 - struje glavnih kontakata na temelju kojih se može izračunati trošenje kontakata,
 - iznosi pomoćnih napona,
 - temperatura u ormariću prekidača.

Bitno je napomenuti da se navedeni parametri prate za sve 3 faze, pri čemu parametri mogu biti predstavljeni pojedinačnim iznosom ili se snimaju njihovi valni oblici, mogu biti direktno mjereni ili proračunati iz mjenjenih.

Osim ove dvije podjele, prema načinu snimanja parametara prekidača, moguće je izvršiti podjelu na parametre koji se snimaju u pravilnim vremenskim razmacima (engl. time-triggered), npr. temperatura i tlak i parametre koji se snimaju na neki okidač (eng. event-triggered), npr. nalog za uklop, isklop, složene operacije ili prorada motora kada snimamo odgovarajuće valne oblike kao što su put kontakata, struju glavnog kruga i neke druge.

3.1.2. Rastavljači

Kod rastavljača nužno je pratiti:

- digitalni signali:
 - stanje rastavljača: uklopljen, isklopljen;
- analogni signali:
 - struju, napon i vrijeme rada motora,
 - put glavnih kontakata rastavljača iz kojeg se može dobiti brzina kontakata.

Iz struje i napona se mogu izračunati snaga i energija motora tijekom pojedine operacije. Iz ovih podataka o struji i naponu se izračunava snaga motora pogona rastavljača iz čijeg se valnog oblika, usporedivši ga s putem glavnih kontakata rastavljača se u slučaju odstupanja u valnom obliku snage motora tijekom operacije rastavljača može zaključiti o problemima u pogonu rastavljača, koji bi ukazivali na potrebu za inspekcijom cijelog rastavljača, odnosno pogona.

Parametri se na rastavljaču također prate dvojno: u pravilnim vremenskim razmacima (npr. stanje prekidača), ili na okidač (npr. struja, napon i hod glavnih kontakata rastavljača).

3.1.3. Strujni i naponski mjerni transformatori

Rezultati jedne međunarodne ankete Cigré za mjerne transformatore [9] su promatrali populaciju od 130 000 mjernih transformatora kroz 10 godina i kroz to vrijeme je na tim transformatorima zabilježeno 3004 kvara. Jako mali postotak kvarova je bio uzrokovan prenaponom (samo 2,4% slučajeva), dok se kod ostalih slučajeva kvar razvijao sporo i postupno. To vrijeme razvijanja kvara se mjeri u intervalu od sati do mjeseci, te je praćeno oslobađanjem plinova u mjernom transformatoru, što uzrokuje porast tlaka unutar mjernog transformatora. Tlak se tada mijenja od normalnog iznosa koji je jednak hidrostatskom tlaku ulja uzrokovanog visinom stupca ulja u mjernom transformatoru te koji se pri dnu mjernog transformatora kreće u rasponu od 0,12 do 0,5 bar, ovisno o naponskoj razini i izvedbi transformatora, do znatno viših iznosa od ovih uobičajenih vrijednosti.

Tlakovi se mogu mjeriti mjernim pretvornicima tlaka za koje je dostatan opseg od 0...2,5 bar, budući da su vrijednosti tlaka kod kojih dolazi do rasprsnuća membrane mjernih transformatora otprilike 1,5 bar. Korisnik u slučaju porasta tlaka dobiva od sustava alarm te ima dovoljno vremena za reakciju. Za mjerne transformatore je dostatan pratiti samo iznos tlaka ulja u mjernom transformatoru.

3.2. Senzori potrebni za praćenje traženih parametara

Senzori koje koristimo u realizaciji sustava motrenja obuhvaćaju:

- prekidač:
 - mjerni pretvornik puta mehanizma (kontakata),
 - mjerni pretvornik puta opruge (opružni pogon),
 - mjerni pretvornici tlaka ulja kod hidrauličkog pogona i za plin SF₆,
 - strujni mjerni transformatori za mjerenje struje primarnog kruga,
 - shuntovi za mjerenje struja svitka i motora (ili mjerni transformatori kod AC napajanja),
 - Pt100 sonde za mjerenje temperature SF₆, upravljačkog ormarića i okoline;
- rastavljač:
 - shunt ili mjerni transformator za mjerenje struje motora,
 - mjerni pretvornik napona motora,
 - mjerni pretvornik puta kontakata;
- za mjerne transformatore:
 - mjerni pretvornik tlaka ulja.

Na slici 2 su prikazani neki od senzora korištenih u sustavu motrenja rasklopnog postrojenja: mjerni pretvornici puta i tlaka, strujni mjerni transformator i Pt100 sonda.



Slika 2. neki od senzora korištenih u sustavu motrenja rasklopnog postrojenja

3.3. Sklopovska oprema sustava motrenja rasklopnog postrojenja

Osim senzora, koji mjere navedene veličine u postrojenju, druga jako bitna komponenta koja se ugrađuje u samo postrojenje, tj. ormarić sustava motrenja je PAC (engl. Programmable Automation Controller), a može se promatrati kao PLC (eng. Programmable Logic Controller) koji je svojim performansama bliži osobnom računalu no PLC-u. Čitava arhitektura PAC-a je organizirana modularno tako da se u ovisnosti o potrebnom broju signala i njihovom tipu biraju odgovarajući tipovi i broj ulazno-izlaznih jedinica. Ulazne jedinice koje koristi sustav motrenja obuhvaća digitalne i analogne ulaze, te ulaze za priključenje Pt100 sonde. Također, u PAC je ugrađena Ethernet veza kojom se, uz dva dodatna pretvornika Ethernet/optika i optičkog kabela, ostvaruje komunikacija prema računalu serveru u komandnoj sobi trafostanice.

Odabrani tip PAC-a je uređaj cRIO (Compact Reconfigurable Input/Output) tvrtke National Instruments. Ono što korišteni tip PAC-a koji se koristi za razvoj sustava motrenja rasklopnog postrojenja čini idealnim za ovu primjenu jeste prisutnost programibilne logike (FPGA čipa) u centralnom dijelu cijelog uređaja na kojeg se priključuju i ulazno-izlazni moduli i sam centralni dio s procesorom i memorijom. Paralelno snimanje valnih oblika dinamički relativno brzih pojava (npr., put kontakata, struje kroz svitke, struja motora) upravo je implementirana u programibilnoj logici, jer se omogućuje neovisnost prilikom snimanja valnih oblika na pojedinim ulazno-izlaznim kanalima. Ova implementacija snimanja valnih oblika ne opterećuje procesor, već tek kada je prijelazna pojava snimljena ona ide na daljnju obradu u aplikaciji na PAC-u.

3.4. Programska oprema sustava motrenja rasklopnog postrojenja

Kao što je rečeno, akvizicija mjernih podataka je izvedena u programibilnoj logici, a njihova obrada se vrši u aplikaciji na PAC-u je koja predstavlja vezu između akvizicije podataka i aplikacije na računalu serveru. U aplikaciju na PAC je uveden jedan nivo redundancije koji osigurava autonomnost rada PAC u slučaju gubitka veze prema računalu serveru. Svi podaci koji se prikupe u vrijeme kada komunikacija s računalom serverom ne radi se spremaju lokalno na PAC, a potom se nakon uspostave komunikacije ti podaci šalju u aplikaciju na računalu serveru, te se oni dalje obrađuju i spremaju u bazu. PAC također posjeduje flash memoriju na koju aplikacija pohranjuje podatke prije nego što se oni prosljede računalu serveru.

Ovakav pristup prikupljanju i prosljeđivanju podataka omogućava da se podaci čak ni gubitkom napajanja PAC-a ne izgube, jer se nakon povratka napajanja aplikacija na PAC-u sama pokreće, uspostavlja se veza prema računalu i daljnje prosljeđivanje podataka. Ovakvim je pristupom gubitak podataka moguć samo u slučaju dok PAC nije funkcionalan, odnosno kada nema napajanja, a što će se ugradnjom uređaja za besprekidno napajanje svesti na minimum.

Aplikacija na računalu serveru po prijemu snimljenih podataka vrši njihovu obradu te pohranu u bazu. Aplikacija posjeduje korisničko sučelje kojim je moguće praćenje podataka iz rasklopnog postrojenja u realnom vremenu, te ispis alarma u slučaju odstupanja njihove vrijednosti izvan dopuštenih granica. Osim toga postoji mogućnost pregleda historijskih podataka putem pretraživanja po bazi po vremenu operacije i njenom tipu, te prikaz ostalih historijskih podataka.

Također, planirano je izraditi programski dio koji bi omogućio povezivanje sustava motrenja rasklopnog postrojenja na SCADA sustav korisnika sustava motrenja, a čime bi se operaterima u centrima upravljanja omogućio uvid u trenutne vrijednosti traženih parametara za opremu u rasklopnom postrojenju.

Cjelokupna programska oprema sustava motrenja je zasnovana na programskom jeziku LabVIEW tvrtke National Instruments.

4. ZAKLJUČAK

U članku je dan pregled razvoja sustava motrenja rasklopnog postrojenja. Rasklopno postrojenje je jedan od ključnih elemenata u elektroenergetskom sustavu i nužno je da sve komponente u njemu djeluju ispravno kako bi u svakom trenutku moglo obaviti svoje tražene funkcije. Budući da se u rasklopnom postrojenju nalazi cijelo mnoštvo raznorazne opreme, od one na visokom do one na niskom naponu, održavanje i upravljanje svom tom opremom zahtijeva velik broj specijaliziranih ekipa za održavanje čiji rad zahtijeva dobru koordiniranost i planiranje.

Poznavanje stanja određenih parametara ključnih za rad visokonaponske opreme u svakom trenutku njenog rada bi dalo mogućnost korisnicima te opreme da vide u kakvom je stanju svaki od tih elemenata ili sklopova te opreme. A upravo takvu mogućnost nudi sustav motrenja rasklopnog postrojenja koji se razvija u Končar – Institutu za elektrotehniku.

Dobrobiti od ugradnje i rada ovakvog sustava za korisnike su višestruke:

- predviđanje i prevencija kvara,
- povećanje pouzdanosti i raspoloživosti opreme,
- smanjenje troškova održavanja,
- održavanje prema stanju opreme.

Sustav je predviđen za trajni nadzor sljedeće opreme: visokonaponski prekidač, rastavljač te strujni i naponski mjerni transformator.

Dan je uvid u koncepciju rada sustava, obrazloženja razloga praćenja točno određenih parametara, do kojih se došlo dijelom praćenjem izvještaja međunarodnih anketa o pouzdanosti visokonaponske opreme. Na ovaj su način sustavom motrenja rasklopnog postrojenja pokriveni svi parametri nužni za ispravan rad sustavom motrene visokonaponske opreme koja je ključna za ispravno funkcioniranje pojedinih polja u rasklopnom postrojenju, a time i rasklopnog postrojenja u cjelini.

Planira se i povezivanje sustava motrenja rasklopnog postrojenja sa SCADA sustavom korisnika čime bi se operaterima u centrima upravljanja dalo uvid u trenutne vrijednosti traženih parametara na opremi u rasklopnom postrojenju.

5. LITERATURA

- [1] IEC 62271-100 - Consol. Ed. 1.2 (incl. am1+am2), „High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers“, listopad 2006.
- [2] IEC 62271-102 - Ed. 1.0, „High-voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches“, kolovoz 2003.
- [3] IEC 60044-1 - Consol. Ed. 1.2 (incl. am1+am2), „Instrument transformers - Part 1: Current transformers“, veljača 2003.
- [4] IEC 60044-2 - Consol. Ed. 1.2 (incl. am1+am2), „Instrument transformers - Part 2 : Inductive voltage transformers“, veljača 2003.
- [5] Boris Belin, „Uvod u teoriju električnih sklopnih aparata“, Sveučilište u Zagrebu, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [6] Hrvoje Požar, „Visokonaponska rasklopna postrojenja“, 5. izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Tehnička knjiga, Zagreb, veljača 1990.
- [7] Mirsad Kapetanović, „Visokonaponski prekidači“, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, OKO-Sarajevo, 2002.
- [8] Cigré brochure 83, “Final Report of the Second International Enquiry on High-Voltage Circuit Breaker Failures and Defects in Service”, Cigré WG 06 of Study Committee 13, lipanj 1994.
- [9] Miroslav Poljak, Boris Bojanić, “Mjerni transformatori – dijagnostika kao preduvjet pouzdanog pogona”, Zbornik radova 5. međunarodnog simpozija “Dijagnostika električnih strojeva, transformatora i uređaja”, Rovinj 2000, Referat T-1
- [10] “IEEE Guide for Diagnostic and Failure Investigation of Power Circuit Breakers”, rujan 1996.
- [11] Upute za korisnike opreme tvrtke National Instruments
- [12] Upute za korištenje programa LabVIEW tvrtke National Instruments