

## **SPECIFIČNI KVAROVI U IZOLOVANIM I PREKO OTPORNIKA UZEMLJENIM ELEKTRIČNIM MREŽAMA**

D. Ristivojević\*, RB Kolubara, Srbija,

Z. Milosavljević, RB Kolubara, Srbija

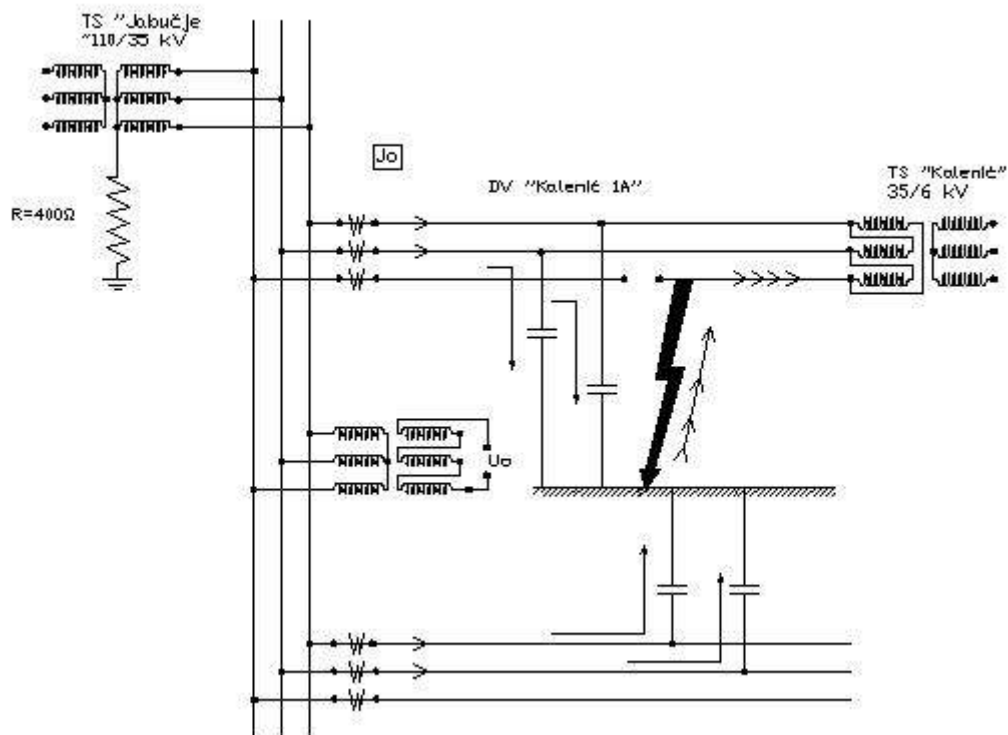
Razmatraju se kvarovi, koji u praksi nisu toliko uobičajeni. Primer je prekid provodnika vazdušnog voda, ili kabla, i nastanak zemljospoja na strani daljoj od napojne trafo stanice. Po pravilu, usmerena zemljospojna zaštita ne funkcioniše. Struja zemljospoja se zatvara kroz mesto kvara, protiče preko primarnog namotaja transformatora (koji se napaja iz trafo stanice u kojoj se nalazi zaštita) ka sabirnicama. Da li se u izolovanom sistemu vrši kompenzacija kapacitivne struje, induktivnošću primarnog namotaja transformatora? Koliko pouzdanost reagovanja usmerene zemljospojne zaštite u tim okolnostima zavisi od ukupne  $I_c$  u konzumu? Šta se dešava pri istom kvaru u električnoj mreži uzemljenoj preko otpornika? U praksi, pri ovoj vrsti kvara usmerena prekostrujna zaštita ne reaguje. Analiza je veoma interesantna i za praksu od velikog značaja. Analizira se i totalni prekid između mase i trafo stanice 10/0,4 kV i uzemljivačkog sistema za slučaj nastanka proboja jedne od faza 10 kV, prema kućištu. Da li je nalezna površina trafo stanice dovoljna za ispravnu funkciju usmerene zemljospojne zaštite?

Ključne reči: zemljospoj, izolovana mreža, kapacitivne struje, uzemljeno zvezdište, intermitencija

\*[dragan.ristivojevic@rbkolubara.co.rs](mailto:dragan.ristivojevic@rbkolubara.co.rs)

Klasični kvarovi nastanka zemljospoja kako u izolovanoj, tako i u električnoj mreži uzemljenoj preko otpornika u zvezdištu transformatora, u principu ne predstavljaju problem. Usmerena zemljospojna zaštita ih lako detektuje i eliminiše ukoliko se vodi računa o vrednosti kapacitivnih struja ( izolovana mreža ), ili kapacitivno-rezistentnih ( električna mreža uzemljena preko otpornika ). Problem ne predstavljaju ni zemljospojevi, koji nisu takozvanog „metalnog“ karaktera, već nastaju pri intermitenciji električnog luka ( uz uslov da se vodi računa o uklopnom stanju u električnoj mreži i pragu podešenja naponske nulte komponente koju evidentiramo preko jednopolno izolovanih naponskih transformatora – otvorenog trougla ).

### PREKID PROVODNIKA VAZDUŠNOG VODA 35 kV „KALENIĆ 1A“ I NASTANAK ZEMLJOSPOJA NA STRANI DALJOJ OD NAPOJNE TRAFI STANICE 110/35 kV „JABUČJE“



**Slika 1** – Karakteristični zemljospoj u mreži 35 kV

Vazdušni vod 35 kV „Kalenić 1A“, koji se napaja iz trafostanice 110/35 kV „Jabučje“, je dužine približno 8 km. Ukupna dužina svih vazdušnih vodova 35 kV, priključenih na sabirnice jednog sistema iznosi oko 95 km. U istom konzumu se nalazi i kablovska mreža 35 kV u okviru koje se napajaju bageri na površinskom kopu (jalovinski sistem), i čija dužina iznosi  $l = 13,5$  km. Električna mreža 35 kV je uzemljena preko otpornika,  $R = 400 \Omega$ , čime je struja zemljospoja ograničena na vrednost oko 50 A za slučaj da postoji samo radna komponenta. Međutim, postoji mreža vazdušnih vodova i

kablovska mreža, koje svojim uticajem zbog postojanja dozemnih kapacitivnosti znatno doprinose povećanju ukupne vrednosti struje zemljospoja. Približni (za praksu merodavni) obrasci za izračunavanje kapacitivnih struja:

Za nadzemne vodove:

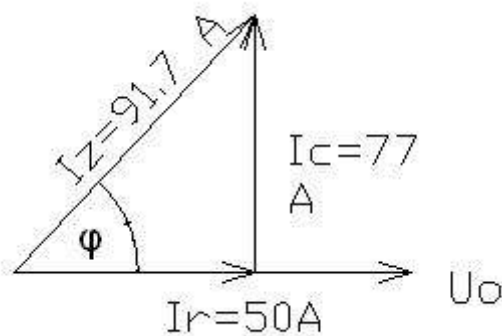
$$I_c = \frac{1}{350} \times U l (\text{kV}) \times l (\text{km}) = \frac{35}{350} \times 95 = 9,5 \text{ A} \quad (1)$$

Za kablovsku mrežu:

$$I_c = \frac{1}{7} \times U l (\text{kV}) \times l (\text{km}) = \frac{35}{7} \times 13,5 = 67,5 \text{ A} \quad (2)$$

Ukupna vrednost kapacitivnih struja u našem slučaju iznosi:

$$\Sigma I_c = I_{c_{vv}} + I_{c_k} = 9,5 + 67,5 = 77 \text{ A} \quad (3)$$



**Slika 2** - Vektorski dijagram nultih komponenti struje i napona

$$I_z = \sqrt{I_r^2 + I_c^2} = \sqrt{50^2 + 77^2} = \sqrt{2500 + 5929} = \sqrt{8429} = 91,7 \text{ A} \quad (4)$$

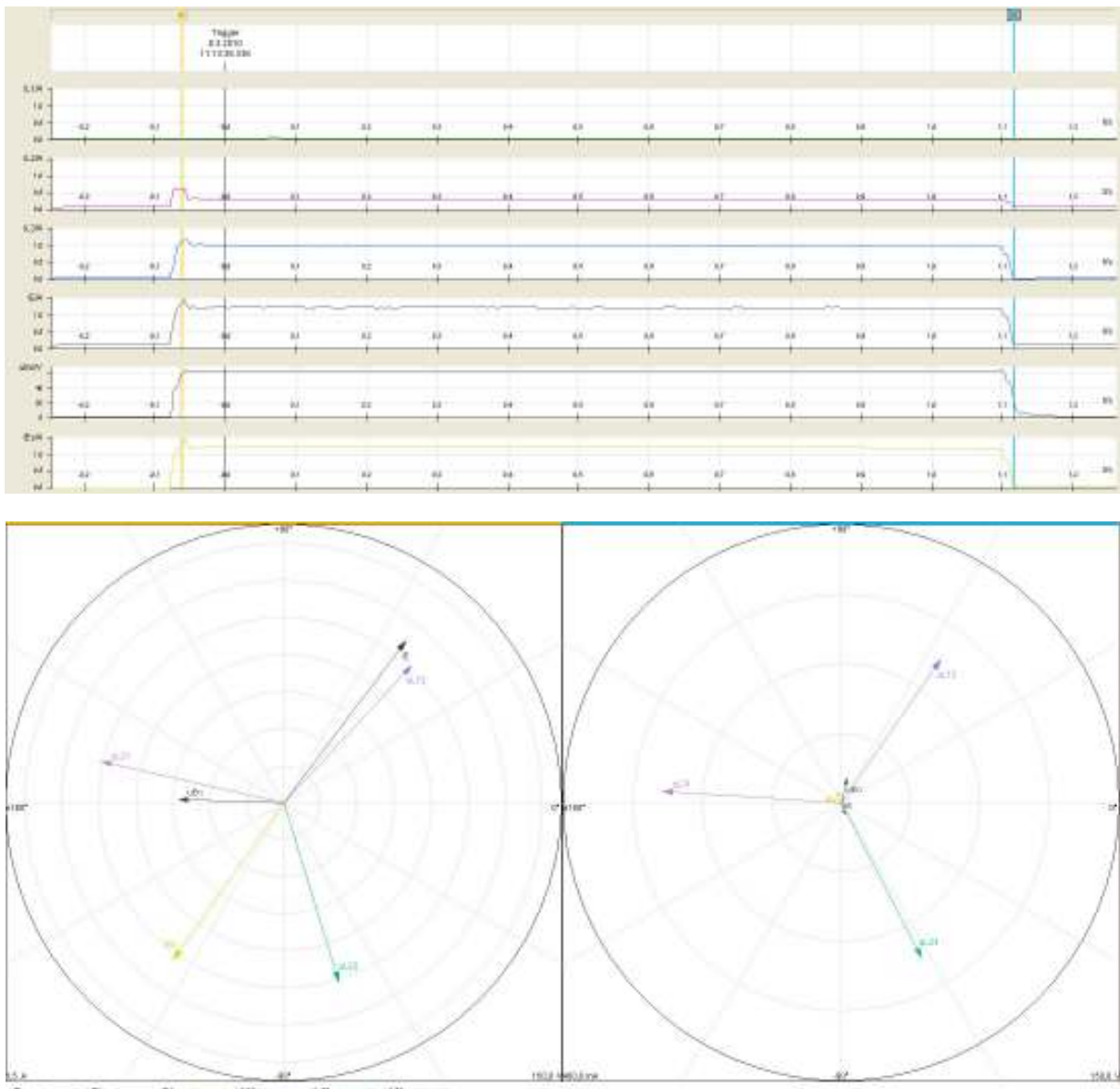
Ukupna vrednost struje zemljospoja za pun konzum iznosi  $I_z = 91,7 \text{ A}$ . Dakle znatan je doprinos mreže vazdušnih vodova, a pogotovu kablovske mreže na radikalno povećanje vrednosti struje zemljospoja. Ugao  $\varphi$  između nultih komponenti napona i struje ( $U_0$  i  $I_0$ ) pri postojanju samo radne komponente iznosi  $0^\circ$ . Uz priključenu kablovsku i mrežu vazdušnih vodova 35 kV, ugao  $\varphi$  u našem slučaju iznosi  $\approx 54^\circ$ . Potvrda izračunatih vrednosti  $I_z' = 91,7 \text{ A}$  i  $\varphi = 54^\circ$  se može uočiti preko oscilograma mikroprocesorske zaštite na dalekovodu 35 kV „Kalenić 1A“, čime se potvrđuje ispravnost rezona.

### Specifičan kvar:

Došlo je do prekida jedne faze 35 kV-tnog dalekovoda „Kalenić 1A“ i zemljospoja iste na dovodnom delu ka transformatoru 35/6 kV u TS „Kalenić“ – videti *sliku broj 1*. Zemljospojna zaštita je podešena na vrednost  $I_z = 30 \text{ mA}$ ,  $t = 1 \text{ sec}$ , prenosni odnos strujnih transformatora na vodu „Kalenić 1A“ je  $m = 400/5 \text{ A/A}$ . Dakle  $I_z = 2,4 \text{ A}$ ;  $t = 1 \text{ sec}$ . Izvedena su dva eksperimenta.

- a) Simulacija potpunog kvara uz opterećenje transformatora 35/6 kV; 8 MVA, u TS „Kalenić“
- b) Simulacija pomenutog kvara pri praznom hodu transformatora 35/6 kV; 8 MVA, u TS „Kalenić“

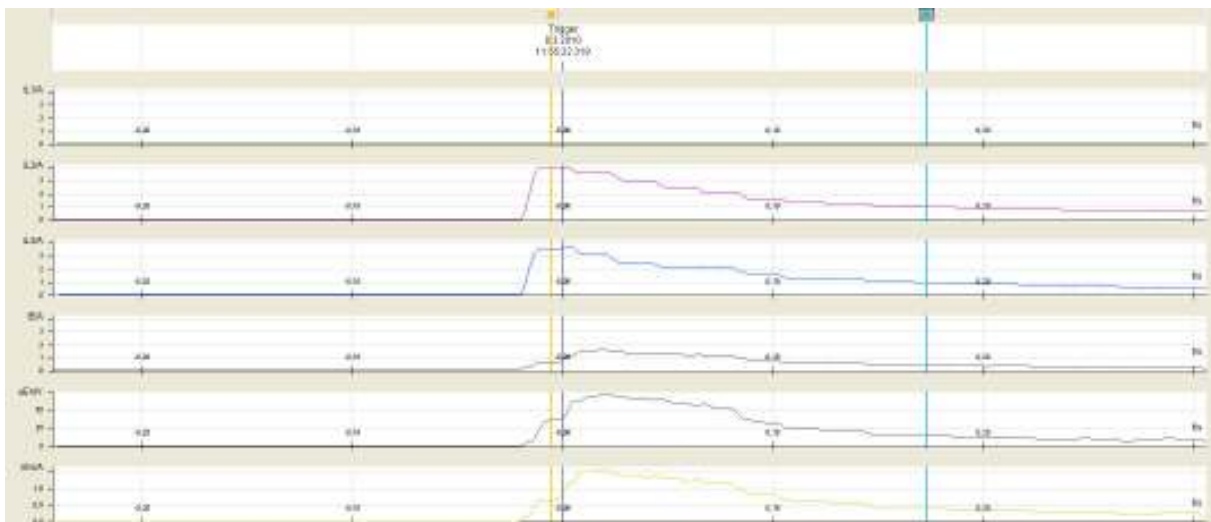
U slučaju pod a), reagovala je usmerena zemljospojna zaštita na vodu 35 kV „Kalenić 1A“. Vrednost napona na otvorenom trouglu je dostigla punu (maksimalnu) vrednost  $\approx 100$  V, a struja zemljospoja iznosi 93 A, što je potpuno adekvatno dobijenim proračunskim vrednostima. Sa oscilograma se vidi da postoji fazni pomak između nulte komponente napona i struje  $u_{en}$  i  $i_e$ , približno  $\varphi = 54^\circ$ . Transformator je pri nastanku kvara bio opterećen što je doprinelo smanjenju impedanse na mestu sumiranja struje greške, odnosno struje zemljospoja usmerena zemljospojna zaštita je reagovala i isključila prekidač dalekovoda 35 kV „Kalenić 1A“ u trafo stanici 110/35 kV „Jabučje“.

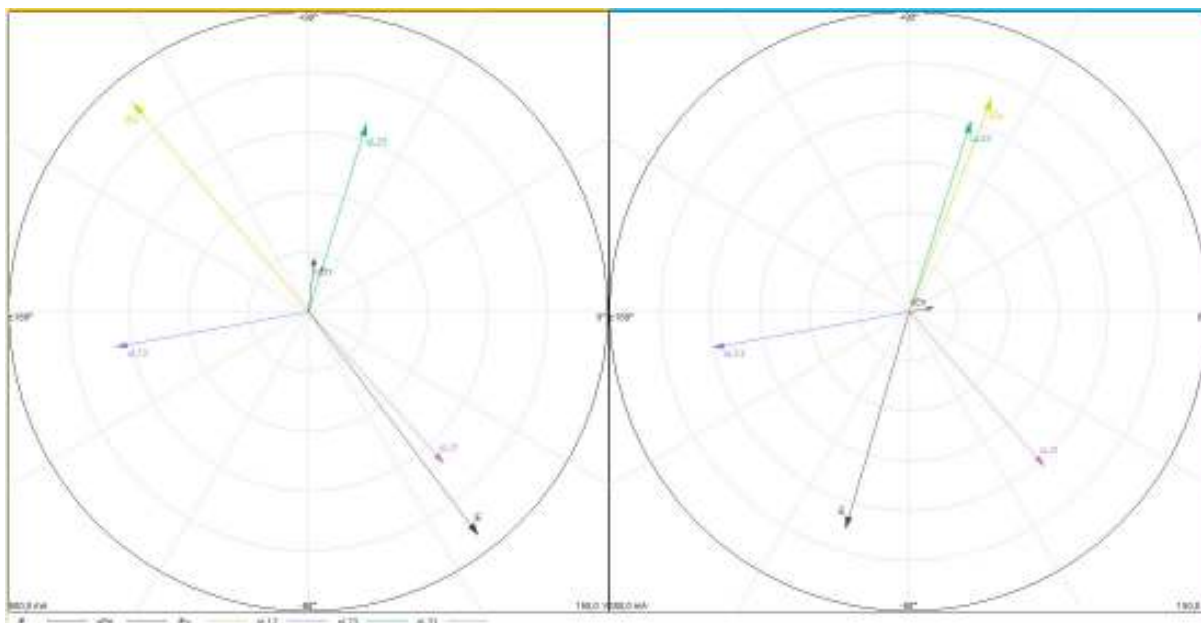


**Slika 3** – Oscilogram vrednosti električnih veličina pri opisanom kvaru zabeležen u mikroprocesorskom zemljospojnom releju

U slučaju pod *b*), kada je do kvara došlo pri praznom hodu transformatora 35 kV, 8 MVA, usmerena zemljospojna zaštita na dalekovodu „Kalenić 1A“ nije reagovala i nije isključila kvar. Pošto je transformator radio u praznom hodu, impedansa kvara je znatno veća nego u prethodnom slučaju, ( kada je transformator bio opterećen ). Na oscilogramu se jasno vidi da vrednost napona nulte komponente  $u_0(u_{en})$ , dostiže maksimum i naglo opada u veoma kratkom vremenskom intervalu.

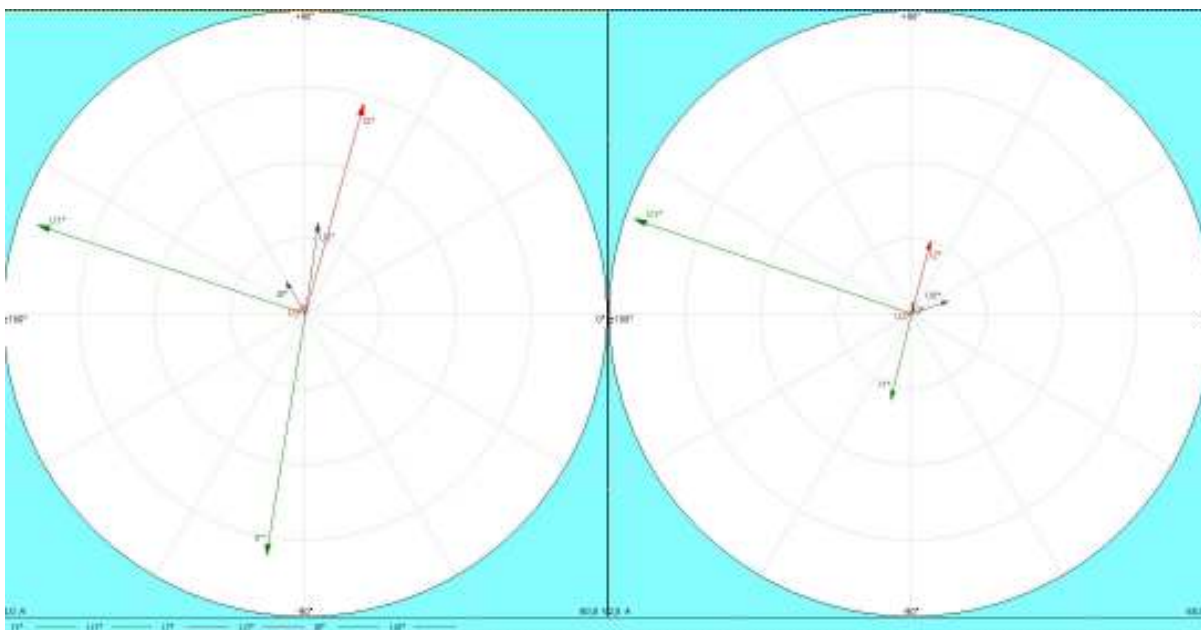
Slično se dešava i sa vrednošću struje nulte komponente, dostiže vrednost oko 90 A i naglo opada ka nuli. Stiče se utisak kao da impedansa kvara raste sa protokom vremena i smanjuje se naponska nulta komponenta, a takodje i strujna. Možda bi se nešto postiglo podešavanjem usmerene zemljospojne zaštite na ekstremno niske vrednosti ( kako  $i_0$ , tako i  $u_0$  ). Napomenimo da je kvar „metalnog“ karaktera i ne postoji mogućnost promene vrednosti otpora na samom spoju. Menja se jedino impedansa transformatora sa vremenom i to je ono što je jako karakteristično. Potrebno je dobro razmisliti šta raditi sa ovom vrstom kvara, kako bi njeno eliminisanje bilo sigurno. Iskustva u praksi su dosta negativna. Da li bi bilo dobro, osloniti se na prenaponsku zaštitu, ekstremno nisko podešenu uz određenu vremensku zadržku? Da li je u ovom slučaju neusmerena zemljospojna zaštita pouzdanija, obzirom da imamo promenljivu impedansu u kolu kvara? Očigledno da stepen pouzdanosti funkcionisanja usmerene zemljospojne zaštite zavisi od vrednosti opterećenja transformatora 35/6 kV. Na slici 4. uočavaju se struje magnećenja transformatora.





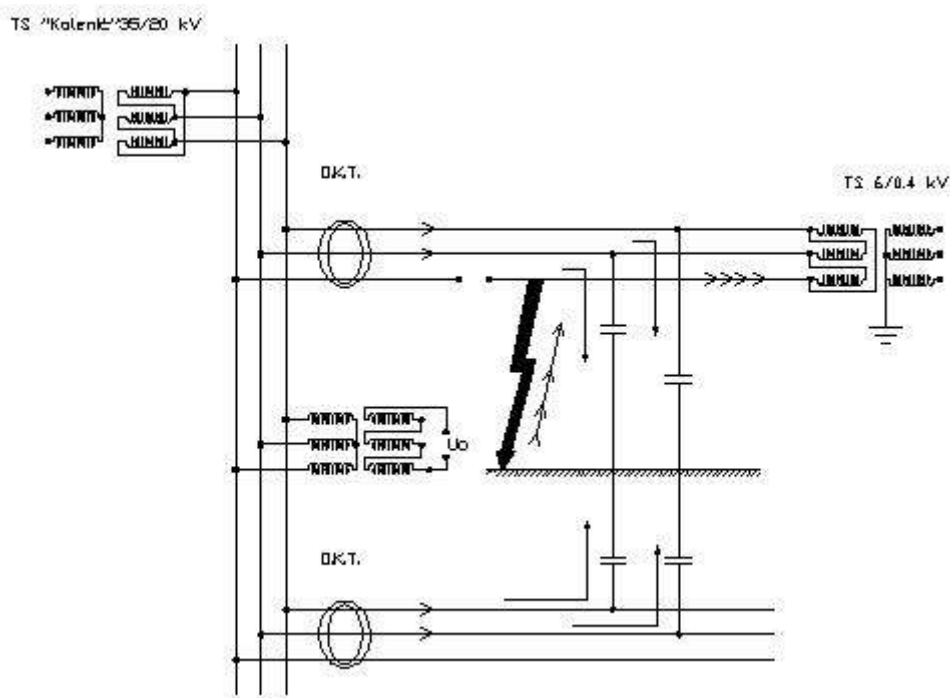
**Slika 4** – Oscilogram vrednosti električnih veličina pri opisanom kvaru zabeležen u mikroprocesorskom releju

Sa oscilograma se vidi karakteristična pojava ekstremno velike vrednosti struje  $i_{L2}$ , znatno veće nego u slučaju pod a). Da li se ova pojava može objasniti samo postojanjem elektromagnetne indukcije usled aktivnog dalekovoda na istim stubovima „Kalenić 1B“ ?



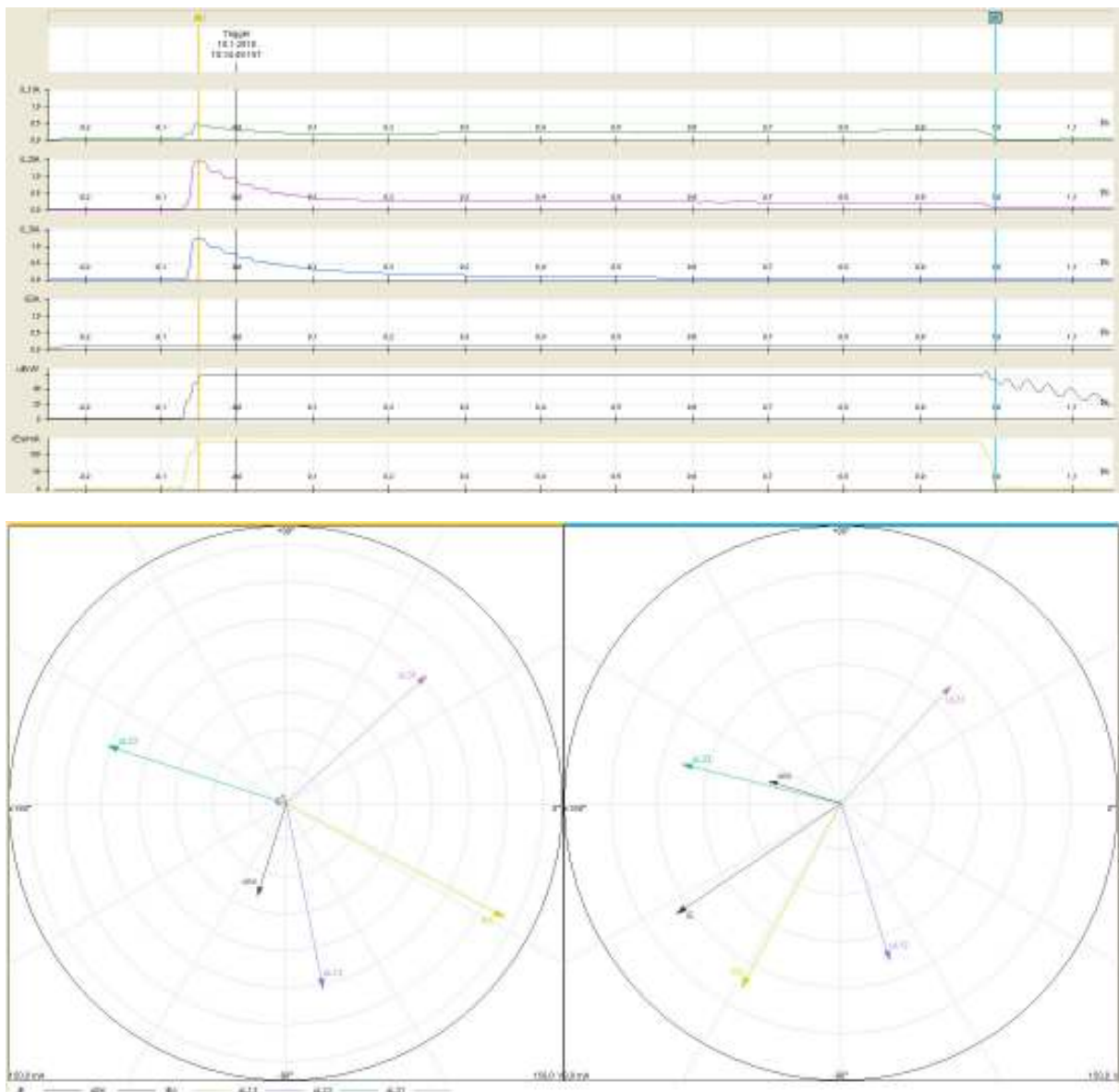
**Slika 5** – Pojava struja i napona, nulte, inverzne i direktne komponente pri nastalom kvaru

## PREKID PROVODNIKA KABLA 20 kV I NASTANAK ZEMLJOSPOJA NA STRANI DALJOJ OD TRAFOSTANICE 35/20 kV



Slika 6 – Karakterističan zemljospoj u izolovanoj mreži 20 kV

Pošto se radi o izolovanoj električnoj mreži, ugao  $\varphi$  između nultih komponenti napona i struje iznosi  $\varphi = 90^\circ$ , što se vidi i iz oscilograma na slici 7. Takođe su izvršena 2 eksperimenta ( opterećen transformator 6/0,4 kV, i isti transformator u praznom hodu ). U oba slučaja usmerena zemljospojna zaštita, podešena na primarnu vrednost struje zemljospoja  $I_z = 2,6 \text{ A}$ ;  $t = 0,5 \text{ sec}$ . nije reagovala. Sa oscilograma se vidi da je vrednost struje  $i_e$ , minimalna. Verovatno se radi o uticaju induktivnosti primara transformatora 6/0,4 kV i takozvanoj kompenzaciji kapacitivne struje, čija vrednost je znatno niža od očekivane. Kvar dakle, ostaje potpuno nepokriven, uprkos različitim opterećenja transformatora 6/0,4 kV. Ove vrste kvarova doduše nisu tako česte, ali pri nastanku izazivaju ogromne nedoumice i neophodna je virtuoznost u potpunom poznavanju kompletno svih karakteristika i parametara električne mreže. Možemo li se osloniti samo na postojanje naponske komponente i njeno evidentiranje preko prenaponske zaštite?



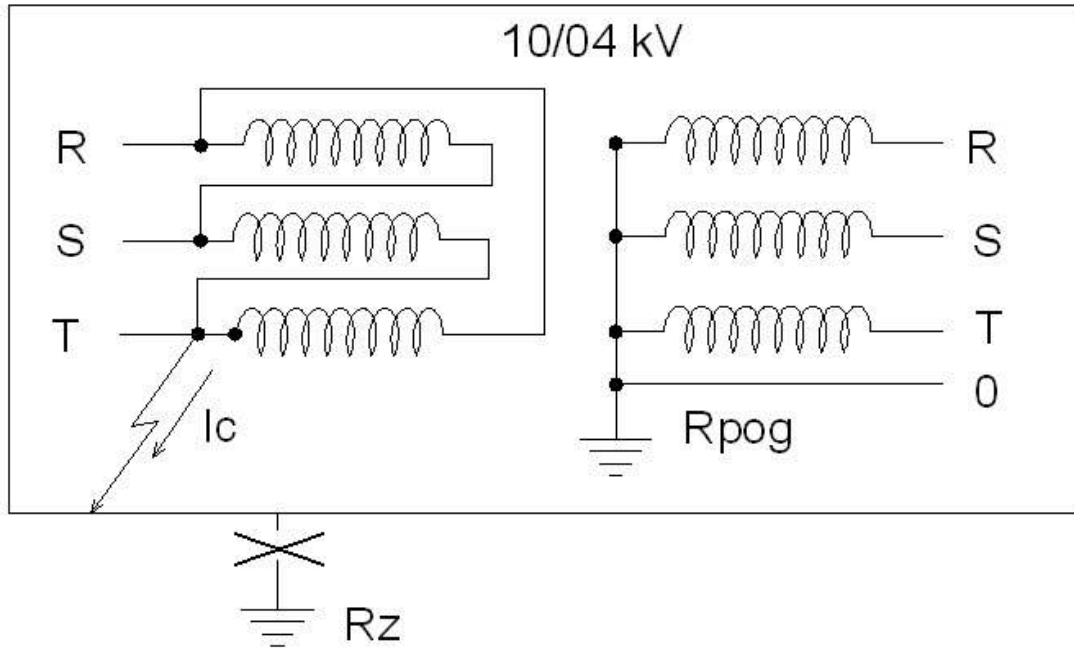
**Slika 7** – Oscilogram vrednosti električnih veličina pri opisanom kvaru zabeležen u mikroprocesorskom zemljospojnom releju

### **PREKID IZMEĐU ZAŠTITNOG UZEMLJENJA I METALNE KONSTRUKCIJE TRAFI STANICE 10/0,4 kV**

Interesantno je analizirati slučaj nastanka galvanske odvojenosti između zaštitnog uzemljivača [realizuje se formiranjem jednog, ili više prstenova na različitoj dubini ( zbog stvaranja potencijalne rampe ) oko objekta trafostanice] i limene konstrukcije trafostanice 10/0,4 kV. Pogonski uzemljivač je posebno izveden na rastojanju 20m od objekta i galvanski spojen sa zvezdištem transformatora na 0,4kV – noj strani. Došlo je do pojave metalnog zemljospoja na naponskom nivou 10 kV, simuliranog preko punog provodnika, da bi se izbegle prenaponske pojave do kojih bi došlo eventualnim prekidom tankog provodnika (lice), pri kvaru. Na naponskom nivou 10 kV, vrednost struje zemljospoja u



konzumu iznosi 20 A. Usmerena zemljospojna zaštita je podešena na 10 kV – nim izvodima u trafo stanici 35/10 kV na primarnu vrednost  $I' = 1,3$  A. Napon na otvorenom trouglu jednopolno izolovanih naponskih transformatora iznosi 100 V pri metalnom zemljospoju. Za slučaj zemljospoja preko velike prelazne otpornosti, vrednost napona na otvorenom trouglu srazmerno opada. U našem slučaju, zemljospoj je metalnog karaktera, nema intermitencije preko električnog luka, ali postoji veliki prelazni otpor između nalezne površine trafo stanice i zemlje – reda desetak oma ( $\approx 10\Omega$ ), zbog prekida između konstrukcije objekta i zaštitnog uzemljenja. Konstatovano je ispravno delovanje usmerene zemljospojne zaštite i isključenje prekidača 10 kV u trafo stanici 35/10 kV, uz očekivanu vrednost struje zemljospoja i vrednost napona na otvorenom trouglu oko 85 V.



#### Rezime:

Navedeni kvarovi nisu toliko česti i uobičajeni, ali su veoma interesantni kao pojava i zahtevaju integralno poznavanje problematike za razliku od takozvanih školskih primera.

#### Literatura:

Zemljospojevi u mrežama ( 35 i 6 kV ) – M. Fjodorov