

ISPITIVANJE CENTRALIZOVANE ZAŠTITE POSTROJENJA SA TRIDESET ĆELIJA KORIŠĆENJEM SIMULATORA U REALNOM VREMENU

TESTING OF CENTRALIZED PROTECTION OF HIGH VOLTAGE SUBSTATION WITH THIRTY BAYS USING A REAL-TIME SIMULATOR

Milica VLAISAVLJEVIĆ, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija

Zoran STOJANOVIĆ, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija

Simiša SIMIĆ, Tajfun HIL doo, Republika Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Intenzivan tehnološki razvoj računarskih mreža doveo je do velikog pomaka u performansama sekundarne opreme visokonaponskih transformatorskih stanica. Sistem za automatizaciju visokonaponskih transformatorskih stanica podrazumeva upotrebu više inteligentnih elektronskih uređaja. Upotrebom inteligentnih elektronskih uređaja javila se i potreba za efikasnom komunikacijom između njih, a posebno za upotrebom standardnih protokola koje je definisao standard IEC 61850. Današnji inteligentni elektronski uređaji ne vrše komunikaciju samo razmenom GOOSE i MMS poruka, već i razmenom merenih napona i struja u formi digitalizovanih odbiraka signala. Ovakav vid komunikacije omogućava ispitivanja zaštite na nivou cele transformatorske stanice. U radu je prikazan primer ispitivanja osetljivosti i selektivnosti centralizovane zaštite pomoću matematičkog modela postrojenja sa trideset ćelija, koji se izvršava u realnom vremenu. Inovativni način ispitivanja visokonaponskih transformatorskih stanica, uvažavanjem dinamičkih pojava i nelinearnosti u sistemu, omogućava simultano ispitivanje više zaštitnih uređaja i proveru selektivnosti, ali i osetljivosti celog zaštitnog sistema. Ispitivanje je bezbedno i bez fizičkog dovođenja napona i struja, kao i bez prekida pogona transformatorske stanice.

Ključne reči: Digitalna transformatorska stanica, GOOSE, SMV, HIL, centralizovana zaštita

ABSTRACT

Intensive technological development of of computer networks has led to a great shift in the performance of secondary equipment of high-voltage substations. The system for the automation of high-voltage substations implies the use of more intelligent electronic devices. With the use of intelligent electronic devices, there was a need for efficient communication between them, especially for the use of standard protocols defined by the IEC 61850 standard. Today's intelligent electronic devices do not communicate only by exchanging GOOSE and MMS messages, but also by exchanging measured voltages and currents in the form of digitized signal samples. This type of communication leads to the possibility of testing protection at the level of the entire substation. The paper presents an example of testing the sensitivity and selectivity of centralized protection using a mathematical model of a substation with thirty outputs, which is executed in real time. The innovative way of testing high-voltage substations, taking into account dynamic phenomena and nonlinearities in the system, enables simultaneous testing of several protective devices and checking the selectivity, but also the sensitivity of the entire protective system. The test is safe and without the physical supply of voltage and current, as well as without interrupting the operation of the substation.

Key words: Digital substation, GOOSE, SMV, HIL, centralized protection

Milica Vlajsavljević - milica.vlajsavljevic97@gmail.com,

Zoran Stojanović - stojanovic@etf.rs,

Simiša Simić - simisa.simic@typhoon-hil.com

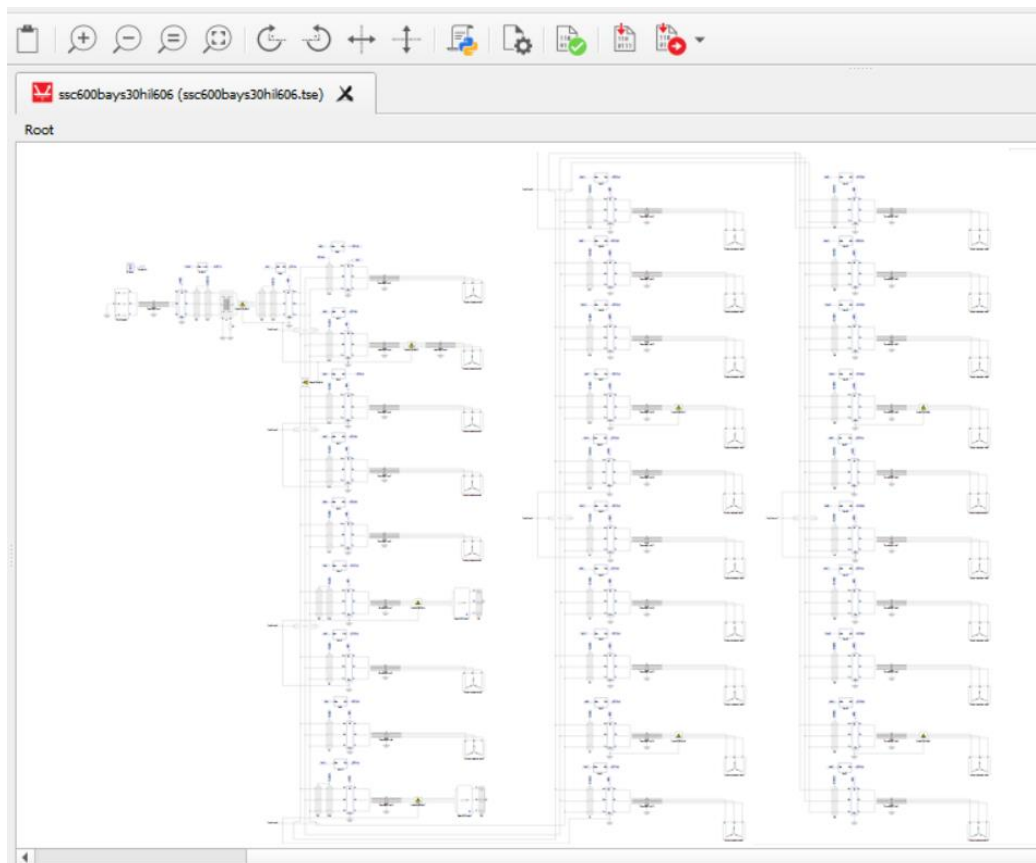
1. UVOD

Tradicionalni elektroenergetski sistem podrazumeva protok energije u jednom smeru, od proizvodnje, preko prenosa do distribucije i krajnje tačke - potrošača. Transformacija tradicionalnog elektroenergetskog sistema je počela i dešava se u velikim razmerama za veoma kratko vreme. Protok energije više nije tako jednostavno opisati, jer npr. u svakom trenutku neko od potrošača može postati i proizvođač. Ove dinamičke promene ne može u potpunosti pratiti način zaštite koji je razvijan za tradicionalan energetska sistem, jer da bi energetska sistem funkcionisao pouzdano za svaku promenu bi bilo potrebno ili redizajnirati sistem zaštite ili potpuno zameniti neke od uređaja koji čine postojeću zaštitu. Sve ovo iziskuje vreme, ali i pravi veliki prostor greškama koje nastaju ljudskim faktorom. Standard IEC 61850 je zasnovan na modelu podataka, sa definisanim funkcijama, koje ne zavise od primenjenih uređaja ili internog rešenja svakog od njih. Stoga, omogućava da se ovaj budući neizbežni scenario adekvatno reši, tako što će se rešenja sa različitim tehnologijama međusobno povezati i kontrolisati od strane sistema zaštite koji će razumeti postojeće funkcije i informacije. [1]

Ideja o digitalizaciji visokonaponskih postrojenja je predstavljenja još sa pojavom standarda IEC 61850. Razvoj IEC 61850 imao je za jedan od ciljeva definisanje formata fajla koji opisuje komponente trafostanice i sistema zaštite i automatizacije na način koji omogućava da se većina inženjerskih zadataka obavlja automatski. [2] Digitalizacija visokonaponskih postrojenja je nova grana u energetici i shodno tome ne postoji veliko iskustvo u njenoj primeni. Iz tog razloga potrebno je naći adekvatno rešenje za testiranje postojećih, ali i razvoj budućih digitalnih transformatorskih stanica. U ovom radu predstavljen je novi pristup u testiranju relejne zaštite, zasnovan na matematičkom modelu transformatorske stanice, koji uz upotrebu HIL simulatora generiše dovoljan broj informacija u realnom vremenu da oponaša rad realne transformatorske stanice.

2. MATEMATIČKI MODEL VISOKONAPONSKOG POSTROJENJA

Fizički sistemi koji okružuju čoveka se mogu “prevesti” na jezik matematike. “Prevod” podrazumeva opisivanje posmatranog fizičkog sistema matematičkim jednačinama, koje u kombinaciji sa upotrebom računara za njihov numerički proračun čine veoma moćan inženjerski alat, tzv. matematički model. U ovom radu posmatrani fizički sistem je visokonaponsko postrojenje sa trideset ćelija, za koje je formiran matematički model u HIL-u, prikazan na slici 1.

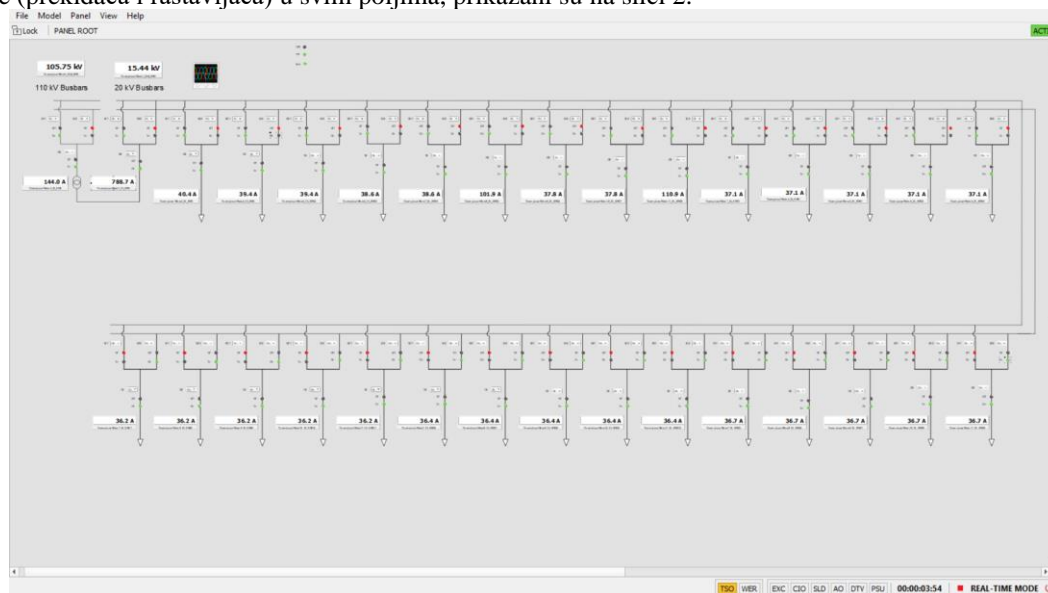


Slika 1 - Matematički model visokonaponskog postrojenja u HIL-u

Visokonaponska ćelija sastoji se iz izvora i 110 kV dalekovoda, koji je povezana na primar tj. na visokonaponski deo energetskog transformatora. Sekundar energetskog transformatora povezan je na srednjenaponske sabirnice postrojenja. Svaki od dvadeset devet srednjenaponskih ćelija čine srednjenaponski vodovi sa prekidačima. Ćelije 7 i 10 su aktivne ćelije, njima je sumulirana disitriburiana proizvodnja. U razvijenom modelu postoji 8 pozicija na kojima se mogu aktivirati različite vrste kvarova. Te pozicije su: sekundar energetskog transfrmatora, srednjenaponske sabirnice, ćelije 3, 7, 10, 14, 19, 24 i 29. Kvar na transformatoru nije aktiviran u ovom radu. Kvarovima na izvodima i sabircama može se ispitati osetljivost i selektivnost zaštite na nivou transformatorske stanice. HIL simulator oponaša funkcionisanje visokonaponskog postrojenja u realnom vremenu i generiše potrebne poruke za komunikacijsku strukturu. Generisane poruke su simulacija onih koje bi bile generisane u realnom postrojenju.

Pomoću HIL-a moguće je poslati statuse rastavljača i prekidača, koji su deo projektovanog matematičkog modela, GOOSE porukama ka uređaju centralizovane zaštite. Takođe, HIL može da komunicira i u suprotnom smeru, tj. da prima GOOSE poruke komande rastavljača i prekidača sa uređaja centralizovane zaštite. HIL generiše u realnom vremenu strimove napona i struja (Sampled Measured Values - SMV) sa svih izvoda ka uređaju centralizovane zaštite postrojenja, ali i prihvata komande koje centralizovana zaštita šalje nazad i izvršava radnje uklopa i isklopa. [4]

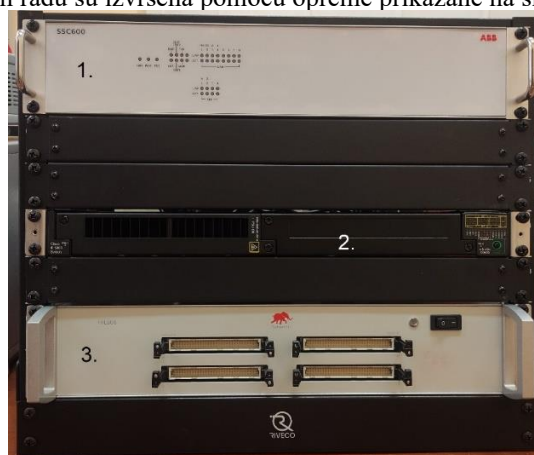
Vrednosti merenih struja i napona iz matematičkog modela pre simulacije kvarova, kao i statusi rasklopne opreme (prekidača i rastavljača) u svim poljima, prikazani su na slici 2.



Slika 2 - Vrednosti merenih struja i napona iz matematičkog modela pre simulacije kvarova

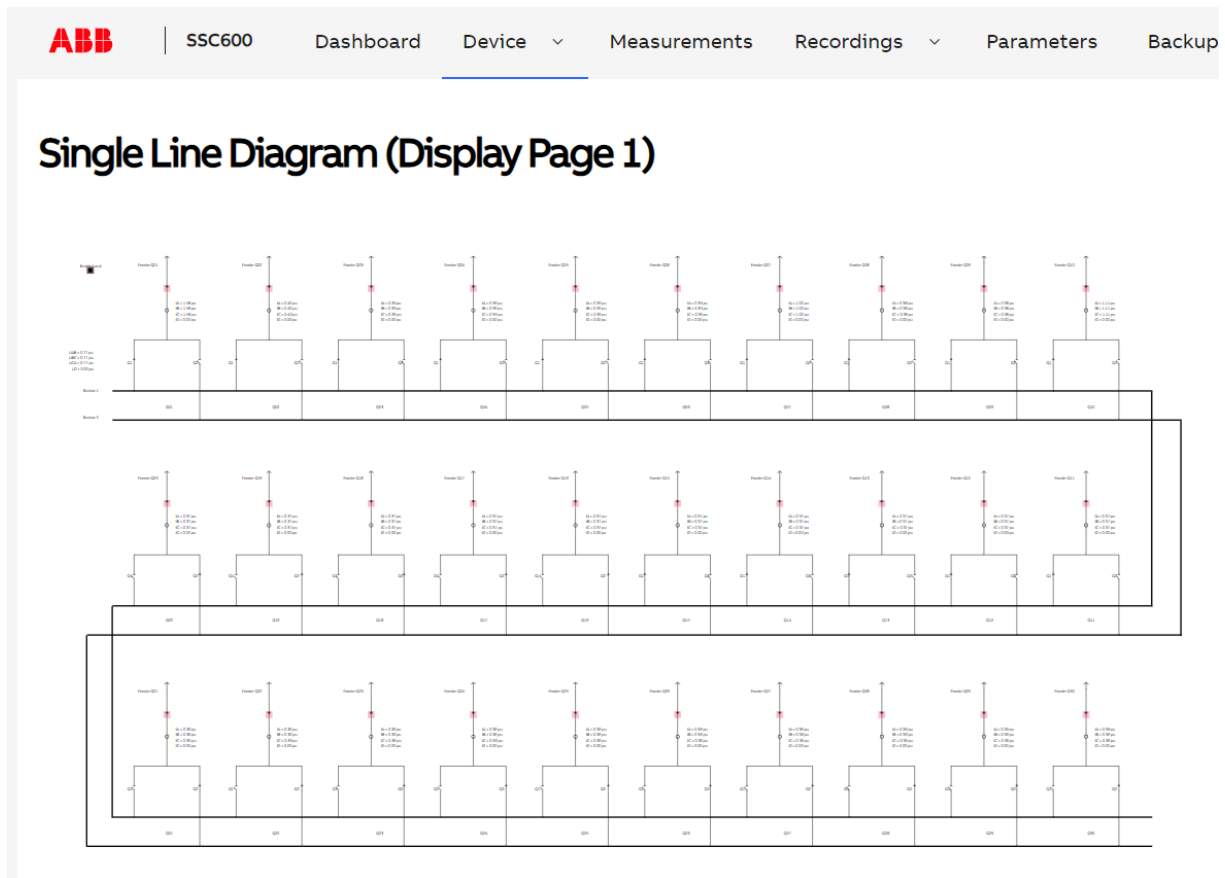
3. REZULTATI ISPITIVANJA

Ispitivanja predstavljen u ovom radu su izvršena pomoću opreme prikazane na slici 3.



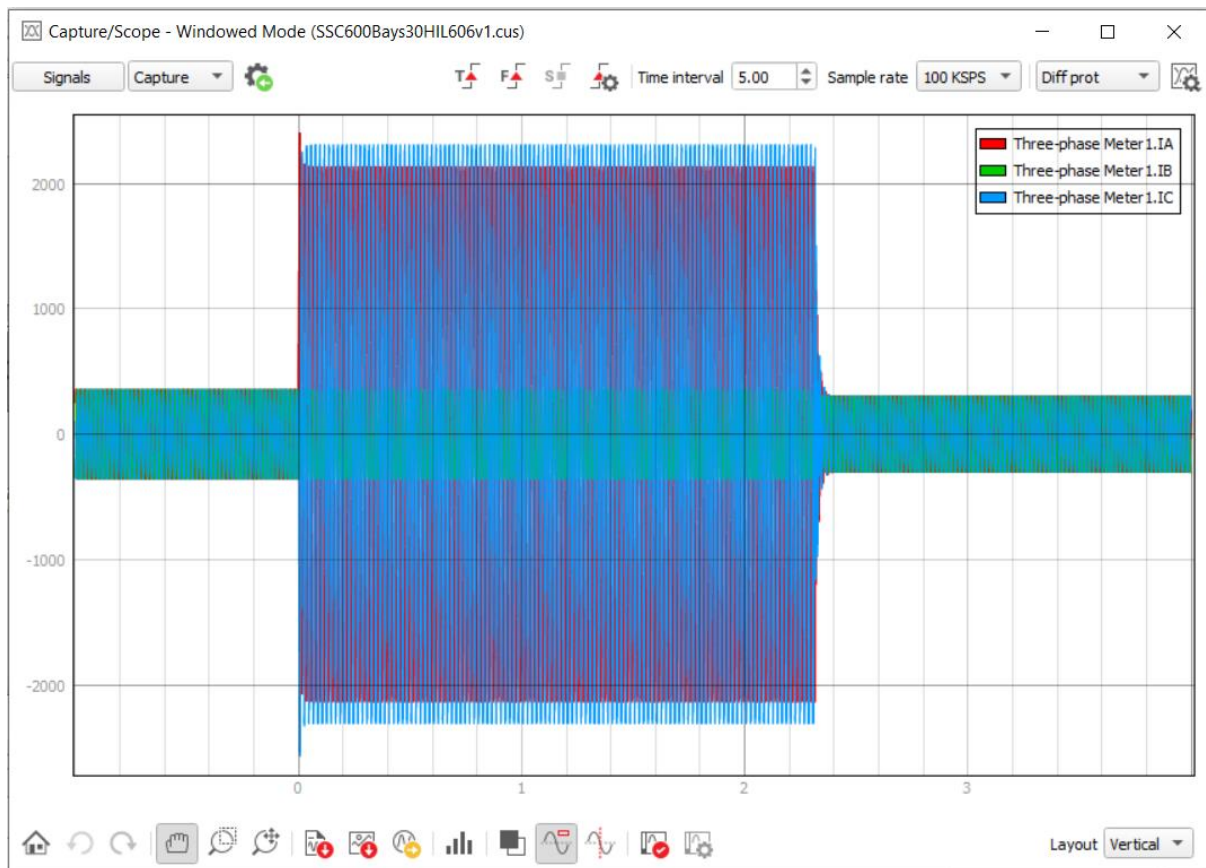
Slika 3 - Laboratorijska postavka ispitivanja
(1. SSC600 centralizovana zaštita, 2. Switch, 3. HIL uređaj)

Jednopolna šema postrojenja sa trideset ćelija viđena sa strane centralizovane zaštite SSC600 prikazana na slici 4.



Slika 4 - Jednopolna šema postrojenja sa trideset ćelija - prikaz sa centralizovane zaštite

Ispitivanja su izvršena tako što su aktivirani kvarovi na odgovarajućim pozicijama u matematičkom modelu, a potom su analizirani talasni oblici struja pre kvara i nakon njega. Prvo je izvršeno ispitivanje prekostrujne zaštite sa inverznom karakteristikom na izvodu 2, podešena je da reaguje pri pojavi struje koja je veća od nominalne. Aktiviran je međufazni kvar na izvodu 2 između faza A i C. Zaštita je odreagovala nakon pojave prekomerne struje i isključila prekidač u izvodu 2. Na slici 5 su prikazani talasni oblici struja sve tri faze i vreme trajanja kvara i reagovanja zaštite.



Slika 5 - Talasni oblici struja, vreme trajanja kvara i reagovanja prekostrujne zaštite sa inverznom karakteristikom na izvodu 2

Za prekostrujne zaštite sa inverznom karakteristikom standard IEC 60255 omogućava proračun teorijskog vremena reagovanja. Proračun teorijskog vremena se vrši pomoću formule:

$$t(I) = TMS \left(\frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \right) \quad (1)$$

TMS (time multiplier setting) – konstanta čija je vrednost pri vršenju ispitivanju podešena na 1

k – konstanta čija je vrednost za normalnu inverznu karakteristiku 0,14 prema standardu IEC 60255

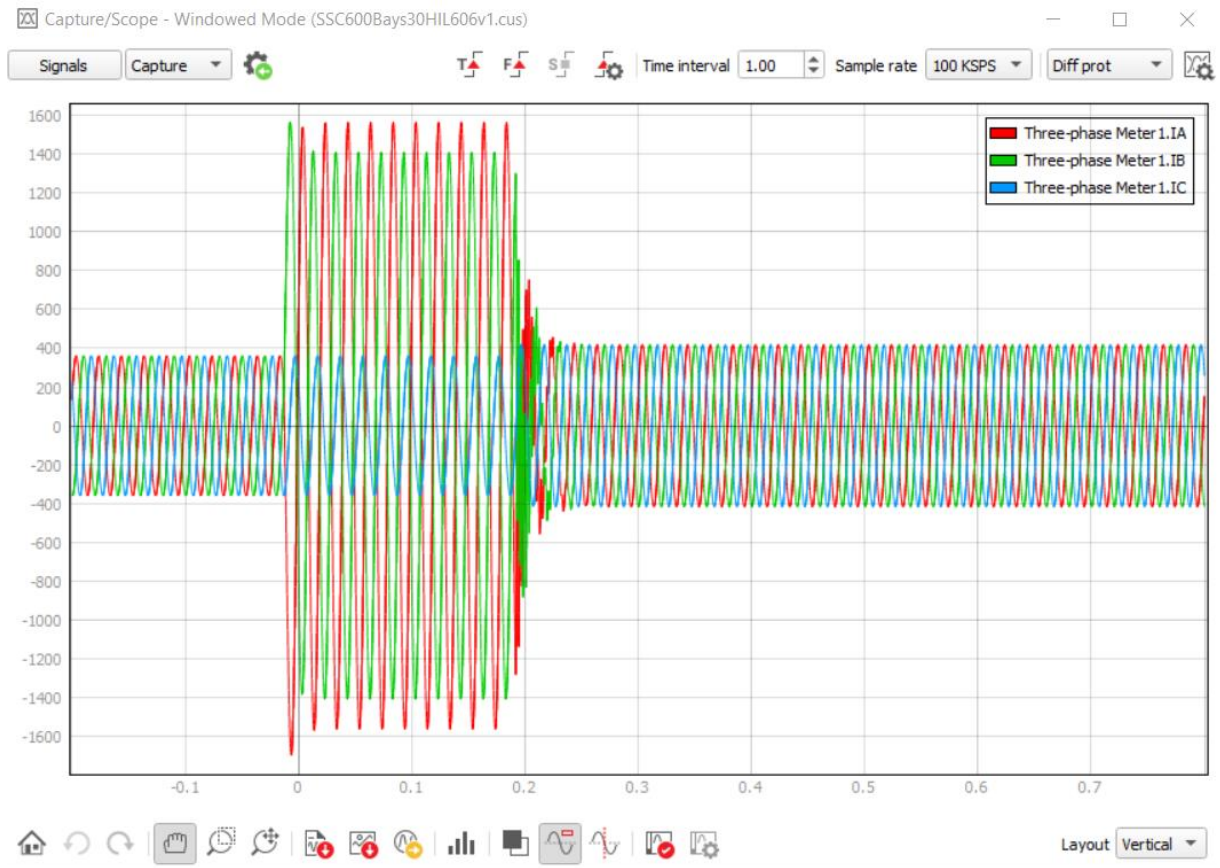
I – struja kvara (izmerena u toku kvara 1870 A)

I_s – nominalna vrednost struje (pre kvara je 100 A)

α – konstanta čija je vrednost za normalnu inverznu karakteristiku 0,02 prema standardu IEC 60255

Proračunom teorijskog vremena primenom (1), dobija se vrednost 2,32 s. Sa slike 5 se može uočiti da je vreme trajanja kvara u ispitivanju približno jednaka proračunatom teorijskom vremenu.

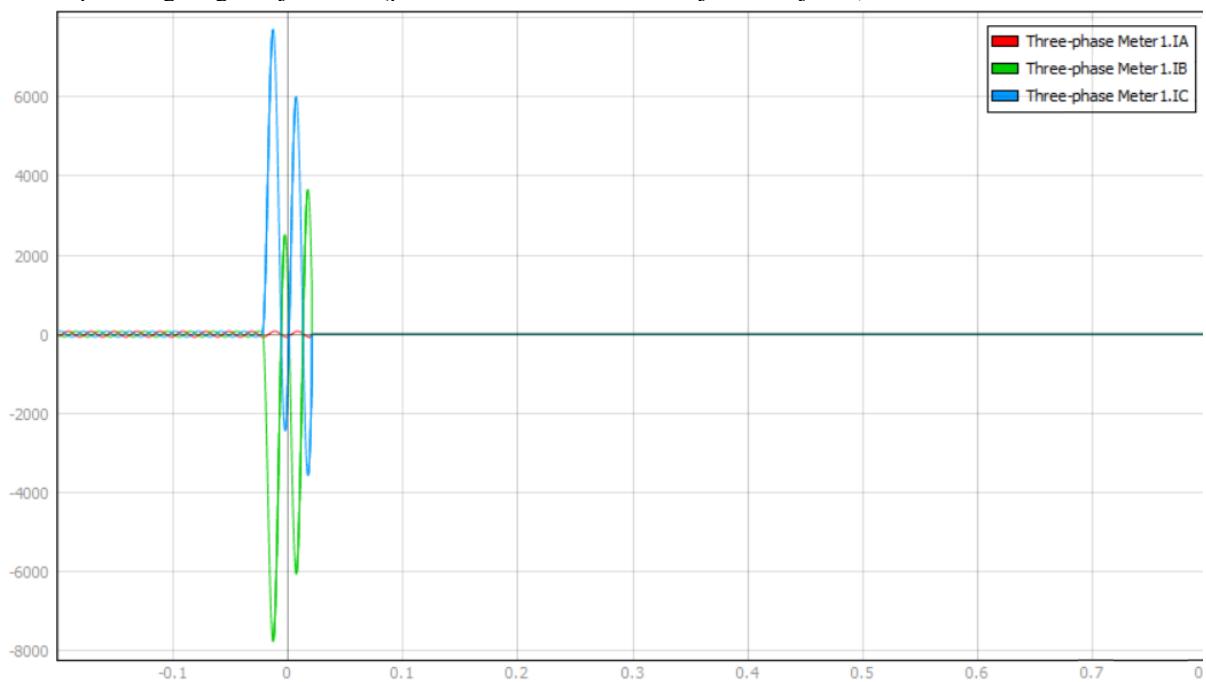
Naredno ispitivanje je izvršeno na usmerenoj prekostrujnoj zaštiti na izvodu 9 koji je aktivan, sa distribuiranom proizvodnjom. Parametri zaštite podešeni su na struje veće od pet nominalnih struja u trajanju od 0,2 s. Aktiviranjem međufaznog kvara u izvodu 9 između faza A i B, zaštita je odreagovala tako što je isključila prekidač 9. Uticaj reagovanja zaštite na talasne oblike struja prikazan je na slici 6.



Slika 6 - Talasni oblici struja, vreme trajanja kvara i reagovanja usmerene prekostrujna zaštite u izvodu 9

Isto ispitivanje je ponovljeno sa promenjenim usmerenjem prekostrujne zaštite. Tokom ovog ispitivanja zaštita nije odreagovala, što je i očekivano.

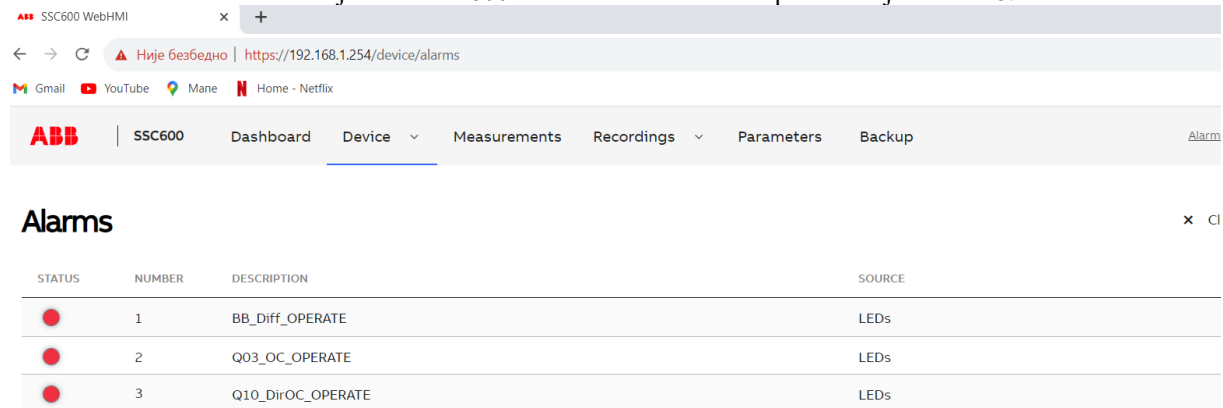
U poslednjem testu ispitana je diferencijalna zaštita sabirnica, čiji su rezultati prikazani na slici 7. Napravljen je međufazni kvar na sabirnicama između faza B i C, te je zaštita ponovo iskllopila prekidače u ćelijama 1, 7 i 10, posle sopstvenog reagovanja zaštite (podešeno vremensko zatezanje zaštite je 0 s)



Slika 7 - Talasni oblici struja, vreme trajanja kvara i reagovanja diferencijalne zaštite sabirnica

Isto ispitivanje je izvršeno i sa kvarom koji je izazvan između faza A i C na izvodu 2. U ovom ispitivanju diferencijalna zaštita nije reagovala, jer je kvar bio van zone zaštite, čime je potvrđena selektivnost diferencijalne zaštite sabirnica

Lista alarma na centralizovanoj zaštiti SSC600 nakon izvršenih testova prikazana je na slici 8.



STATUS	NUMBER	DESCRIPTION	SOURCE
●	1	BB_Diff_OPERATE	LEDs
●	2	Q03_OC_OPERATE	LEDs
●	3	Q10_DirOC_OPERATE	LEDs

Slika 8 - Lista alarma na centralizovanoj zaštiti SSC600

4. ZAKLJUČAK

Pouzdanost elektrodistributivne mreže oslikava se u kontinualanom snabdevanju korisnika električnom energijom. Ispitivanje i kontrola reagovanja zaštita zahteva planirane prekide isporuke električne energije. Pomenuta ispitivanja su neophodna kako bi povećali kvalitet isporuke električne energije, a shodno tome i pouzdanost cele elektrodistributivne mreže.

U radu je prikazano rešenje koje može služiti kao alat pomoću kog je moguće izvršiti analizu i koordinaciju sistema upravljanja i zaštite, ali i pomoću kog je moguće vršiti analize različitih događaja i vršiti testiranja. Većina zadataka koji su danas neophodni za izvršiti, kako bi sistemi zaštite i upravljanja bili pouzdani i ispitani zahtevaju odlazak na teren i prekid isporuke električne energije. Primenom rešenja predstavljenim u ovom radu moguće je simulirati sve vrste kvarova na bezbedan način, jer se ispitivanja vrše u potpunosti pomoću računara. Upotrebom dve centralizovane zaštite, koje rade redundantno, moguće je ispitati zaštitu transformatorske stanice bez prekida pogona.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansijski podržalo Ministarstvo za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije po ugovoru broj: 451-03-65/2024-03/200103.

LITERATURA

- [1] „CIGRE Green Book.: Electricity Supply Systems of the Future”. CIGRE Technical Council, Springer Nature, Switzerland AG, 2020
- [2] A. P. Apostolov, „IEC 61850 Based Engineering of Protection Systems“, Actual Trends in Development of Power System Protection and Automation Yekaterinburg, 2013
- [3] D. Lawson, G. Marion, „An Introduction to Mathematical Modelling“, 2008
- [4] ABB SSC600 - Smart Substation Control and Protection