BOSANSKOHERCEGOVAČKI KOMITET MEĐUNARODNOG VIJEĆA ZA VELIKE ELEKTRIČNE SISTEME – BH K CIGRÉ
SARAJEVO

12. SAVJETOVANJE BOSANSKOHERCEGOVAČKOG KOMITETA
NEUM, 04 – 08.10.2015.

SISTEM ZA ISTOVREMENO MJERENJE VIŠE HODOGRAMA U KINEMATSKOM LANCU VN PREKIDAČA

SYSTEM FOR SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF MULTIPLE TRAVEL RECORDS IN A HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKER KINEMATIC CHAIN

Mr. Vedad Bečirović, dipl.ing.el.
Elektrotehnički fakultet u Sarajevu

MoE Dejan Bešlija, dipl.ing.el.
EnergoBos ILJIN d.o.o. Sarajevo
Elektrotehnički fakultet u Sarajevu

MoE Amer Smajkić, dipl.ing.el.
Elektrotehnički fakultet u Sarajevu

Mr. Emir Sokić, dipl.ing.el.
Elektrotehnički fakultet u Sarajevu

Dr. Mirsad Kapetanović, dipl.ing.el.
EnergoBos ILJIN d.o.o. Sarajevo
Elektrotehnički fakultet u Sarajevu

Sarajevo – Bosna i Hercegovina

Sažetak: Ovaj rad predstavlja primjer implementacije savremenih računarskih sistema za automatizirano mjerenje i upravljanje u cilju ispitivanja mehaničkih karakteristika prototipa realnog 420kV 63kA MOP prekidača. Mehanička ispitivanja pogonskog mehanizma VN prekidača zahtijevaju mjerenje veoma brzih mehaničkih pojava uz punu kontrolu i upravljanje ispitnim objektom. Ovo je posebno izraženo za prekidače viših naponskih nivoa radi potrebe za većim energijama pogonskog mehanizma. U procesu dizajniranja VN prekidača se javljaju zahtjevi od strane konstruktora koje ne mogu ispuniti standardizirani mjerni sistemi. Predstavljen je sistem koji omogućava istovremeno mjerenje više hodograma kinematskog lanca, razvijen s ciljem mehaničkog ispitivanja prototipa 420kV 63kA MOP prekidača. Akvizicija, obrada i pohranjivanje podataka, kao i puna kontrola nad mjernim sistemom i ispitnim objektom je ostvarena preko namjenski razvijene računarske aplikacije. Korištena je DAQ kartica sa 16 analognih ulaza 16-bitne rezolucije. Ovaj sklop omogućava da se analiziraju odgovarajuće mehaničke pojave sa izuzetno velikom preciznošću, te značajnom vremenskom i amplitudnom rezolucijom. U ovom radu su predstavljeni i rezultati mehaničkih ispitivanja, te dati odgovarajući zaključci i prijedlozi za buduća istraživanja.

Kjučne riječi: VN SF_6 prekidač, mjerni sistem, akvizicijska kartica, hodogram, enkoder

Abstract: This paper presents an implementation example of a modern computer system for automated measurement and control, in order to investigate mechanical properties of a real-world 420kV 63kA MOP circuit breaker prototype. Mechanical testing of HV circuit breaker driving mechanisms requires measurements of very fast mechanical phenomena with full control of the test object. This is particularly pronounced for higher voltage level circuit breakers due to the need for higher driving mechanism energies. Some requirements in the HV circuit breaker design process, which cannot be met by standardized measurement systems, may arise. A system that provides simultaneous measurement of multiple travel records in the kinematic chain is presented, developed with the goal to perform mechanical testing of a 420kV 63kA MOP circuit breaker. Data acquisition, processing and storage, as well as full control of the measuring system and the test object is achieved using a specially developed software application. A 16-bit DAQ card with 16 analog inputs was used. This hardware system allows very accurate analysis of mechanical phenomena with high temporal and magnitude resolution.

Key words: HV SF_6 circuit breaker, measurement system, data acquisition card, travel record, encoder

vbecirovic@etf.unsa.ba

UVOD

Prekidač predstavlja bitan faktor u pravilnom funkcionisanju EES (*elektroenergetski sistem*). Osnovni zadatak pogonskog mehanizma je da obezbjedi pogonsku energiju potrebnu za otvaranje i zatvaranje prekidača, te jednoličnost svih operacija, sa aspekta oblika hodograma, brzina i ubrzanja kontakata [1], [2].

Značajan napredak je ostvaren u konstrukciji električnih aparata, u ovom slučaju VN prekidača, primjenom savremenih računarskih sistema. Razvojem softverskih rješenja i usavršavanjem matematskih modela pojedinih fizikalnih procesa koji se dešavaju u VN prekidačima, sam proces dizajniranja VN prekidača postaje brži i efikasniji, te donosi znatnu ekonomsku uštedu. Kada simulacije i proračuni pokažu zadovoljavajuće rezultate, slijedi proizvodnja prvog ili prvih prototipova koji se dalje testiraju u fabričkim ili za tu namjenu izgrađenim laboratorijama. Prva ispitivanja su mehaničke prirode, na otvorenom modelu. Kako bi se što bolje spoznao prototip potrebno je na više mjesta istovremeno mjeriti hodograme VN prekidača. Hodogrami se najčešće mjere linearnim ili rotacionim enkoderima. Pored navedenog se mjere struje špula uklopa i isklopa. Potrebno je višestruko ponavljati operacije uklopa i isklopa kako bi se identificirala potencijalna mjesta mehaničkih napona i naprezanja, te provjerila pouzdanost i efikasnost rada mehaničkog sistema. Mjerni sistem koji ovo sve treba da nadzire, bi po mogućnosti trebao biti modularnog karaktera, odnosno da omogućava istovremeno priključenje više senzora.

Danas na tržištu postoje specijalizirani mjerni sistemi za ispitivanje VN prekidača u različitim uvjetima rada. Svi mjerni sistemi su proizvedeni prema tačno određenim zahtjevima i standardima za mjerenje i obradu rezultata mjerenja. Međutim, u procesu dizajniranja VN prekidača pojavljuju se zahtjevi od strane konstruktora koje ne mogu ispuniti standardizirani mjerni sistemi. Tako se i u okviru ovih istraživanja pojavila potreba za specijaliziranim mjerenjima.

Mehanička ispitivanja pogona visokonaponskih prekidača zahtijevaju mjerenje veoma brzih mehaničkih pojava uz punu kontrolu i upravljanje ispitnim objektom. Prelazne mehaničke pojave te efekti i fenomeni koji se javljaju tokom ispitivanja su reda 100-150 ms što iziskuje značajne mjerne resurse senzora i uzorkovanja podataka. Ovo je posebno izraženo za prekidače viših naponskih nivoa radi potrebe za većim energijama pogona, što je vezano za veće brzine kretanja kontakata i kraća vremena trajanja operacije.

U ovom radu je predstavljen primjer implementacije savremenih računarskih sistema za automatizirano mjerenje i upravljanje u cilju ispitivanja mehaničkih karakteristika prototipa realnog 420kV 63kA MOP prekidača. Akvizicija, pohranjivanje i obrada podataka, kao i puna kontrola nad mjernim sistemom i ispitnim objektom je ostvarena preko namjenski razvijene računarske aplikacije. Korištena je DAQ (*Data Acquisition*) kartica sa 16 analognih ulaza 16-bitne rezolucije. Mjerenje hodograma je realizirano sa tri linearna i dva rotaciona enkodera. Prilikom odabira istih, te prilagođenja podataka, vršena su probna ispitivanja te usporedba specifiranih tehničkih mogućnosti sa očekivanim mehaničkim promjenama. Prezentirani mjerni sistem je modularnog tipa, što omogućava istovremeno priključenje više senzora. Zadavanje instrukcija, mjerenje i obrada rezultata mjerenja se obavlja na PC računaru. Implementacijom različitih softverskih rješenja moguće je vršiti automatizirano ispitivanje kako pojedinačnih operacija, tako i CO (*Close/Open)* sekvenci . Sve navedeno je već realizirano, te su u radu prezentirani neki od rezultata mjerenja.

1. HARDVERSKI I SOFTVERSKI ZAHTJEVI POSTAVLJENI MJERNOM SISTEMU

Dijagnostika stanja VN prekidača predstavlja bitan faktor kod pravilnog eksploatisanja i funkcionisanja elektroenergetskog sistema. Danas postoji niz metoda, algoritama i postupaka koji se uspješno koriste kod dijagnostike stanja VN prekidača. Mjerni sistem koji je prezentiran u ovom radu isključivo je namijenjen za mjerenje i analize u procesu razvoja i dizajniranja VN prekidača.

Realizirani mjerni sistem ima za cilj da se brzo, pouzdano, sigurno i jednostavno primjeni u procesu dizajniranja VN prekidača. Kako bi se prethodno navedeno ispunilo, u procesu planiranja istog postavljeni su tehnički zahtjevi po pitanju hardverske i softverske strukture mjernog sistema. Pred mjerni sistem su postavljeni tehnički zahtjevi koji su rezultat pripremnih istraživanja na simulacijskom modelu analiziranog VN prekidača [3].

1.1. Hardverski zahtjevi

- Istovremeno mjerenje hodograma sa više linearnih enkodera. Analizom potencijalnih mehaničkih djelova VN prekidača utrvđen je broj od tri linearna enkodera.
- Istovemeno mjerenje hodograma sa više rotacionih enekodera. Analizom potrebnih mjerenih tačaka ustanovljeno je da su dovoljna dva rotaciona enkodera.
- Mjerenje napona špule.
- Mjerenje struje špule uklopa i isklopa.
- Zahtjev za mjerenjem trenutka razdvajanja kontakata.

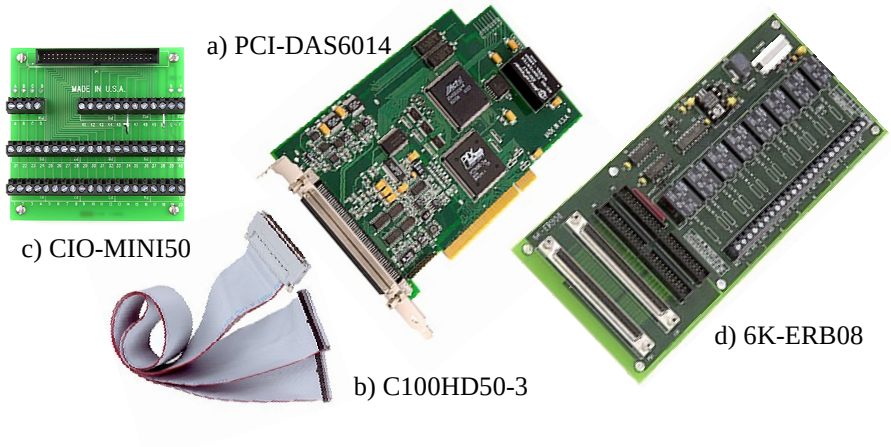
- Implementacija visoko preciznih optičkih senzora za mjerenje ili detekciju mehaničkih pokreta u opsegu do 25mm. Instaliran jedan senzor navedenih tehničkih karakteristika, s mogućnošću nadogradnje novih.
- Istovremeno mjerenje pritiska medija u VN prekidaču. Ovaj hardverski zahtjev je u trenutku objavljivanja ovog rada bio u fazi realizacije.
- Sinhronizirana vremenska kontrola i upravljanje ultrabrzom kamerom. Ovaj hardverski zahtjev je u trenutku objavljivanja ovog rada bio u fazi planiranja i projektovanja.
- Planirati hardverska proširenja (dovoljan broj digitalnih i analognih ulaza) u cilju priključenja drugih senzora koji mogu biti upotrebljeni u cilju dijagnosticiranja stanja VN prekidača.

Na osnovu prethodno iznesenih tehničkih zahtjeva i analize očekivanih dijagrama odnosno pojava koje će se mjeriti i analizirati odabrana je DAQ kartica PCI-DAS6014 (*16-Channel, 16-Bit, 200 kS/s DAQ Board with 8 Digital I/O and Two 16-Bit Analog Outputs*). Osnovne karakteristike odabrane DAQ kartice su date u narednoj tabeli [4].

Tabela 1. Mjerne karakteristike DAQ kartice PCI-DAS6014 bitne za realizaciju mjernog sistema

Vertikalna rezolucija	16bit
Frekvencija uzorkovanja	1ch = 200kHz **(10kHz)**
Broj analognih ulaza	8 diff; 16 single **(16 single)**
Broj digitalnih ulaza i izlaza	8 (3)
Opseg mjerenja	±10V; ±5V; ±500mV; ±50mV **(±10V)**
Softverska podrška za podešenje	InstaCal software
Softverska kontrola	• Visual Studio® and Visual Studio® .NET / Visual C++®, Visual C#®, Visual Basic®, and Visual Basic® .NET/. • NI LabVIEW™ • MATLAB® Data Acquisition Toolbox™

Navedena kartica se integrira u računar koristeći PCI slot. Kartica tokom mjerenja koristi računarske resurse (RAM i Procesor). Jedna od najvažnijih karakteristika ove DAQ kartice jeste mogućnost skeniranja analognih ulaza u pozadini dok se vrše manipulacije digitalnim izlazima.



Slika 1. DAQ kartica PCI-DAS6014 sa dodatnim hardverskim komponentama
a) DAQ kartica PCI-DAS6014, b) 100pin kabel, c) 50pin kartica za analogne ulaze
d) 50pin ploča sa elektromehaničkim relejima upravljanim DI izlazima

Uobičajeni zahtjev je da ukupno vrijeme prekidanja prekidača bude što manje. Nerijetko se zahtjeva da ono bude kraće od dvije periode struje (40ms kod 50Hz ili 33.3ms ko 60Hz) [1]. Na osnovu [1], [2] i projiciranih dijagrama koji opisuju hodograme, te na osnovu mogućih devijacija u istim [2], očekivanih brzina i ubrzanja kontakata ispitnog objekta, odabrana je frekvencija uzorkovanja od 10kHz.

Glavni uzroci i otkazi VN prekidača su podijeljeni u: kvarove glavnih strujnih krugova 11%, pomoćnih i upravljačkih strujnih krugova 19%, te mehaničke probleme 70% [1],[2]. Jasno se vidi da su najčešći uzroci mehaničke prirode. Istovremeni zapis kretanja više elementa kinematskog lanca VN prekidača, snimljenih visokom rezolucijom, mogu dati odgovor na moguće pogreške prilikom dizajna VN prekidača. Iz prethodno navedenog odabrana je amplitudna rezolucija od 16 bita.

Na osnovu iskustva u implementaciji mjernog sistema, može se smatrati da je odabrana DAQ kartica u potpunosti zadovoljila postavljene tehničke zahtjeve. Iskorišteno je osam analognih ulaza i tri digitalna izlaza. Odabrana DAQ kartica će moći u potpunosti odgovoriti budućim planiranim proširenjima [5].

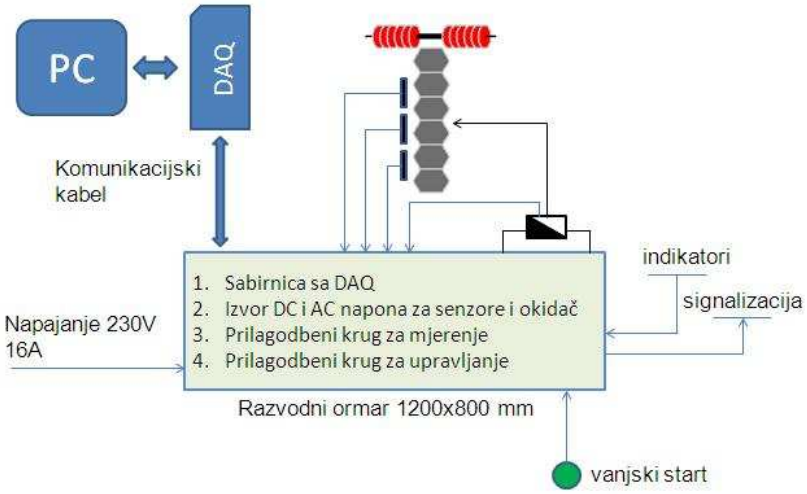
1.2. Softverski zahtjevi

- Zahtjev za jednostavnom upotrebom softverskog alata koji upravlja mjernim sistemom.
- Mogućnost neograničenog broja sukcesivnih uklopa i isklopa VN prekidača sa snimanjem svih pojava u bazu mjerenja.
- Integracija softvera za upravljanje u postojeći softver za simulaciju i modeliranje VN prekidača.
- Formiranje baze podataka izmjerenih veličina.
- Postprocesiranje izmjerenih veličina (filtriranje, diferenciranje, integriranje,...).
- Brza i jednostavna implementacija novih senzora u mjerni sistem.
- Zvučna i svjetlosna signalizacija prije manipulacije VN prekidačem.

Svi prethodno navedeni zahtjevi su uspješno realizirani, te omogućavaju korisniku da na jednostavan način uporedi rezultate mjerenja sa rezultatima simulacije ili uporedi više izmjerenih rezultata. Ovako definisan projektni zadatak i tehnički zahtjevi pred mjerni sistem su doveli do rezultata ubrzanih mehaničkih ispitivanja na prototipu realnog 420kV 63kA MOP prekidača.

2. HARDVERSKA STRUKTURA MJERNOG SISTEMA

U procesu planiranja razvoja ovog mjernog sistema predloženo je nekoliko struktura, pri čemu se je svaka imala svoje prednostima i nedostatke. Kako se radi o mjernom sistemu koji će u prvom redu služiti za mjerenja i ispitivanja prototipa VN prekidača, odabrana je modularna struktura mjernog sistema. Ova struktura je nešto robusnija, te istu nije moguće brzo transportovati na mjesto ispitivanja. Navedeno bi moglo predstavljati i najveći nedostatak, jer mjerni sistemi namjenjeni za ova ili slična ispitivanja su gabaritima kompaktni i prenosivog su tipa. Značajna prednost robusne hardverske strukture je njena modularnost i prilagodljivost različitim vrstama senzora i aktuatora. Principijelna shema hardverske strukture mjernog sistema je data na slici 2.



Slika 2. Principijelna shema hardverske strukture mjernoga sistema [5]

Principijelna shema hardverske strukture mjernoga sistema je sačinjena od hardverskih komponenti koje su date u nastavku. Navedene su najvažnije hardverske komponente.

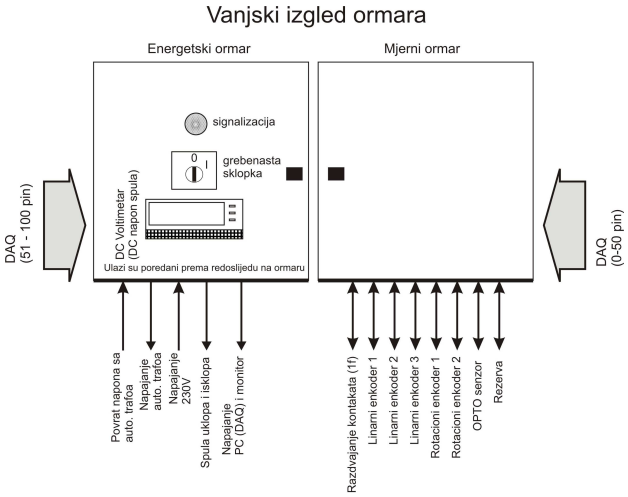
- Akvizicijska kartica DAQ (PCI-DAS6014) sa kabelom i oprema za analogne i digitalne izlaze.
- Digitalni DC voltmetar.
- Strujni mjerni senzor za DC struju (Hallova sonda).
- Utičnice, kontakteri, automatski osigurači.
- DC/DC regulator napona.
- Kondenzatori, diode, Graetzov spoj, otpornici i otporni djelitelji napona.
- Kartica za prilagodbu rotacionih enkodera DAQ kartici (LPC1549 LPCXPRESSO BOARD).
- Transformator 230V/24V AC 160VA.
- Signalna LED lampa 220V, grebenasta sklopka.
- Razvodni ormari.

U PC je integrisana DAQ kartica (slika 3), dok je kartica sa elektromehaničkim relejima montirana u razvodni energetski ormar. Kartica sa analognim ulazima je postavljena u razvodni mjerni ormar. Korištena su dva razvodna ormara kako bi se reducirao efekat interferencije. Energetski ormar je zadužen za napajanje računara, okidanje špula (kontrolisani DC napon pomoću autotransformatora). Svi energetski krugovi su osigurani automatskim osiguračima. Mjerni ormar sadrži kontrolisane izvore DC napona (32, 10, 5V, ...), prilagodbeni elektronički krug za rotacione enkodere, električne krugove za signalizaciju i mjerenje razdvajanja kontakata.

Slika 3. Pokretni mjerni sto s ormarima i računarom s integrisanom DAQ karticom

Na energetski i upravljački ormar su uvodnicama priključeni dovodni energetski kabeli, senzori i aktuatori. Na slici 4 je prikazan raspored s obilježenim priključcima i opisima. Sa prednje strane energetskog ormara se nalazi grebenasta sklopka kojom se uključuje mjerni sistem, ali ne prekida napajanje računara. Računar i monitor dobijaju napajanje kada je mjerni sistem priključen. Signalna LED lampa 230V služi kao indikator kada je grebenasta sklopka uključena.

Ispod grebenste sklopke nalazi se DC voltmetar. Ovaj voltmetar pokazuje DC napon špule, koji se podešava pomoću autotransformatora na AC strani napajanja, a potom preko Graetz spoja i kondenzatorskih baterija prosljeđuje špulama.

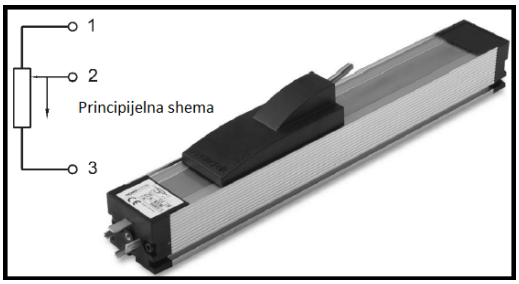


Slika 4. Shematski prikaz izvoda sa energetskog i mjernog ormara

U realnim uvjetima rada VN prekidača vrši se baterijsko napajanje špula uklopa i sklopa, odnosno špule dobijaju čisti DC napon. Špule se u ovom slučaju napajaju preko ispravljenog AC napona, što ne narušava radne karakteristike špule, ali nije moguće provesti egzaktne analize stanja i rada špule. Kako u procesu dizajniranja VN prekidača u ovoj fazi akcenat nije stavljen na analizu rada špula uklopa i isklopa, ovaj nedostatak ne predstavlja problem.

2.1. Senzori i aktuatori

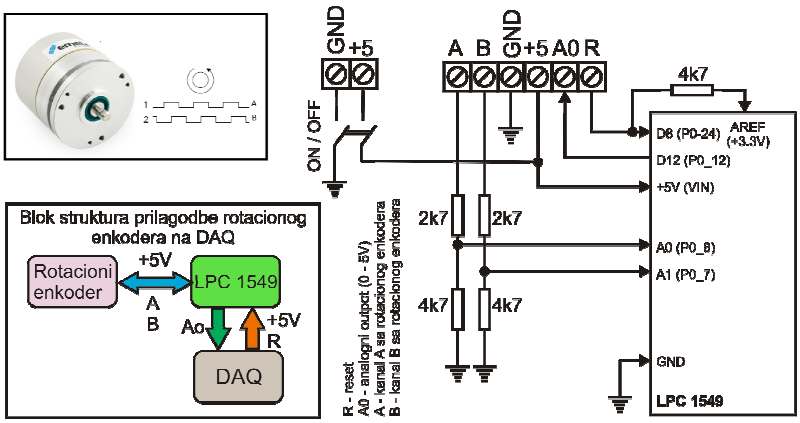
Koriste se tri linearna enkodera. Instalirani linearni enkoderi rade na principu promjene otpora u funkciji kretanja klizača. Preciznost je 0.01mm, maksimalna brzina iznosi 10m/s i ubrzanje 200m/s^2. Izvedeni su sa IP54 zaštitom [6]. Linearni enkoderi se pričvršćuju na pokretne dijelove sklopnog elementa, te su strateški rapoređeni s ciljem maksimalne observacije prototipa VN prekidača. Korišteni senzor (*Position Transducer*) prema tehničkoj dokumentaciji ima veoma dug životni vijek, 100×10^6 pomicanja. Linearni enkoderi su priključeni na stabilni napon 10VDC [6].



Slika 5. Linearni enkoder

Instalirana su dva inkrementalna rotaciona enkodera. Greška mjerenja je ±50 el°, a maksimalna frekvencija je 100kHz. Enkoder vraća dva signala, fazno pomjerna za 90 ° u obliku niza četvrtki [7]. Brojanjem impulsa i praćenjem koja je ivica signala (A, B) prva mjeri se ugaoni pomak. Izvedeni su sa IP66 zaštitom [7]. Ovi enkoderi moraju biti vrlo precizno centrirani, jer u protivnom može doći do oštećenja enkodera, ukoliko je prisutno translatorno kretanje.

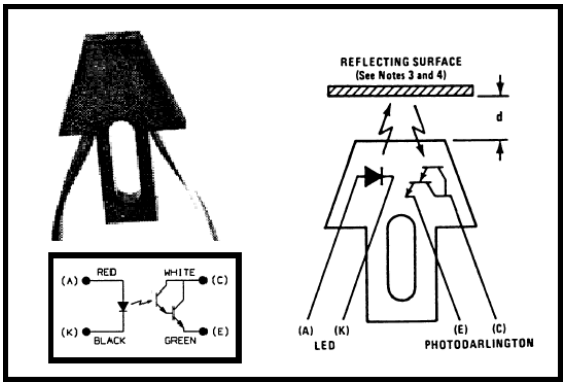
Korištena DAQ kartica nema enkoderskog ulaza, pa je bilo potrebno izlazni signal iz enkodera prilagoditi analognom ulazu u DAQ. Kao prilagodbeni krug je korišten LPC 1549 *embedded* (LPCXpresso1549) razvojni sistem [8]. Navedena kartica sadrži integrisani hardver za inkrementalne enkodere, a takođe posjeduje i 12bit analogni izlaz. Za navedenu karticu je napisan program koji generiše napon na analognom izlazu u funkciji kretanja rotacionog enkodera. Jedan od nedostataka korištene kartice je da se jednom karticom može izvršiti prilagodba signala korištenoj DAQ kartici sa samo jednog rotacionog enkodera. Prija svakog narednog mjerenja je reliziran je hardverski reset rotacionih enkodera.



Slika 6. Integracija rotacionog enkodera u mjerni sistem

Bitan parametar kod dizajniranja sklopnih aparata je praćenje trenutka razdvajanja kontakata prekidača kod isklopa, odnosno trenutka uklapanja kontakata kod uklopa prekidača. Za praćenje ove pojave realiziran je jednostavan strujni krug koji osigurava da kroz kontakte prekidača protiče DC struja od cca 100mA. Na jednom analognom ulazu sa naponskog djelitelja je doveden signal koji je reprezent navedene struje. Na ovaj način je realizirano mjerenje trenutka razdvajanja kontakata. Sheme elektroničkog sklopa i detalji su navedeni u [5].

Pojedini mehanički dijelovi prilikom manipulacije prekidačem podnose značajna naprezanja. Kao posljedica ovih naprezanja se javljaju vibracije, uvijanja, istezanja i druge deformacije. Također, za neke analize je veoma bitno pratiti početak kretanja pojedinih pokretnih mehaničkih dijelova od trenutka prosljeđivanja naloga za manipiulaciju prekidača. Prethodno navedeno se sa velikom preciznošću može detektovati primjenom optičkih senzora (slika 7). U mjerni sistem je integrisan optički senzor OPB701AL [9] koji je kalibrisan za mjerenja od 8mm do 30mm. Osnovni cilj implementacije ovog senzora jeste mjerenje pomaka pojedinih mehaničkih dijelova prekidača od cca ±10mm ili identifikacija trenutka odbravljivanja. Pošto ovaj senzor ima nelinearnu karakteristiku, proces njegove kalibracije je nešto složeniji. Odziv senzora je 50µs (kašnjenje), što ne predstavlja problem prilikom mjerenja.



Slika 7. OPTO senzor

Kao što je već prethodno navedeno, aktuatori su dvije špule (špula uklopa i špula isklopa). Obje špule se kontrolišu preko kontaktera koji se nalaze u energetskom ormaru. U okviru ovih istraživanja, dizajn i odziv špula nije u fokusu, pa je njihovo napajanje izvedeno preko ispravljenog AC napona (diodno-kondenzatorski spoj). U slučaju da je obezbjeđen vanjski izvor DC napona (ispitivanja na terenu), mjerni sistem se vrlo lako može prilagoditi navedenim uvjetima.

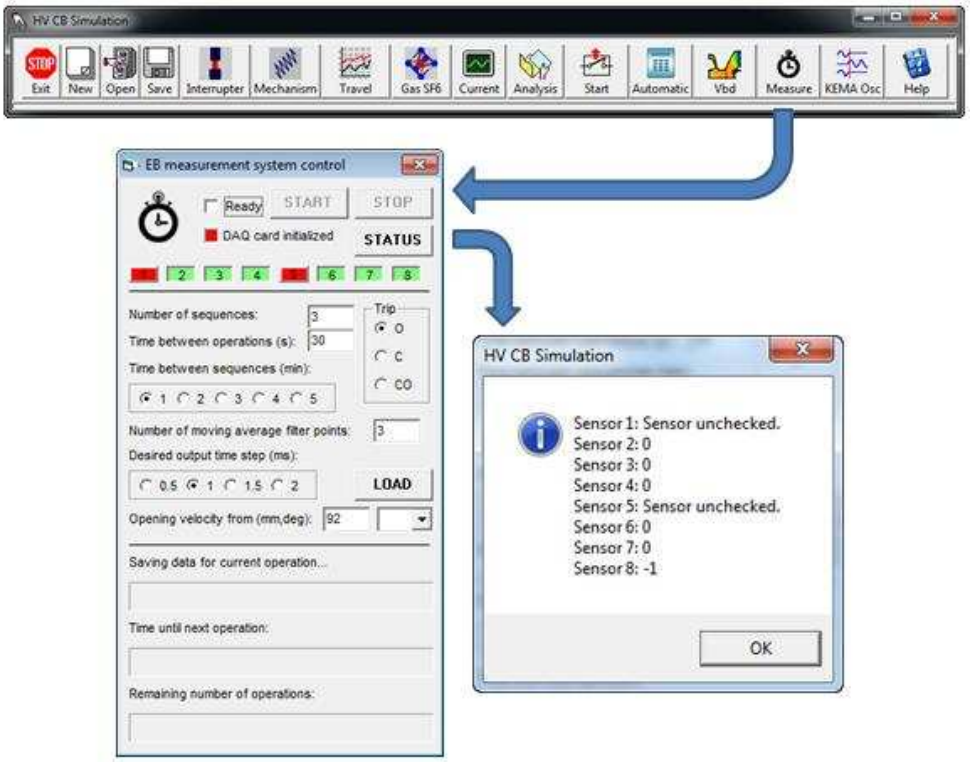
Svi prethodno navedeni senzori i aktuatori su kalibrisani ili posjeduju kalibracijske certifikate, te su njihovi analogni izlazi prilagođeni akvizicijskoj kartici sa minimalnom izmjenom prenosne karakteristike, koja ne utiče na rezultate mjerenja u domenu opsega od interesa.

3. SOFTVERSKA STRUKTURA MJERNOG SISTEMA

Softver predstavlja jedan od najbitnijih faktora za vođenje i upravljanje mjernim sistemom. Softver za upravljanje mjernim sistemom je dio integralnog softvera za simulaciju VN prekidača HV CB Simulation. Njime se upravlja mjernim procesom uključujući okidanje špula uklopa i isklopa testnog objekta, akviziciju mjernih podataka sa aktivnih senzora, digitalno procesiranje i filtriranje mjernih signala, kao i potpunu pripremu podataka za dalju evaluaciju i analizu. Organigram softverske strukture mjernog sistema je prikazan na slici 8.

Slika 8. Organigram softverske strukture mjernog sistema [5]

Softver osim davanja naloga za pojedinačne operacije uklopa (C) i isklopa (O), omogućava i automatsko izvršenje niza CO sekvenci. Pri tome je moguće podesiti vremenski razmak između pojedinačnih C i O operacija unutar sekvence, kao i između dvije sukcesivne sekvence. Mogućnost izvršenja CO sekvenci s punom vremenskom kontrolom je od izuzetne važnosti prilikom testiranja prekidača visokog napona iz razloga što upravo takve sekvence moraju biti u stanju izvršiti u uslovima eksploatacije.



Slika 9. Izgled integralnog softvera i softvera za upravljanje mjernim sistemom

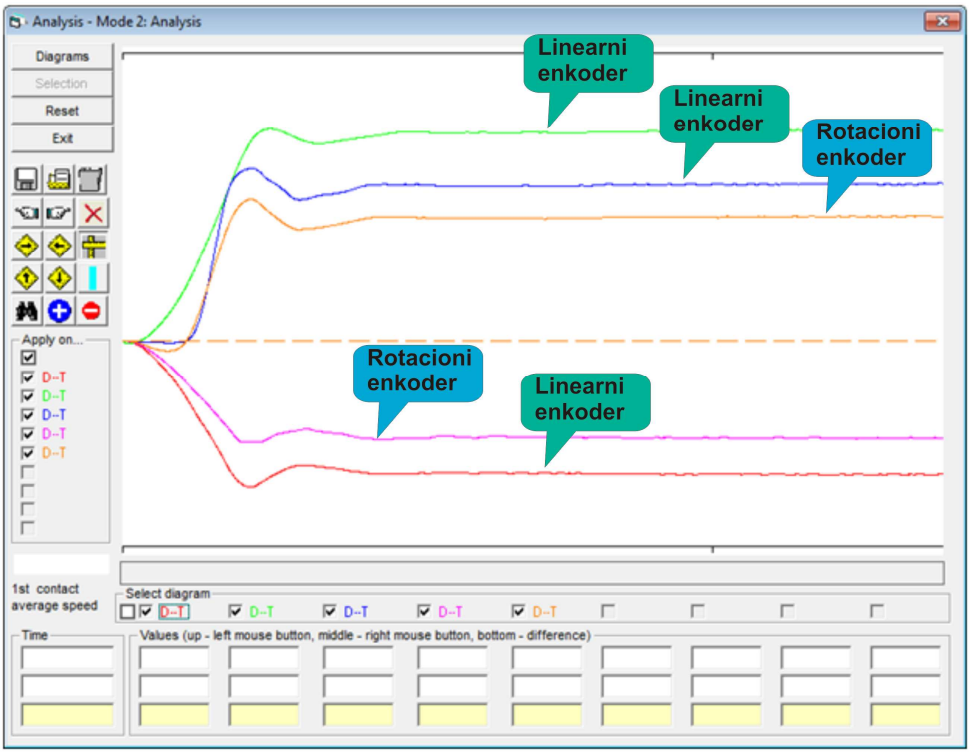
Akvizicija i spašavanje mjernih podataka, uz osnovno procesiranje i filtriranje se pokreću automatski nakon svake pojedinačne izvršene operacije. Prikazano softversko rješenje omogućava podešavanje osnovnih parametara primijenjenog filtera, kao i vremenskog koraka od interesa. Nadalje, datoteke koji sadrže rezultate mjerenja, u originalu i nakon filtriranja, se sistematski arhiviraju i spremaju za dalju analizu. Softver također nudi mogućnost naknadnog učitavanja i grafičkog predočavanja ranije provedenih mjerenja.

U analizama kretanja dijelova kinematskog lanca prekidača visokog napona je veoma bitno raspolagati informacijom o vremenskoj promjeni brzine i ubrzanja analiziranog dijela. Iz tog razloga, ovo softversko rješenje implementira procedure za računanje vremenske promjene brzine i ubrzanja na osnovu izmjerenog hodograma, kao i karakterističnih veličina, kao što su prosječna brzina uklopa i isklopa, itd.

4. PRIMJERI IMPLEMENTACIJE MJERNOG SISTEMA

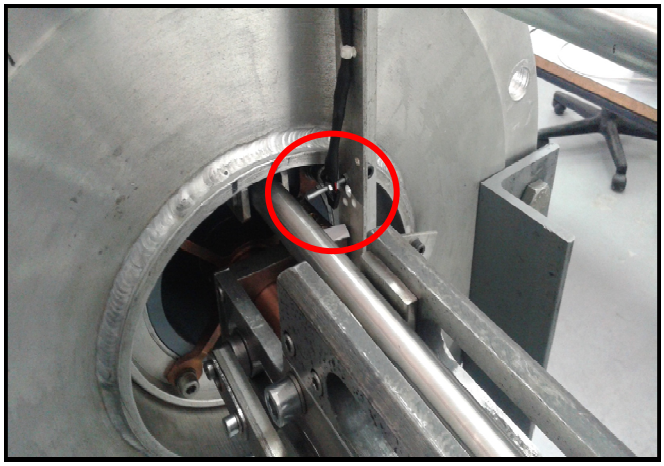
Mjerni sistem je implementiran na realnom prototipu 420kV 63kA MOP prekidača. Provedeno je nekoliko ciklusa ispitivanja. Dobiveni rezultati mjerenja su već upotrijebljeni u cilju poboljšanja mehaničkog modela navedenog prekidača. U okviru ovog poglavlja su predstavljena dva primjera eksploatacije realiziranog mjernog sistema.

Prvi primjer je snimanje više hodograma u *off-line* ispitivanjima modela VN prekidača. Kada je ispitni objekat, u ovom slučaju 420kV 63kA MOP prekidač, spreman za jednu od manipulacija, pritiskom na kontrolu Start (slika 9, EB measurement system control) daje nalog za pokretanje mjerenja, a istovremeno se mjere signali sa aktivnih senzora. Prikazivanje izmjerenih dijagrama se vrši odabirom opcije *Analysis* iz glavne alatne trake. Na slici 10 je dat primjer mjerenja hodograma koristeći tri linearna enkodera i dva rotaciona enkodera. Prikazani dijagrami su dobiveni nakon postprocesiranja, te su prilagođeni za uporedne analize. Visoka frekvenca sempliranja, te 16bit rezolucija osigurava kvalitet dobijenih dijagrama, a samim tim i analize koja se provodi. Važno je napomenuti da softver pored prikaza izmjerenih veličina ima mogućnost preračunavanja brzine i ubrzanja mjerenog hoda. Kako je softver za upravljanje mjernim sistemom integriran u softver kojim se simulira rad VN prekidača, moguće je provesti usporednu analizu mjerenja hodograma i simulacijskog modela VN prekidača. Rezultati mjerenja prikazani na slici 10 ukazuju da kod provedene operacije nije došlo do narušavanja mehaničkih karakteristika ispitnog modela.



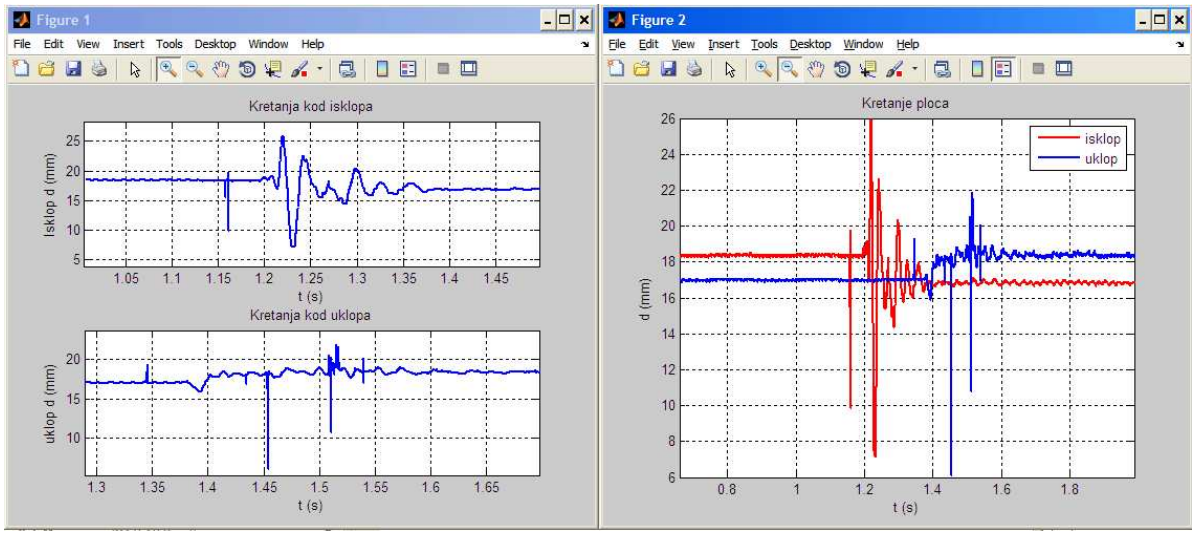
Slika 10. Primjer mjerenja istovremeno više hodograma u kinematskom lancu 420kV 63kA MOP prekidača

Drugi primjer implementacije je korištenje optoelektroničkog senzora u cilju mjerenja i identifikacije neželjenih mehaničkih kretanja dijelova sklopnog elementa prototipa 420kV 63kA MOP prekidača. Tokom ispitivanja je ustanovljen problem nedozvoljenog vertikalnog pomjeranja nosača muškog lučnog kontakta prilikom operacije isklopa, slika 11.



Slika 11. Implementacija OPTO senzora

Koristeći optoelektronički senzor, provedena su mjerenja , čiji su rezultati prikazani na slici 12. Ova mjerenja nisu postprocesirana i u sebi sadrže uticaj šuma i drugih smetnji. Mjerenja i njihova analiza pokazuju da su mehaničke oscilacije kod isklopa značajno izraženije u odnosu na operaciju uklopa. Navedeno je na osnovu konstrukcije razmatranog elementa fizikalno objašnjeno. Na osnovu provedenih ispitivanja, koje su identificirale problem, izvršena je modifikacija postojećeg dizajna, te su izvršene simulacije i proračuni očekivanih mehaničkih oscilacija. Nakon poboljšanja dizajna, provedena su dodatna mjerenja, koja su potvrdila da su neželjene mehaničke oscilacije svedene na minimum, odnosno u opseg dozvoljenih granica. Postavljenjem ukručivaća problem je uspješno prevaziđen. Navedeni pristup je značajno ubrzao proces dizajna VN prekidača.



Slika 12. Primjer implementacije optoelektroničkog senzora kod identifikacije neželjenih mehaničkih kretanja pojedinih dijelova prototipa 420kV 63kA MOP prekidača

Prethodna dva primjera eskploatacije predstavljaju samo jedan mali dio implementacije realiziranog mjernog sistema na prototipu 420kV 63kA MOP prekidača. Na osnovu analiza rezultata mjerenja su uspješno identificirane i otklonjene i mnoge druge slabosti i nedostaci početnog dizajna ispitivanog VN prekidača.

5. ZAKLJUČAK

U okviru rada je prezentiran mjerni sistem za istovremeno mjerenje više hodograma u kinematskom lancu VN prekidača. Tehnički uvjeti koji su postavljeni pred mjerni sistem su realizirani kroz hardversku i softversku strukturu. Proces poboljšanja i unapređenja dizajna promatranog 420kV 63kA MOP prekidača je još uvijek u toku. Pri tome ključnu ulogu igra razvijeni mjerni sistem. Uočene su određene prednosti i nedostaci mjernog sistema, koje su date u nastavku.

Prednosti:

- Upravljanje mjernim sistemom pomoću računara,
- Istovremeno sinhronizirano mjerenje više hodograma i mogućnost priključenja više senzora i aktuatora,
- Automatsko generisanje izvještaja i usporedna analiza sa simulacijskim modelima,
- Jednostavan dizajn mjernog sistema i jednostavan princip održavanja,
- Mogućnost priklllučenja do 16 senzora sa analognim ulazima.

Nedostaci:

- Dimenzije mjernog sistema;
- Napajanje špula AC naponom iz regulacionog transformatora, ispravljenog preko Greatz spoja i kondenzatora (prisutna određena valovitost u DC naponu);
- Sistem je prevashodno namijenjen samo za laboratorijska ispitivanja, tako da posjeduje samo jedan senzor za mjerenje razdvajanja kontakata;
- Mjerni sistem nema back-up napajanje (UPS);
- Integracija novog senzora zahtijeva određene promjene u softverskoj strukturi mjernog sistema.

U budućnosti se planira proširenje mjernog sistema, odnosno integracija novih senzora i aktuatora. Prvi korak je mjerenje pritiska na više lokacija u prekidnoj komori VN prekidača. Ovaj segment je u fazi realizacije i prva laboratorijska ispitivanja senzora pritiska su provedena. Jedan od sljedećih koraka je integracija ultrabrze kamere koja treba biti sinhronizirana sa mjerenjima hodograma i drugim senzorima. Implementacija akustike (mikrofon kao senzor) u dijagnostici danas predstavlja značajan napredak. Jedna od ideja jeste i implementacija akustičkih senzora u cilju dijagnosticiranja stanja mehaničkih i električkih komponenti VN prekidača.

LITERATURA

[1] Mirsad Kapetnović: Visokonaponski prekidači, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, 2002.
[2] Mirsad Kapetnović: High voltage circuit breakers, Faculty of Electrical Engineering in Sarajevo, 2011.
[3] EnergoBos ILJIN d.o.o. Sarajevo: Projektna dokumentacija, Ispitivanje pouzdanosti IDM mehanizma na prototipu 420kV 63kA MOP prekidača, 2015.
[4] MC Measurement Computing Corporation: User's Guide, PCI-DAS6014, Analog and Digital I/O, 2009.
[5] EnergoBos ILJIN d.o.o. Sarajevo: Tehnička dokumentacija za EB mjerni sistem, ver. 1.0.0, 2015.
[6] Siedle Group - Novotechnik: User manual, Position transducers up to 3000mm - THL Series, 2015.
[7] Emeta Encoders: User manual, MA300 - Heavy duty incremental encoder ϕ58, 2015.
[8] LPCXpresso Board LPC1549: User manual,Rev. 1.1 — 3 March 2014
[9] Optek Technology, Inc.: Product Bulletin, Reflective Object Sensor, Type OPB701AL, 1996.