



ANALIZA PROPADA NAPONA U POJEDINIM TAČKAMA PRENOSNE MREŽE SRBIJE

ANALYSIS OF VOLTAGE SAGS IN CERTAIN POINTS OF THE TRANSMISSION NETWORK OF SERBIA

Miron Hrubenja, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu se razmatraju propadi napona prilikom simulacije kvara na različitim udaljenostima. Rezultate simulacije upoređujemo sa rezultatima realnih merenja. Cilj je da se rezultati simulacije na približno istoj udaljenosti mesta kvara kao i u realnom sistemu što manje razlikuju od merenja u realnom sistemu. Razmatranja su izvršena na osnovu realnih snimaka uređajem mikroprocesorske zaštite SIPROTEC 47SA611, dok su rezultati simulacije dobijeni na osnovu modela dalekovoda modelovanog u programskom paketu MATLAB.

Ključne reči: propadi napona, prenosna mreža, monitoring, dalekovodi

Abstract – In this paper voltage sags during fault simulation at different distances are considered. We compare the simulation results with the results of real measurements. The goal is to make the simulation results at approximately the same distance from the fault location as in the real system as different as possible from the measurements in the real system. The considerations were performed on the basis of real measurements with the microprocessor protection device SIPROTEC 47SA611, while the simulation results were obtained on the basis of the transmission line model modeled in the MATLAB software package.

Keywords: voltage sags, transmission network, monitoring, transmission lines

1. UVOD

Kratkotrajna podnaposka stanja nazivaju se propadi napona. Ona predstavljaju sniženje napona, odnosno smanjenje njegove efektivne vrednosti praćeno naponom oporavka nakon kratkog vremenskog perioda. U IEEE standardu 1159-1995, izraz „propad napona“ (engl. „voltage sag“ ili „voltage dip“) je definisan kao pad napona efektivne vrednosti na vrednosti između 0,1 do 0,9 r.j. u trajanju od 0,5 ciklusa do 1 min.

Pad napona tokom propada može biti usled kratkog spoja koji je prisutan u sistemu. U trenutku kada zaštitni sistem otkloni kvar kratkog spoja, napon počinje da se vraća na prvobitnu (nazivnu) vrednost [1]. U distributivnoj mreži

uzroci propada, pored kvarova (kratkih spojeva), mogu biti i stavljanje pod napon velikih transformatora, kao i pokretanje (ili rasterećenje) velikih potrošača.

Trajanje propada se određuje sa vremenom otklanjanja kvarova. Kvarovi u prenosnim sistemima se obično brže uklanjaju od kvarova u distributivnim sistemima.

U prenosnim sistemima je vreme kritičnog uklanjanja kvarova prilično malo.

Takođe, prenosni sistemi normalno rade kao mreža, zahtevajući zaštitu na daljinu ili diferencijalnu zaštitu, koja omogućava brzo ukljanjanje kvara [2].

2. PROPADI NAPONA U PRENOSNIM MREŽAMA

Jednofazno okidanje se najčešće koristi u prenosnim sistemima za održavanje sinhronosti između obe strane dalekovoda. Jednofazno okidanje retko se koristi u distribuciji ili niskonaponskim sistemima.

Struja greške i dalje teče preko neispravne struje faze. To smanjuje šansu da se greška ugasi i na taj način povećava broj pokušaja prikrivanja i broj dugih prekida. Ali ako je APU uspešno, jednofazno okidanje ima jasne prednosti u odnosu na trofazno okidanje [2].

Jednom kada se kvar ukloni, normalno stanje se vraća što je pre moguće. Stalni kvarovi kratkog spoja moraju otkloniti uzroke kvarova. Stoga, pronalaženje lokacije trajnih kvarova neophodno je da bi se uklonio uzrok kvara i ponovo pokrenulo napajanje mreže.

Problem sa kvarom obično je povezan sa dalekovodom za koji su terminalna merenja dostupna.

U ovom slučaju, cilj merenja je pronaći tačnu lokaciju greške. Zadržani napon tokom greške daje jačinu pada napona. Zavisno od tipa kvara koji uzrokuje propad, napon tokom događaja može biti jednak ili različit u tri faze.

Prema simetričnoj klasifikaciji komponenti dve vrste prepoznaju se simetrična i nesimetrična naprezanja. Trofazni kvar izaziva uravnoteženi pad napona što znači da su fazni naponi tokom greške jednaki u sve tri faze.

Za ove vrste naponskih padova postoji samo jedan fazni napon potreban za karakterizaciju veličine i faznog ugla pada.

Nesimetrična greška može prouzrokovati propade napona sa glavnim padom u jednoj ili dve faze. Jednačine za napon tokom kvara izvedene su za simetrične i nesimetrične kvarove [2].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Katić, red.prof.

3. MONITORING PROPADA NAPONA

Monitoring propada napona u EES-u može pomoći pri određivanju uzroka poremećaja u sistemu, kao i na primer identifikacija stanja koja su bila pre prekida, poremećaja u sistemu.

Monitoring kvaliteta električne energije predstavlja proces prikupljanja, obrade, analize i interpretacije merenih podataka u svrhu dobijanja nekih korisnih informacija.

Proces prikupljanja podataka vršimo kontinuiranim merenjem napona i struje u određenom vremenskom periodu - intervalu.

Procesi obrade i analize podataka tradicionalno se vrše manuelno. Međutim, rapidan napredak oblasti za prenos i obradu signala, razvitak inteligentnih sistema kao i njihova implementacija nam omogućuje automatsku analizu.

Propade napona možemo okarakterisati dijagramom efektivne vrednosti napona tokom vremena dok se prekid napona može definisati vremenskim periodom [3].

3.1 Merni uređaji

U okviru JPEMS-a već se koriste tri uređaja tipa ELSPEC BLACKBOX SERIJE G4500, slika 3.1. U pitanju su uređaji klase A (CLASS A prema standardu IEC 61000-41-30).



Slika 3.1. Uređaj-ELSPEC BLACKBOX G4500 [6]

Ovakvi uređaji sasvim zadovoljavaju potrebe i tehničke specifikacije za povremeni i/ili kontinualni monitoring kvaliteta napona i struje.

Njihova osnovna prednost je u tome što imaju visoku frekvenciju odabiranja struja i napona tako da nije potrebno definisati nikakve pragove snimanja (eng trigger) već je ulazne veličine moguće beležiti u talasnom obliku a zatim naknadno vršiti odabir željenih rezultata merenja, načine sortiranja, poređenja, itd. [3].

SIPROTEC 4 7SA6 digitalna zaštita na daljinu opremljena je snažnim mikroracunarskim sistemom, slika 3.2. On omogućava potpunu numeričku obradu svih funkcija u uređaju, od dobijanja izmerenih vrednosti do izlaznih komandi na prekidaču.

Dostupnost uređaja uveliko se povećava nadgledanjem unutrašnjeg merenja, sklopova, pomoćnog napajanja, hardvera i softvera.

Nadgledaju se sekundarni krugovi transformatora, struje i naponi transformatora korišćenjem tehnika provere sažimanja i simetrije. Vršiti se nadzor strujnog kruga. Proverava se impedansa opterećenja, izmerenog smera i redosleda faza. Nadgleda se i prenos signala opcionog digitalnog komunikacijskog puta [7].



Monitoring functions

- Trip circuit supervision (74TC)
- Self-supervision of the relay
- Measured-value supervision
- Event logging
- Fault logging
- Oscillographic fault recording
- Switching statistics

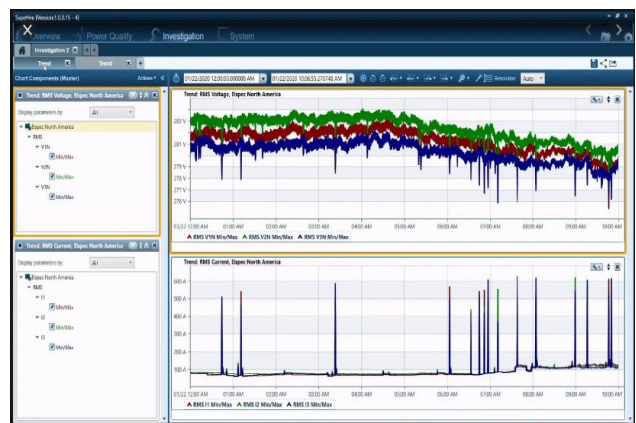
Slika 3.2. Uređaj SIPROTEC 4-7SA6 [7]

3.2. Softveri za snimanje propada napona

PQSCADA Sapphire nabavlja, obrađuje i čuva snimljene podatke sa bilo kojeg uređaja za snimanje kroz različite komunikacijske protokole i formate datoteka.

PQSCADA Sapphire će automatski izračunati i pohraniti približno 5000 parametara snage, uključujući pojedinačne harmonike od stečenih signala talasnog oblika.

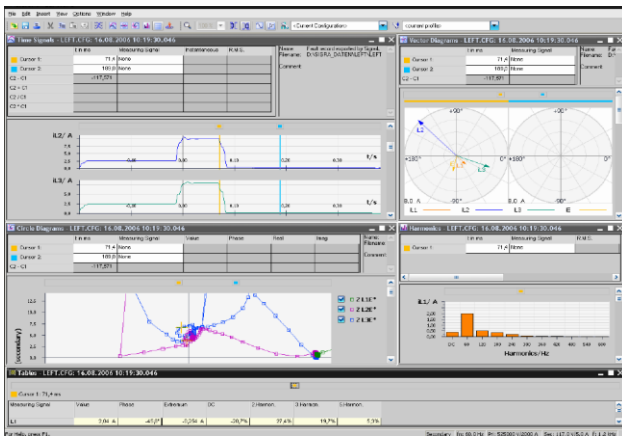
Softver nudi jedinstveni set grafikona i izveštaja koji omogućavaju korisniku da planira, kontroliše i donosi odluke zasnovane na podacima. Omogućava pregled električne mreže i mernih uređaja na geografskoj mapi. Prikuplja komprimovane snimljene neobrađene podatke talasnog oblika koristeći ELSPEC PQZ patentirani protokol [5].



Slika 3.3. Izgled snimka na interfejsu- PQSCADA [5]

SIGRA je aplikacioni program koji podržava analizu događaja grešaka u mreži. Nudi grafički prikaz podataka snimljenih tokom događaja kvara i koristi izmerene vrednosti za izračunavanje dodatnih varijabli, kao što je impedansa, izlazi ili efektivne vrednosti koje olakšavaju analizu zapisa grešaka. Zatim, promenljive mogu da se predstavu u bilo kom od dijagrama prikaza pokazanih na slici 3.4.

Primeri prikaza su vremenski signali ili vektorski dijagrami, dijagram krugova, harmonika, lokacije grešaka, tabele.



Slika 3.4 Snimak kvara-različiti dijagrami i tabele [4]

Možete izabrati da se u raznim prikazima prikažu signali greške. Primarne vrednosti ili sekundarne vrednosti, bez obzira na metodu zapisivanja izmerenih vrednosti u registratoru grešaka. Pored stvarnih signala moguće je prikazati i osnovnu komponentu kao i harmonike svakog signala i na taj način još bolje prepoznati posebne karakteristike signalnih krivih [7].

4. MODELOVANJE I SIMULACIJE

Veliki broj pojava u EES-u su posledica prekidačkih operacija u postrojenjima. Prekidačke operacije mogu biti uzrokovane pojavom kratkog spoja (isključenje kratkog spoja) ili uključenje/isključenje neopterećenih dalekovoda. Pri proračunu prelaznih pojava potrebno je izbor modela dalekovoda prilagoditi vrsti prelazne pojave koja se analizira.

Dalekovodi imaju parametre, koji su po prirodi raspodeljeni, za razliku od transformatora i generatora čiji se parametri mogu smatrati koncentrisanim. EES u uslovima prelaznih stanja može biti podvrgnut napreznjima usled napona i struja koji imaju širok frekvencijski spektar, od pogonske frekvencije do frekvencija reda 100kHz i više. Pri ovakvim frekvencijama parametri dalekovoda i zemlje kao povratnog puta imaju vrednosti koje se menjaju s frekvencijom [9].

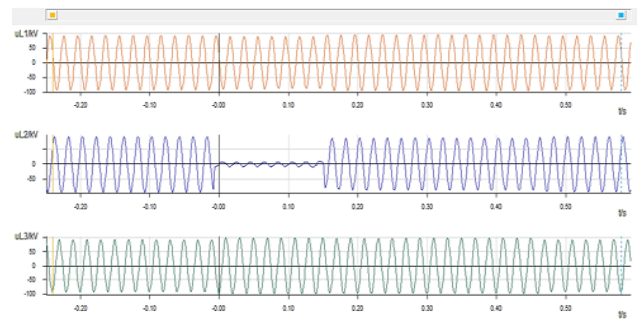
Modelovanje dalekovoda je urađeno uz korišćenje standardnog modela dugačkog voda u prelaznim stanjima, a parametri su dobijeni od EMS-a [9]. Korišćen je Matlab softver, a radi verifikacije modela rezultati simulacija su upoređeni sa rezultatima merenja. Pošto se radi o opšte poznatom modelu, ovde neće biti dat detaljniji opis.

Nisu uzeti u obzir rezultati merenja sa uređaja ELSPEC BLACKBOX G4500 zato što se on nalazi poprilično duboko u mreži i uticaj prenosne mreže i njenih delova je veliki pa se rezultati dosta razlikuju od rezultata dobijenih iz mikroprocesorske zaštite SIPRTOEC 4 7SA611, kao i modela dalekovoda i mesta kvara na dalekovodu, modelovanog u MATLAB-u.

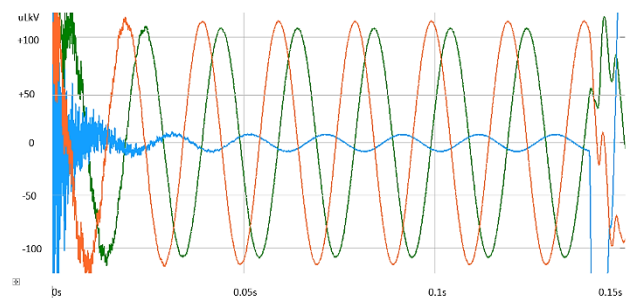
Analiza rezultata vršena je za dva dalekovoda, dok je u prvom redu prikazan samo jedan dalekovod (124/4) jer nema značajnijih razlika između dva dalekovoda.

- 124/4 na pravcu između trafostanice Sremska Mitrovica 1 (110/20kV) i trafostanice Pećinci (110/20kV).

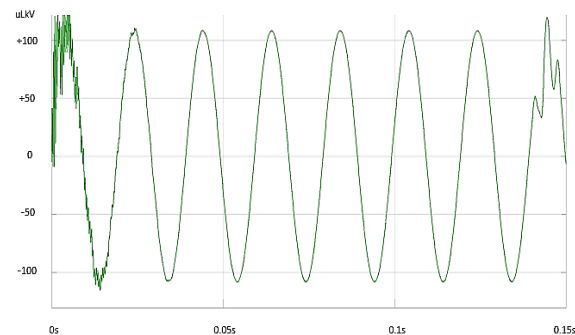
- 124/5 na pravcu između trafostanice Šabac 3 (220/110kV) i trafostanice Pećinci (110/20kV)



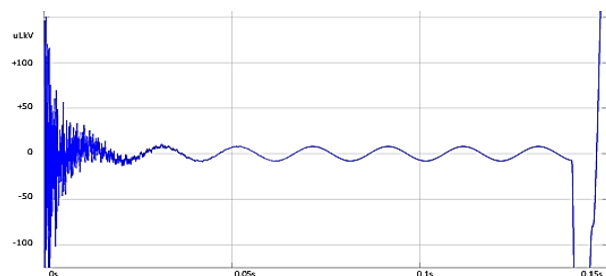
Slika 3.5 Fazni naponi (primarne vrednosti) tokom kvara u fazi L2-MP zaštita



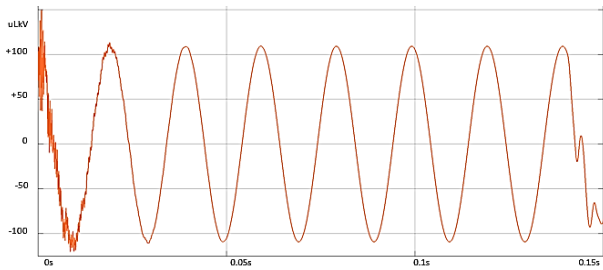
Slika 3.6 Naponi faze L1, L2, L3 tokom kvara u fazi L2 na 0.6km od TS Pećinci – simulacija u Matlabu



Slika 3.7 Napon faze L1 tokom kvara u fazi L2 na 0.6km od TS Pećinci-Matlab



Slika 3.8 Napon faze L2 tokom kvara u fazi L2 na 0.6km od TS Pećinci – simulacija u Matlabu



Slika 3.9 Napon faze L3 tokom kvara u fazi L2 na 0.6km od TS Pećinci - simulacija u Matlabu

Tabela 3.1 Propadi napona na DV 124/4 po udaljenosti do mesta kvara u fazi L2

Uređaj 7SA611 i simulacije u MATLAB-u		7SA611	MATLAB	
L1	0.6km	-3.85%	0.6km	-3.2%
L2		-91.49%		-94.35%
L3		+8.02%		+12.5%
L1	0.6km	-3.85%	15.6km	-5.8%
L2		-91.49%		-75.5%
L3		+8.02%		+11.5%
L1	0.6km	-3.85%	25.6km	-7.8%
L2		-91.49%		-62.5%
L3		+8.02%		+10%

5. ZAKLJUČAK

Problematični propadi napona potiču od kvarova na prenosnoj mreži, odnosno na napojnim dalekovodima 110kV br. 124/4 i 124/5 koji ulaze u TS 110/20kV Pećinci. Korisnik DS Coficab iz Deča, obratio se ED Ruma sa žalbom na kvalitet električne energije (žalba se odnosi na propade napona i kratkotrajne preklade). Problemi na dalekovodima (prolazni kvarovi, uglavnom, ispadi...) su se javili u maju, nastavili u junu, u julu su kulminirali i nastavili se u avgustu. Pogone pokreću elektromotori sa frekventnom regulacijom. Propadi napona na pojedinim linijama prouzrokuju razilaženje električnog vratila, dovode do razlike brzine Δv što dovodi do kidanja provodnika.

Simulacijom kvarova na različitim udaljenostima možemo primetiti propagaciju propada napona kroz deo mreže, dubina propada napona opada sa približavanjem izvoru. Na osnovu dobijenih rezultata simulacije sa različitim udaljenostima mesta kvara od TS Pećinci vidimo da nam se najviše poklapaju rezultati simuliranog kvara na istoj udaljenosti kao i u realnom sistemu (0.6km na oba dalekovoda).

U periodu od maja ove godine do 16.08. na dalekovodu 110kV br. 124/4 bilo je 14 prolaznih kvarova i to: faza „0“ 5 puta, faza „4“ 4 puta i faza „8“ 5 puta. Na

dalekovodu 110kV br. 124/5 koji je bliži deponiji bilo je 22 prolazna kvara i to faza „0“ 3 puta, faza „4“ 12 puta i faza „8“ 7 puta. Najugroženija je faza „4“, gornja faza, ukupno 16 puta na oba dalekovoda.

Operator (EMS AD) je u skladu sa analizom događaja zaključcima postavio mrežni analizator u DVP 110kV br. 124/4 u TS 110/20kV Pećinci 07.08.2018. godine i na mestu primopredaje, odnosno mernom mestu u ZTS 20/0,4 kV Coficab u Deču. [8]

6. LITERATURA

- [1] V. Katić, A. Tokić, T. Konjić „Kvalitet električne energije“, Novi Sad: FTN, 2007.
- [2] Math H.J. Bollen „Understanding power quality problems“,
- [3] „Studija br. 113021: „Monitoring Kvaliteta električne energije I faza“, INT, Beograd, 2014.
- [4] SIEMENS „SIPROTEC, Fault record analysis, SIGRA V4.58-Manual“
- [5] ELSPEC „PQSCADA Sapphire-user manual“
- [6] M. Hrubenja, „Photography“.
- [7] SIEMENS „SIPROTEC, Distance protection 7SA6 V4.61 nad higher“
- [8] „Podaci o izveštaju kvaliteta električne energije kod korisnika DS COFICAB iz Deča“
- [9] Ljupko Teklić „Modeliranje dalekovoda u proračunima prelaznih pojava“, CIGRE, 2011.

Kratka biografija:



Miron Hrubenja rođen je u Novom Sadu 1990. godine. Srednju školu gimnaziju "Svetozar Marković", završio je u Novom Sadu, 2009. godine. Fakultet tehničkih nauka, studijski program Energetika, elektronika i telekomunikacije upisao je školske 2009/2010. godine i diplomirao na osnovnim akademskim studijama 2018. godine. Upisao master akademske studije 2019. godine, smer Elektroenergetika - distribuirani elektroenergetski resursi i diplomirao 2020. godine.



Vladimir Katić je rođen 1954. godine u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. godine. Od 2002. godine je redovni profesor Univerziteta u Novom Sadu. Oblasti interesovanja su energetska elektronika, obnovljivi izvori električne energije, električna vozila i kvalitet električne energije.