

Analiza delovanja zaštite struje zemljospoja na izvodu 10 kV

UROŠ G. JAKŠIĆ, Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska,
Odsek Zvečan, Zvečan

ZORICA S. BOGIĆEVIĆ, Akademija strukovnih studija
kosovsko metohijska, Odsek Zvečan, Zvečan

NENAD A. MARKOVIĆ, Akademija strukovnih studija
kosovsko metohijska, Odsek Uroševac, Leposavić

MILJAN R. MIRKOVIĆ, JP „Elektrokosmet“ Priština,
ED Kosovska Mitrovica, Kosovska Mitrovica

Stručni rad

UDC: 621.316.93

DOI: 10.5937/tehnika2403325J

Za normalno funkcionisanje elektroenergetskog sistema potrebno je obezbediti adekvatnu zaštitu svakog njenog elementa. Deo elektroenergetskog sistema su električne mreže pod čijim će se pojmom prvenstveno podrazumevati vodovi (vazdušni i kablovski). U radu je matematičkim proračunom i merenjem na terenu analizirano delovanje osnovnih zaštita. Zemljospojna zaštita je izazvana na terenu u cilju poređenja sa matematičkim proračunom i donošenja zaključaka o tačnom podešavanju i potpunoj funkcionalnosti relejne zaštite. Zaštita elektroenergetskih mreža predstavlja ključni aspekt za bezbednost i normalni rad elektroenergetskih sistema. Ova analiza uključuje ispitivanja opreme zaštite kroz simulacije događaja zemljospoja, pa je samo testiranje od velikog značaja za nove strategije održavanja elektroenergetskog sistema.

Ključne reči: zemljospojna zaštita, struja zemljospoja, vodovi, relej ISKRA TFP-4091

1. UVOD

Električna energija predstavlja univerzalni vid energije bez kojeg se ne može zamisliti funkcionisanje savremenog društva. Da bi svaki elektroenergetski sistem mogao da funkcioniše potrebno je obezbediti adekvatnu zaštitu svakog elementa elektroenergetskog sistema (generator, transformator, vodovi, motori i elektromotorni pogoni, itd), a takođe i njihovih celina u okviru elektroenergetskog sistema od kvarova, poremećaja radnog stanja. Upravo zaštita celokupnog elektroenergetskog sistema se ostvaruje relejnom zaštitom [1,2].

Svrha relejne zaštite je da reaguje kada nastanu kvarovi, da spreči nastanak sledećeg kvara i da se minimizira šteta koja bi u suprotnom nastala. Od nje se očekuje da bude selektivna, osetljiva, pouzdana, sigurna, ekonomična i da ima veliku brzinu reagovanja.

Adresa autora: Uroš Jakšić, Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, Odsek Zvečan, Zvečan, Nušićeva 6

e-mail: uros.jaksic@akademijakm.edu.rs

Rad primljen: 23.01.2024.

Rad prihvaćen: 29.02.2024.

U 21. veku, ključno je detektovati smetnje u realnom vremenu i automatski sprečiti i otkloniti kvarove na elektroenergetskoj mreži kako bi se efikasno upravljalo elektroenergetskim sistemima. Svestan rizika da i najmanje nepravilnosti u radu mogu prouzrokovati dugotrajne prekide u proizvodnji električne energije, što dovodi do velikih finansijskih gubitaka, elektroenergetski sektor se oslanja na pametne sisteme zaštite releja.

Njihova uloga je da preventivno deluju kako bi sprečili havarije u sistemu i indirektno smanjili operativne troškove i rizike u proizvodnji, prenosu i distribuciji električne energije, smanjujući ih na minimum za krajnje korisnike [3].

U literaturi i tehničkim preporukama se mogu sresti definicije da je relej uređaj koji služi za detekciju nenormalnih pogonskih i radnih stanja i uređaja elektroenergetskih sistema i inicijalizaciju odgovarajućih upravljačkih akcija i obezbeđenje radnog stanja i normalnog pogona kompletnog elektroenergetskog sistema [4, 5]. Uloga releja je da za jako kratko vreme otklone kvarove čije su struje izuzetno visoke. Odlaganje otklanjanja takvih kvarova bi značajno ugrozilo bezbednost, čime bi bila načinjena velika šteta nad opremom.

Stoga je važno redovno proveravati i održavati releje kako bi se osiguralo ispravno funkcionisanje zaštitnog sistema. Takođe, usaglašavanje sa standardima i normama je ključno za efikasnu zaštitu struje zemljospoja u sistemima visokog napona.

U ovom radu je urađeno ispitivanje podešenosti releja uporednom analizom kroz matematički proračun i merenjem na terenu. Aktiviranje zemljospojne zaštite je izazvano kratkim prekidom napajanja (spajanjem jedne faze sa zemljom) na terenu, a sve u cilju provere adekvatnog reagovanja zaštite i donošenja zaključka o istom. Doprinos ovog rada se može videti kod nove strategije podešavanja i održavanja zemljospojnih releja.

2. PRIMER PODEŠAVANJA ZAŠTITE ZA TS 35/10 KV BLINDA VALAČ I ANALIZA STRUJE ZEMLJOSPOJA

Za dimenzionisanje nekog električnog uređaja, za podešavanje zaštitnih uređaja i za analizu električnih fenomena potreban je proračun ili merenje struja i napona u električnim mrežama [6].

Analiza obuhvata primenu jednostavnih metoda simetričnih komponenti za izračunavanje parametara trofazne električne mreže ili instalacije pri poremećajima.

2.1. Proračun struje kratkog spoja

Postrojenje 35 kV. Na osnovu podataka investitora, snaga trolnog kratkog spoja na sabirnicama 35 kV iznosi:

$$S_{K35} = 319 \text{ MVA} \quad (1)$$

Subtranzijentna struja trolnog kratkog spoja iznosi [7]:

$$I''_{k35} = \frac{S_{k35}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{319}{\sqrt{3} \cdot 35} = 5,262 \text{ kA} \quad (2)$$

Udarna struja trolnog kratkog spoja iznosi:

$$I''_{ud35} = \chi \sqrt{2} I''_{k35} = 1,8 \sqrt{2} \cdot 5,262 = 13,39 \text{ kA} \quad (3)$$

gde je:

χ – udarni koeficijent struje kratkog spoja, prema standardu IEC 60909 i zavisi od odnosa R/X

Efektivna struja trolnog kratkog spoja iznosi:

$$I_{ef35} = I''_{k35} \sqrt{m^2 + n^2} = 5,262 \cdot \sqrt{0^2 + 1^2} = 5,262 \text{ kA} \quad (4)$$

gde je:

$m=0$ za $\chi=1,8$ i $T_k=1$ s (trajanje trolnog kratkog spoja),

$n=1$ za $\frac{I''_k}{I_1}=1$ i $T_k=1$ s, sa dijagrama iz priručnika Kaiser [5].

Postrojenje 10 kV. Na osnovu podataka sa 35 kV strane, snaga trolnog kratkog spoja na sabirnicama 10 kV iznosi:

$$S''_{k10} = \frac{S''_{k35} \cdot S_T}{S_T + \frac{u_k}{110} S''_{k35}} = \frac{319 \cdot 4}{4 + \frac{7}{110} \cdot 319} = 53 \text{ MVA} \quad (5)$$

Subtranzijentna struja trolnog kratkog spoja je:

$$I''_{k10} = \frac{S''_{k10}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{53}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3,06 \text{ kA} \quad (6)$$

Udarna struja trolnog kratkog spoja je:

$$I''_{ud10} = \chi \sqrt{2} I''_{k10} = 1,8 \sqrt{2} \cdot 3,06 = 7,789 \text{ kA} \quad (7)$$

Efektivna struja trolnog kratkog spoja je:

$$I_{ef10} = I''_{k10} \sqrt{m^2 + n^2} = 3,06 \cdot \sqrt{0^2 + 1^2} = 3,06 \text{ kA} \quad (8)$$

Električne mreže predstavljaju sistem uzajamno povezanih vodova, transformatorskih stanica i služe za prenos i distribuciju električne energije do potrošača.

Mreža 10 kV radi kao izolovana, a vodovi su mešoviti (kablovski i nadzemni). Zaštita vodova 10 kV podeljena je u dve osnovne grupe i to kao osnovna i rezervna zaštita.

U nastavku je dat opis zaštite koje su korišćene u radu.

Dvofazna prekostrujna zaštita ($I >$) je maksimalna strujna vremenski nezavisna zaštita, nazivne struje 5 A, opsega podešavanja 3-9 A, sa minimalnim vremenskim podešavanjem 0,2-3 s. Zaštita obuhvata nedozvoljena strujna opterećenja i udaljene kratke spojeve.

Dvofazna kratkospojna zaštita ($I >>$) je maksimalna strujna vremenski nezavisna zaštita, nazivne struje 5 A, opsega podešavanja 20-50 A, sa praktično trenutnim delovanjem, a obuhvata kratke spojeve na bližim rastojanjima.

Zemljospojna zaštita ($I_0 >>$) je selektivna usmerena homopolarna zemljospojna zaštita. Strujna grana mernog releja priključuje se na obuhvatni kablovski transformator prenosnog odnosa 50/1 A, a naponska grana na otvoreni trougao namotaja 100/3 V

na tri jednopolno izolovana naponska transformatora postavljena u mernoj ćeliji. Minimalno vremensko podešavanje ove zaštite je 1-3 s.

Rezervna prekostrujna zaštita se posebno ne izvodi. Funkciju rezervne prekostrujne zaštite vrši rezervna prekostrujna zaštita ($RI>$). Rezervna kratkospojna zaštita ostvarena je preko kratkospojne zaštite sabirnica 10 kV. Rezervna zemljospojna zaštita projektovana je kao homopolarna prenaponska zaštita ($U_{0>}$). Priključuje se na otvoreni trougao namotaja 100/3 V na tri jednopolno izolovana naponska transformatora postavljena u mernoj ćeliji, opsega podešavanja 40-80 V. Trenutni kontakt služi za signalizaciju svih zemljospojeva (dužih i kraćih), a drugi kontakt vrši isključenje energetskog transformatora ili prekidača. Ova zaštita vrši funkciju osnovne zemljospojne zaštite sabirnica 10 kV i rezervne zemljospojne zaštite 10 kV strane energetskog transformatora [8].

2.2. Podešavanje relejne zaštite

2.2.1. Podešavanje kratkospojne zaštite na Trafo polju 35 kV

Kod kratkospojne zaštite postoji mogućnost samo strujnog podešavanja. Strujno podešavanje ove zaštite se izračunava na osnovu sledećeg izraza:

$$I_{podešavanja} = \frac{k_s \cdot I'_{podešeno}}{n_{st}} \quad (9)$$

gde je:

k_s – koeficijent sigurnosti,

$I'_{podešeno}$ – primarna struja podešavanja,

n_{st} – prenosni odnos strujnog transformatora.

Prema ranijim izveštajima i ispitnim protokolima, kao i iz izvora Tehničkih preporuka JP Elektroprivreda Srbije – Direkcija za distribuciju TP-4a1 5.5. strujno podešavanje kratkospojne zaštite $I>>$ Trafo polja 35 kV je [9]:

$$I_{podešavanja} = \frac{k_s \cdot I'_{podešeno}}{n_{st}} = \frac{1 \cdot 1000}{\frac{100}{5}} = 50 \text{ A} \quad (10)$$

pa se vrednost podešavanja releja bira kao relativna vrednost u odnosu na njegovu nominalnu struju. Vrednost $I'_{podešeno} = 1000 \text{ A}$ uzeta je iz razloga što je nominalna struja transformatora veća od nominalne struje strujnog transformatora (skala na releju je u opsegu od 4-10 A) [9].

Podešavanje releja je onda:

$$I_{releja} = I_{podešavanja} / I_{(nom.releja)} = 50/5 = 10 \text{ A} \quad (11)$$

2.2.2. Podešavanje prekostrujne zaštite

Prekostrujna zaštita štiti od kvarova koje ne može da detektuje kratkospojna zaštita i deluje sa vremenskom zadržkom pri opterećenjima koja prelaze dozvoljene vrednosti strujnih opterećenja voda (maksimalna pogonska struja), kao i pri udaljenim kratkim spojevima. Po pravilu prekostrujna zaštita nije zaštita od preopterećenja.

Prekostrujna zaštita se podešava prema izrazu:

$$I_{podešavanja} = \frac{k_s \cdot k_{spoja} \cdot I_{pogonskamax}}{a \cdot n_{st}} \quad (12)$$

gde je:

k_{spoja} – koeficijent spoja releja na strujne transformatore,

$I_{pogonskamax}$ – najveća pogonska struja,

a – koeficijent otpuštanja releja (0,85-0,95).

Najveću pogonsku struju određujemo prema izrazu:

$$I_{pogonskamax} = k_s \cdot i_{pogonsko} = 1 \cdot 132 = 132 \text{ A} \quad (13)$$

gde je:

$I_{pogonsko}$ – primarna struja podešene prekostrujne zaštite [10],

$$I_{podešavanja} = \frac{1 \cdot 132}{0,95 \cdot \frac{100}{5}} = 6,95 \text{ A} \quad (14)$$

Vrednost podešavanja releja bira se kao relativna vrednost u odnosu na njegovu nominalnu struju, pa je onda podešavanje releja:

$$I_{releja} = \frac{I_{podešavanja}}{I_{nom.releja}} = \frac{6,95}{5} = 1,39 \quad (15)$$

Prekostrujna zaštita deluje sa vremenskom zadržkom od 0,5-1 s. Za Trafo polje 35 kV usvojeno je i podešeno vreme, pa je $t = 1$ s.

Podešavanje zemljospojne zaštite na Trafo polju 35 kV je $I_{0>} = 1,5 \text{ A}$ sa vremenskim zatezanjem $t = 1$ s.

2.2.3. Podešavanje kratkospojne zaštite.

Podešavanje kratkospojne zaštite na Trafo polju 10 kV je:

$$I_{podešavanja} = \frac{k_s \cdot I'_{podešeno}}{n_{st}} = \frac{1 \cdot 1800}{\frac{500}{5}} = 18 \text{ A} \quad (16)$$

pa se vrednost podešavanja releja bira kao relativna vrednost u odnosu na njegovu nominalnu struju.

Vrednost $I'_{podešeno} = 1800 \text{ A}$ uzeta je zbog

kratkospojnog releja čiji je opseg skale podešavanja od 20-40 A [11]. Podešavanje releja je onda:

$$I_{releja} = \frac{I_{podešavanja}}{I_{nom.releja}} = \frac{18}{5} = 3,6 \text{ A} \quad (17)$$

Zbog stabilnog rada sistema same trafostanice dodat je vremenski relej sa podešenim vremenom $t = 0,3$ s.

2.2.4. Podešavanje kratkospojne zaštite na 10 kV izvod (Srbovac)

Strujno podešavanje kratkospojne zaštite $I \gg$ je:

$$I_{podešavanja} = \frac{k_s \cdot I'_{podešeno}}{n_{st}} = \frac{1 \cdot 900}{\frac{200}{5}} = 22,5 \text{ A} \quad (18)$$

Vrednost podešavanja releja bira se kao relativna vrednost u odnosu na njegovu nominalnu struju, pa je onda podešavanje releja:

$$I_{releja} = \frac{I_{podešavanja}}{I_{nom.releja}} = \frac{22,5}{5} = 4,5 \text{ A} \quad (19)$$

2.2.5. Podešavanje prekostrujne zaštite na 10 kV izvod (Srbovac)

Najveću pogonsku struju određujemo prema izrazu:

$$I_{pogonskanax} = 1 \cdot 216 = 216 \text{ A} \quad (20)$$

Prekostrujna zaštita se podešava prema izrazu:

$$I_{podešavanja} = \frac{1 \cdot 216}{0,95 \cdot \frac{200}{5}} = 5,68 \text{ A} \quad (21)$$

Vrednost podešavanja releja bira se kao relativna vrednost u odnosu na njegovu nominalnu struju, pa je onda podešavanje releja:

$$I_{releja} = \frac{I_{podešavanja}}{I_{nom.releja}} = \frac{5,68}{5} \approx 1,14 \quad (22)$$

2.2.6. Podešavanje zemljospojne zaštite na 10 kV Srbovac

Ako je neutralna tačka mreže izolovana, zemljospojna zaštita zavisi od veličine kapacitivne struje zemljospoja galvanski povezane mreže. Ove struje su kod nadzemnih vodova 10 kV kao što je u našem primeru slučaj veoma male, i kreću se oko 0,03 A/km, dok su kod kablovskih vodova znatno veće i iznose oko 1,4 A/km [12]. Iz izraza koji sledi računa se približna struja zemljospoja $I_0 >$ sa podacima voda koji su uzeti iz arhive ispitnih protokola službe merenja zaštite i automatike JP „Elektrokosmet“ Priština, ED Kosovska Mitrovica:¹

¹ Rezultat koji je prikazan na mernom instrumentu je približan struji proračuna zemljospojne zaštite.

$$I_0 \approx \frac{U_{kv \text{ naponskinivo}} \cdot I_{dužina \text{ dalekovodau km}}}{1000}$$

$$I_0 \approx \frac{10 \cdot 14}{1000} = 0,14 \text{ A} \quad (23)$$

3. PROVERA ZEMLJOSPOJNE ZAŠTITE MERENJEM SEKUNDARNE STRUJE NA RELEJU ISKRA TFP-4091

Na izvodu 10 kV Srbovac izazvan je spoj jedne faze prema zemlji, montažom priručnog uzemljivača u TS Kula u neposrednoj blizini naselja Srbovac. Za potrebe merenja struje korišćena su amper klešta BENNING CM-2, tako da klešta obuhvate provodnik sekundara K obuhvatnog kablovskog strujnog mernog transformatora sa kog je merena struja usled nastanka zemljospoja [13].

Kada se uključi prekidač, zaštita odreaguje. Nakon jedne sekunde prekidač 10 kV izvoda Srbovac se isključuje, struja koja je uspešno zabeležena merenjem je $\approx 0,11$ A. Iz ovoga se izvodi zaključak da je zaštita funkcionalna i proračun tačan, sa određenim procentom tolerancije. Na slici 1 prikazan je instrument sa zabeleženom strujom usled nastanka zemljospoja.



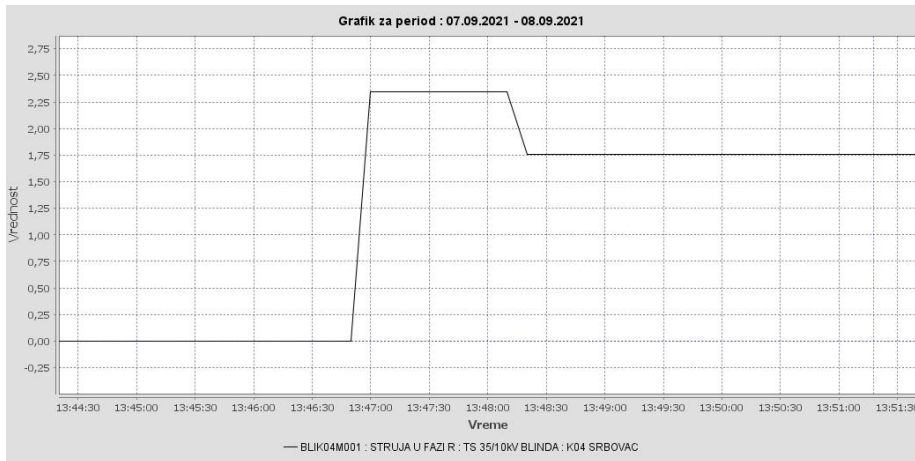
Slika 1 - Instrument sa zabeleženom strujom usled nastanka zemljospoja (Izvor: autori)

Tokom implementacije sistema za daljinsko upravljanje i nadzor (SCADA) u JP „Elektrokosmet“ Priština, ED Kosovska Mitrovica, uvedeni su i signali za dojavu dešavanja u samim trafostanicama odakle se uzimaju signali za različita merenja, kao i zaštita koja prati i nadzoriše kompletno uklopno stanje trafostanica 35/10 kV.

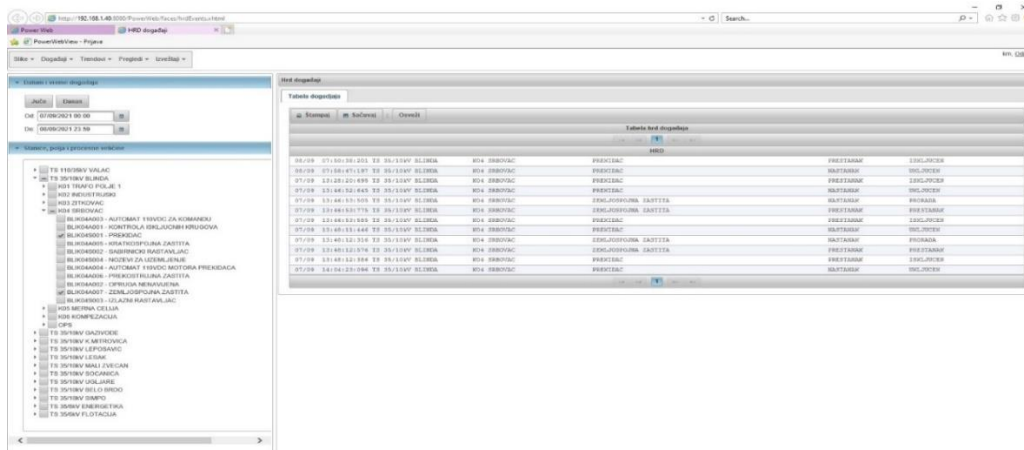
Kako bi se kompletirala izvršena provera i analiza zaštite, upoređeni su događaji iz dispečerskog centra

sistema za nadzor i upravljanje, nakon čega je potvrđena funkcionalnost i pouzdanost celokupnog elektroenergetskog sistema. Na slikama 2, 3 i 4 prikazani su grafik struje, izveštaj događaja i jednopolna šema (SCADA) sistema postrojenja 35/10 kV Blinda Valač u pogonu pod naponom u periodu od 07-08.09.2023. godine.

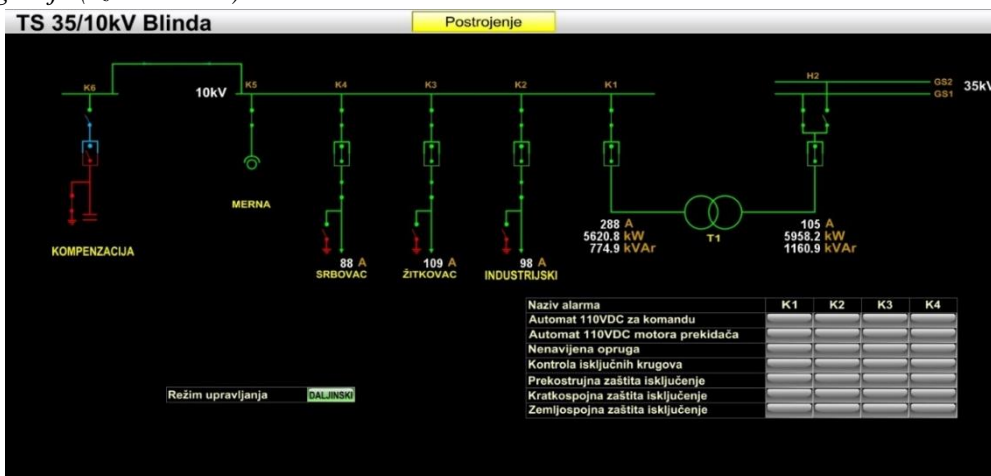
Podatak na slici 2 je prikazan sa malim kašnjenjima. Razlog je ne funkcionalnost zastarale opreme koja se u JP „Elektrokosmet“ Priština, ED Kosovska Mitrovica našalost i dalje koristi: malouljni prekidači, elektromehanički releji zakazivanje signalnih preklopki i mnoštvo nedostataka, koje bi u nekom budućem vremenu trebalo otkloniti.



Slika 2 - Izveštaj grafika struje, sa vrednostima i vremenom nastanka struje zemljospoja (Izvor: autori)



Slika 3 - Hronološki izveštaj stanja opreme i signalizacije zaštite prorade i prestanak, kao i vreme i datum događaja (Izvor: autori)



Slika 4 - Izgled postrojenja TS 35/10 Blinda Valač i spisak signalizacije zaštite (Izvor: autori)

4. REZULTATI I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Razlika između izračunate i izmerene vrednosti struje zemljospoja je oko 27%, što i ne predstavlja malu vrednost.

Postoje nekoliko ključnih razloga zbog kojih se javila razlika kod izračunate i izmerene vrednosti struje zemljospoja, a neki od njih su:

Nepreciznost u parametrima

Preciznost parametara koji se koriste u analizi može uticati na tačnost izračunatih vrednosti. Na primer, tačnost otpora tla ili karakteristike zemlje, dužina provodnika...

Vremenske promene

Vremenski uslovi, kao što su padavine, temperatura ili vlažnost zemlje, mogu uticati na vrednost otpora tla i time na struju zemljospoja. Ove promene mogu biti dinamičke i teško ih je u potpunosti predvideti.

Instrumentalne greške

Merenja struje zemljospoja obavljaju se pomoću instrumenata koji imaju određenu tačnost i preciznost. Greške u merenjima mogu dovesti do razlike između stvarnih vrednosti i onih koje se očekuju na osnovu izračunate vrednosti.

Na kraju ovog merenja može se izvesti zaključak da je od velike važnosti koristiti tačne parametre, redovno održavati opremu za merenje i da merenja treba prilagoditi stvarnim spoljnim uslovima kako bi se dobili što tačniji rezultati. Predlog autora je da se, zbog pomenutih razloga, kod ovog tipa merenja uvek uzme u obzir procentualna razlika kod matematičkog proračuna. U daljim istraživanjima autori će nastojati da detaljnom analizom kroz više različitih merenja dođu do konkretnih razloga koji utiču na razliku kod izračunate i izmerene vrednosti.

5. ZAKLJUČAK

Zaštita elektroenergetskih mreža predstavlja ključni aspekt u osiguravanju bezbednosti i normalnog rada elektroenergetskih sistema. Ova zaštita obuhvata različite aspekte i funkcije koje imaju za cilj prevenciju, detekciju i korekciju anomalija u elektroenergetskim mrežama.

S obzirom na kompleksnost današnjih elektroenergetskih mreža, njihov razvoj, kao i sve strožiji zahtevi u njihovoj eksploataciji, dolazi se do zaključka da je svaki vid zaštite neophodan za stabilan i pouzdan rad elektroenergetskih sistema.

Dosadašnja iskustva u primeni elektromehaničkih releja u elektrodistributivnim mrežama

pokazala su da su ovi releji kroz dugogodišnju eksploataciju pokazali određene kvalitete sigurnosti, ali zbog njihove konstrukcije i gabarita ne uklapaju se u savremenim sistemima modularnih postrojenja. Nakon normalnog eksploatacionog perioda ovi releji su ušli u period starenja, koji se manifestuje povećanim brojem kvarova na njima, odnosno smanjenom pouzdanošću i sigurnošću. Procenat elektromehaničkih releja u distributivnim transformatorskim stanicama se kreće iznad 80%. Sve napred navedeno nas navodi na zaključak da se korišćenjem što više vrsta zaštita i njihovim periodičnim ispitivanjem postiže veća pouzdanost i sigurnost elektroenergetskog sistema.

U radu se govori o osnovnim zaštitama, koje se matematičkim proračunom i merenjem na terenu ispituju sekundarno i primarno. Kratkospojna i prekostrujna zaštita obrađena je matematički i sekundarnim ispitivanjem su potvrđeni zadati parametri, dok je zemljospojna zaštita obrađena matematički izazivanjem zemljospoja i ispitana je sekundarno i primarno merenjem na terenu.

Izazivanjem zemljospoja provereno je podešavanje relejne zaštite i utvrđeno je da je zaštita u funkciji. Za navedenu razliku u merenju matematičkim putem i na terenu, autori su dali svoja mišljenja i razmatranja na kojima će i dalje raditi u nekim budućim istraživanjima.

LITERATURA

- [1] Đurić M. *Elementi EES-a*, Beopres, Beograd, 2017.
- [2] Đurić M. Stojanović Z. *Relejna zaštita*, Akademska misao, Beograd, 2021.
- [3] Tanasković M, Bojković T, Perić D. *Distribucija električne energije*, Akademska misao, 2007.
- [4] Požar H. *Visokonaponska rasklopna postrojenja*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.
- [5] Kaiser D. *Elektrotehnički priručnik*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1971.
- [6] Bjelić S, Milenković N. *Algoritmi za dijagnostiku poremećaja u elektroenergetskoj mreži i zaštita od njih*, Balkanski naučni centar Ruske akademije prirodnih nauka, Beograd, 2019.
- [7] Stojković S. *Zbirka zadataka iz relejne zaštite*, Tehnički fakultet, Čačak, 2003.
- [8] Bjelić SN, Marković NA. *Tehnika relejne zaštite*, Visoka tehnička škola strukovnih studija iz Uroševca sa privremenim sedištem u Leposaviću, Leposavić, 2017.
- [9] JP Elektroprivreda Srbije, Tehnička preporuka br. 4a1, Zaštita elektrodistributivnih vodova 10 kV, 20 kV i 35 kV, IV izdanje, maj, 2001.

- [10] Ispitni protokol JP Elektrokosmet Priština, ED Kosovska Mitrovica, Ispitivanje i podešavanje relejne zaštite transformatora, 35 kV Trafo polje.
- [11] Ispitni protokol JP Elektrokosmet Priština, ED Kosovska Mitrovica, Sekundarno ispitivanje i podešenost releja, 10 kV Trafo polje
- [12] Krstivojević J, Đurić M. Selektivna zemljospojna zaštita za distributivne izvode, *Infoteh-Jahorina*, Vol. 12, str. 91-96, mart 2013.
- [13] ISKRA, Zaštita i lokalna automatizacija u elektroenergetici, Katalog, 1980.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE OPERATION OF THE GROUND FAULT PROTECTION AT THE OUTPUT 10 KV

For the normal functioning of the power system, it is necessary to ensure adequate protection of each elements. Part of the electric power system are electric networks, the term of which will primarily mean lines (air and cable). In the paper, the operation of basic line protections was analyzed by mathematical calculations and field measurements. The earth fault protection was caused in the field in order to compare it with the mathematical calculation and draw conclusions about the correct setting and full functionality of the relay protection. Power grid protection is a key aspect for the safety and normal operation of power systems. This analysis includes tests of protection equipment through simulations of earth fault event. The testing is of great importance for new power system maintenance strategies.

Key Words: earth fault, earth fault current, lines, reley ISKRA TFP-4091