

STRUJE ZEMLJOSPOJA I PRELAZNI FAZNI NAPONI U MREŽAMA 10 kV GRADA NIŠA

Petar Vukelja, Jovan Mrvić, Dejan Hrvić, Vojin Kostić
Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd

Kratak sadržaj: U radu su prezentovani rezultati istraživanja struja zemljospoja i prelaznih faznih napona pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja u četiri distributivne mreže 10 kV grada Niša napajane iz TS 35kV/10kV.

Ključne reči: prenapon, struja zemljospoja, elektro-distributivna mreža

1. UVOD

Mreže 10 kV grada Niša su sa izolovanom neutralnom tačkom. Napajaju se iz TS 35kV/10kV. U pojedinim mrežama struje zemljospoja su znatne i prelaze vrednost 20 A. Kada struja zemljospoja u mreži 10 kV pređe vrednost 20 A prema "Pravilniku o tehničkim normativima za uzemljenja elektroenergetskih postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V" (Službeni list SRJ, br. 61/95) preporučuje se uzemljavanje mreže preko otpornika ili reaktanse ili njeno razdvajanje na dva ili više delova koje bi trebalo nezavisno napajati. Da bi ustanovili kolike se struje pojavljuju pri pojavi zemljospoja i koliki se prenaponi mogu očekivati pri njegovom uspostavljanju i prekidanju, izvršena su istraživanja u četiri mreže 10 kV.

2. ISTRAŽIVANJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživanja struja zemljospoja i prelaznih faznih napona pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja izvršena su u četiri mreže 10 kV napajane iz sledećih TS 35kV/10kV: "Centar 1", "Bubanj", "Toponica" i "Medijana" [1]. U svakoj od TS 35kV/10kV, u odabranoj ćeliji na ulazu u 10 kV kablovski ili nadzemni vod, izvedeno je spajanje jednog od faznih provodnika sa uzemljenjem preko primara strujnog transformatora 30A/5A. Uključenjem prekidača 12 kV te ćelije uspostavljan je zemljospoj u mreži 10 kV i njegovim isključenjem, koje je izvedeno ručno pritiskom na taster za isključenje prekidača, izvršeno je njegovo prekidanje. Sa sekundara strujnog transformatora uzimana je informacija o struji zemljospoja, odnosno struja zemljospoja je snimana tranzijent rikorderom.

Merenja prelaznih faznih napona pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja izvedena su koristeći kapacitivna delila napona koja verno prenose pojave sa visokog na niski napon od nekoliko Hz do 2 MHz. Informacije o prelaznim naponskim procesima snimane su tranzijent rikorderom i digitalnim osciloskopima. Kapacitivna delila napona su priključena na sabirnice 10 kV u nekoj od slobodnih ćelija ili na ulazu u neki od kablovskih ili nadzemnih vodova.

U TS "Bubanj", TS "Toponica" i TS "Medijana" uključenje i isključenje zemljospoja je izvedeno malouljnim prekidačem ćelije voda na kome je izveden

zemljospoj preko strujnog transformatora 30A/5A, a u TS "Centar 1" je izvedeno vakuumskim prekidačem.

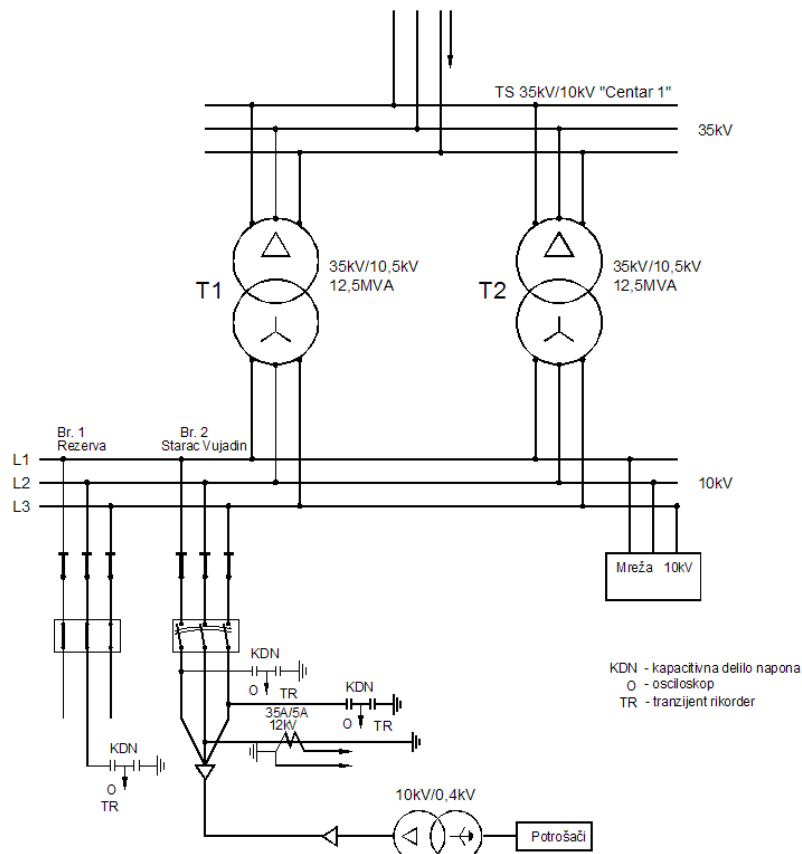
Na sl.1 data je šema istraživanja struja zemljospoja i prelaznih faznih napona u mreži 10 kV, napajanoj iz TS 35kV/10kV "Centar 1". Uključenjem vakuumskeg prekidača u ćeliji broj 2 "Starac Vujadin" uspostavljan je zemljospoj u mreži 10 kV, a njegovim isključenjem prekidan. Na kraju kablovskog voda, napajanoj iz ćelije broj 2 "Starac Vujadin", bio je priključen transformator 10kV/0,4kV opterećen potrošačima na 0,4 kV. Napon na sabirnicama je meren u ćeliji br.1 "Rezerva".

U tabeli 1 su dati rezultati istraživanja u TS 35kV/10kV. "Centar 1", "Bubanj", "Toponica" i "Medijana". Vrednosti prenapona date su u relativnim jedinicama kao odnos maksimalne vrednosti prelaznog faznog napona i amplitude ustaljene vrednosti faznog napona posle isključenja zemljospoja. Na osnovu dobijenih podataka o kapacitivnostima kablovskih i nadzemnih vodova i njihovim dužinama u mrežama 10 kV, koje se napajaju iz napred navedenih TS, izračunate su vrednosti struja zemljospoja i date u tabeli 1. Vrednosti struja zemljospoja utvrđene proračunom i izmerene neznatno se razlikuju za mreže 10 kV napajane iz TS "Centar 1" i TS "Bubanj". Međutim, između vrednosti struja zemljospoja utvrđenih proračunom i izmerenih su velike razlike za mreže 10 kV napajane iz TS 35kV/10kV "Toponica" i "Medijana". Pretpostavlja se da dobijeni podaci o dužinama kablovskih i nadzemnih vodova nisu tačni.

Na slikama 2, 3 i 4 dati su prelazni fazni naponi pri uključenju i isključenju zemljospoja u TS 35kV/10kV: "Centar 1" i struja zemljospoja. Na slikama 5, 6 i 7 dati su prelazni fazni naponi pri uključenju i isključenju zemljospoja u TS 35kV/10kV "Toponica" i struja zemljospoja.

Tabela 1. Podaci istraživanja u TS 35kV/10kV: "Centar 1", "Bubanj", "Toponica" i "Medijana"

TS 35kV/10kV	Broj izvedenih zemljospojeva	Najviši izmereni prenapon pri uključenju na zemljospoj (r.j.)	Najviši izmereni prenapon pri isključenju zemljospoja (r.j.)	Efektivna vrednost struje zemljospoja utvrđena merenjem (A)	Efektivna vrednost struje zemljospoja utvrđena proračunom (A)
"Centar 1"	8	3,34	1,70	29,7	28,7
"Bubanj"	5	1,91	2,01	19,3	18,2
"Toponica"	6	1,95	1,96	17,8-18,2	14,1
"Medijana"	6	1,91	1,54	34,2-34,8	22,9



Slika 1. Šema istraživanja struja zemljospoja i prelaznih faznih napona pri uključenju i isključenju zemljospoja u mreži 10 kV, napajanoj iz TS 35kV/10kV "Centar 1"

3. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Uključenja na zemljospoj malouljnim prekidačima ne dovode do visokih prenapona. Najviši izmereni je 1,95 r.j.. Pri uključenjima na zemljospoj vakuumskim prekidačem javljaju se znatno viši prenaponi. Najviši izmereni je 3,34 r.j.. Razlog su višestruka prethodna paljenja električnog luka između njegovih kontakata. Ova pojava je svojstvena prekidačima koji mogu da prekidaju visokofrekventnu struju pri njenom prolasku kroz nulu. Posle uključenja na zemljospoj, naponi faza na kojima nije zemljospoj dobijaju međufazni napon i zadržavaju ga sve do isključenja zemljospoja. Prelazak sa faznih na međufazne napone prate prenaponi. Njihovo trajanje je najčešće ispod 2 ms.

Isključenja zemljospoja dovode do uspostavljanja normalnih faznih napona u mreži 10 kV. Napon na fazi na kojoj je bio zemljospoj od nule se vraća na fazni napon, a naponi na druge dve faze sa međufaznih se vraćaju na fazne napone. Ovaj proces prate oscilacije na sva tri fazna napona sa učestanošću nekoliko Hz, ali se to oscilovanje priguši najčešće posle nekoliko stotina ms. Ove oscilacije su istofazne, odnosno pojavljuju se istovremeno u sva tri fazna napona. Usled ovih oscilacija dolazi do pojave

prenapona koji posle njihovog prigušenja nestaju. Prenaponi u toku ovih oscilacija retko prelaze 1,7 r.j.. U trenutku isključenja zemljospoja, na fazama na kojima nije bio zemljospoj, u nekim slučajevima dolazi do prenapona. Najviši izmereni prenapon je 2,01 r.j.. Pri isključenjima zemljospoja maloulnjnim prekidačima dolazi do ponovnih paljenja električnog luka između kontakta njihovih polova. Pri tom nema visokih prenapona u mreži 10 kV, kako je već napred konstatovano, ali se ne isključuje mogućnost visokih prenapona na vodu koji je isključen, odnosno na vodu na kome je bio zemljospoj.

Struje zemljospoja u mrežama 10 kV koje se napajaju iz TS 35kV/10kV "Centar 1" i TS 35kV/10kV "Mediana" su relativno visoke, a u mrežama 10 kV koje se napajaju iz TS 35kV/10kV "Bubanj" i TS 35kV/10kV "Toponica" su u prihvatljivim granicama. U strujama zemljospoja u svim napred navedenim mrežama su prisutni viši harmonici. Istaknutiji su peti i sedmi harmonik. Vrednost petog harmonika se kretala od 11,2% do 13,8% osnovnog harmonika, a vrednost sedmog od 6,3% do 7,5% osnovnog harmonika. Harmonijska distorzija struja zemljospoja u posmatranim mrežama je u intervalu od 12% do 17%.

Oprema u mrežama 10 kV je pre ugradnje ispitana naponom industrijske učestanosti 28 kV izuzimajući jednopolno izolovane induktivne naponske transformatore, a pojedina i atmosferskim udarnim naponom 75 kV. Prenaponi koji su ustanovljeni merenjima znatno su ispod podnosivih napona izolacije u istraživanim 10 kV mrežama pod pretpostavkom da nije došlo do njene značajne degradacije tokom eksploatacije. Oni dielektrički naprežu, ali ne ugrožavaju izolaciju opreme. U ovim mrežama mogu se pojaviti i viši prenaponi od ustanovljenih merenjima, ako dođe do pojave intermitirajućeg zemljospoja. Međutim i u tim slučajevima retko mogu da pređu 3,0 r.j. Prenaponi ustanovljeni pri uključanju vakuumskog prekidača se mogu pojaviti samo kada prekidač uključuje vod opterećen transformatorom na kome je već zemljospoj. Tada se pojavljuju prethodna paljenja električnog luka između njegovih kontakta i moguća je pojava prenapona viših od 3,0 r.j. U izolovanim mrežama 10 kV prenaponi pri uspostavljanju stvarnog zemljospoja ne zavise od pojava koje se javljaju između kontakta polova prekidača pri njegovom uključanju. Međutim, prenaponi u istim mrežama mogu bitno da zavise od pojava koje se javljaju između kontakta polova prekidača pri njegovom isključenju. U istraživanim mrežama to nije bio slučaj jer ponovna paljenja električnog luka između kontakta maloulnjnih prekidača nisu dovela do viših prenapona u mrežama pri isključenju voda sa zemljospojem.

4. ZAKLJUČCI

Analiza rezultata istraživanja struja zemljospoja i prelaznih faznih napona pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja u četiri mreže 10 kV napajane iz sledećih TS 35kV/10kV: "Centar 1", "Bubanj", "Toponica" i "Medijana" je pokazala sledeće:

- Prenaponi koji se javljaju pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja ne ugrožavaju izolaciju opreme u mrežama 10 kV pod uslovom da nije došlo do njene značajne degradacije tokom eksploatacije.
- Struje zemljospoja u mrežama 10 kV koje se napajaju iz TS 35kV/10kV "Centar 1" i "Medijana" prelaze vrednost 20 A i ove dve mreže je potrebno uzemljiti preko otpornika ili reaktanse.
- Struje zemljospoja u mrežama 10 kV koje se napajaju iz TS 35kV/10kV "Bubanj" i "Toponica" ne prelaze vrednost 20 A i one mogu ostati sa izolovanom neutralnom tačkom ako se ne predviđa njihovo proširenje.

- U mrežama sa izolovanom neutralnom tačkom treba obezbediti zaštitu od zemljospoja koja će pri njegovoj pojavi isključiti vod na kome se pojavio. U pojedinim TS zaštita ne prepoznaje mesto zemljospoja i isključuje jedan po jedan vod dok ne ustanovi na kom je nastupio zemljospoj. Ovakve manipulacije prekidačima u mreži 10 kV mogu dovesti do znatno viših prenapona od onih koji su kostatovani istraživanjima, koji pak mogu izazvati proboj izolacije na fazi koja nije u zemljospoju, a time i do havarijskih događaja.

LITERATURA

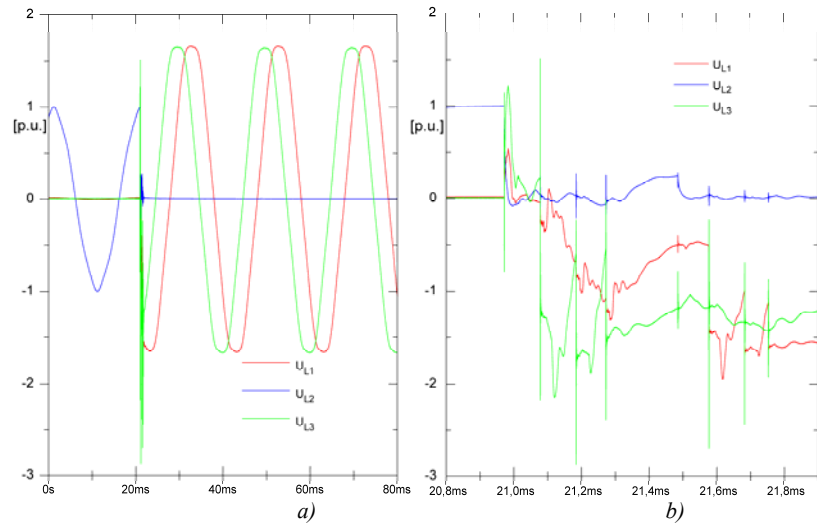
- [1] Istraživanja struja zemljospoja u 10 kV mreži grada Niša, Studija 310901, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd 2009 god

Abstract: This paper presents research results of currents and transient overvoltages while making and braking earth faults in four electrical distribution networks 10 kV supplied from 35kV/10kV substations in town Nis.

Key words: *High speed transfer, motor bus, medium voltage circuit breaker*

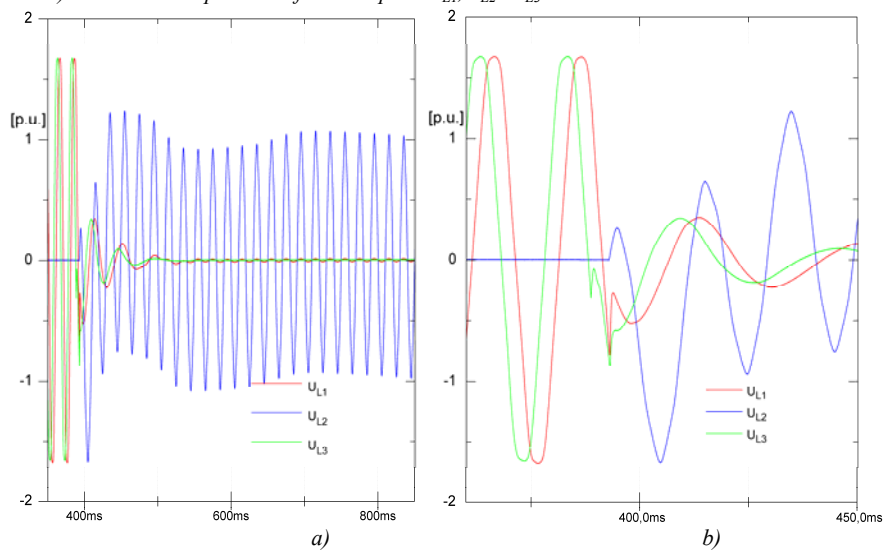
EARTH FAULT CURRENTS AND TRANSIENT OVERVOLTAGES IN 10 kV NETWORKS OF TOWN NIS

Petar Vukelja, Jovan Mrvic, Dejan Hrvic, Vojin Kostic
Electrical Engineering Institute "Nikola Tesla", Belgrade



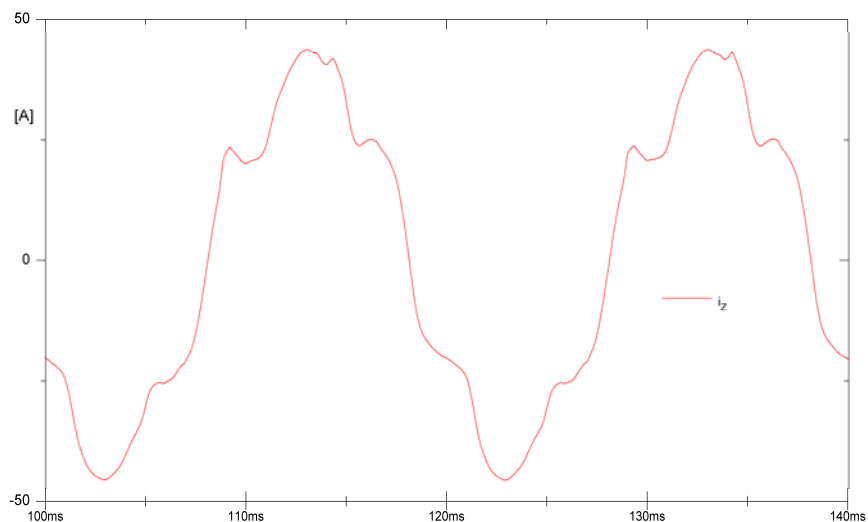
Slika 2.

- a) Prelazni fazni naponi u_{L1} i u_{L2} u TS 35kV/10kV „Centar 1“ u ćeliji br.2 „Starac Vujadin“ na ulazu u 10 kV kablovski vod (faza L2 je uzemljena u ćeliji br.2) na čijem kraju je transformator 10kV/0,4kV opterećen potrošačima 0,4 kV i napon u_{L2} na sabirnicama 10 kV pri uključenju vakuumnog prekidača 12 kV u ćeliji br.2 (uspostavljanje zemljospoja u fazi L2 u mreži 10 kV)
- b) Početni deo prelaznih faznih napona u_{L1} , u_{L2} i u_{L3}



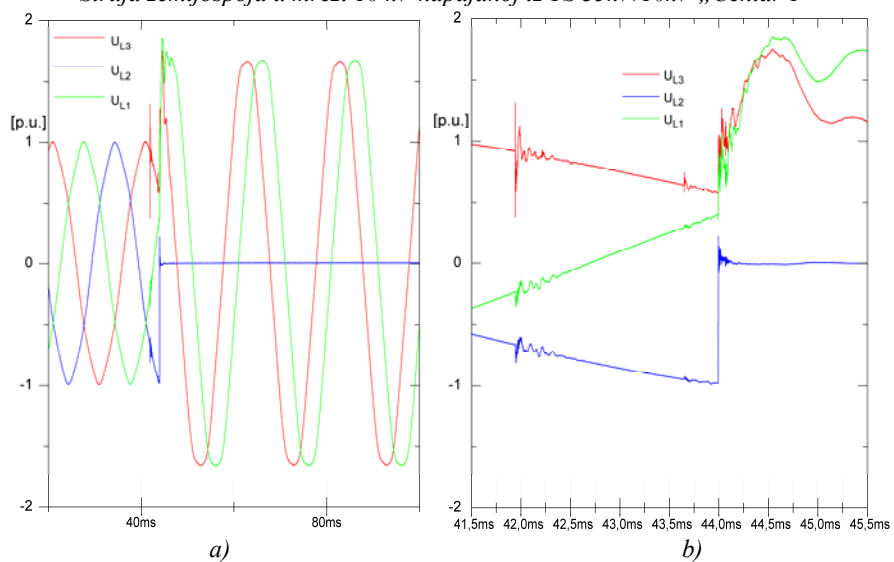
Slika 3.

- a) Prelazni fazni naponi u_{L1} i u_{L2} u TS 35kV/10kV „Centar 1“ u ćeliji br.2 „Starac Vujadin“ na ulazu u 10 kV kablovski vod (faza L2 je uzemljena u ćeliji br.2) na čijem kraju je transformator 10kV/0,4kV opterećen potrošačima 0,4 kV i napon u_{L2} na sabirnicama 10 kV pri isključenju vakuumnog prekidača 12 kV u ćeliji br.2 (prekidanje zemljospoja u fazi L2 u mreži 10 kV)
- b) Početni deo prelaznih faznih napona u_{L1} , u_{L2} i u_{L3}



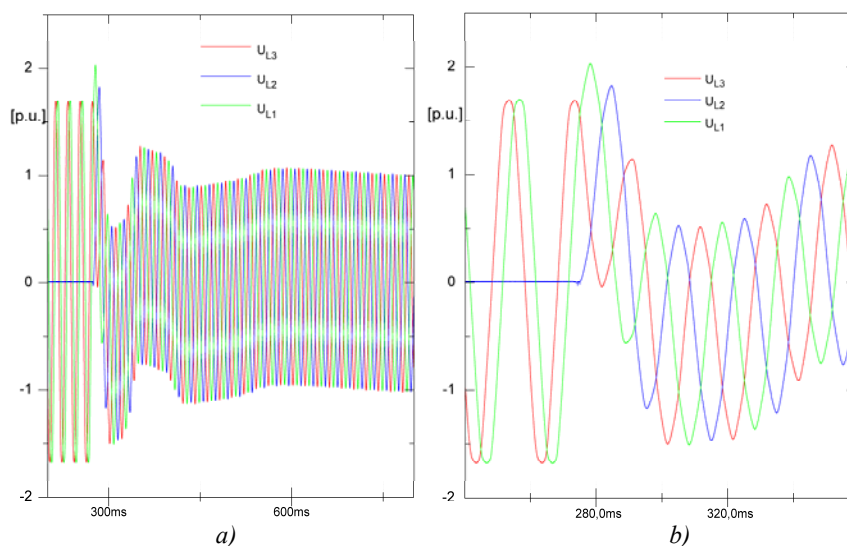
Slika 4.

Struja zemljospoja u mreži 10 kV napajanoj iz TS 35kV/10kV „Centar 1“



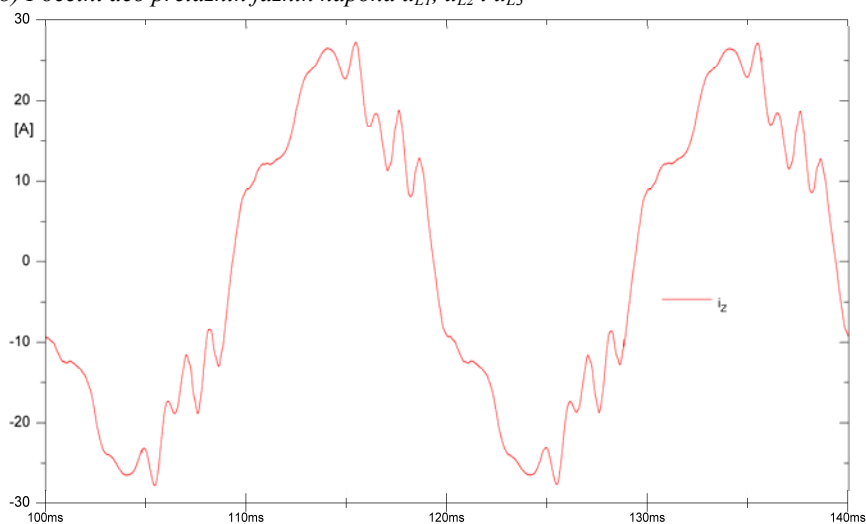
Slika 5.

- a) Prelazni fazni naponi u_{L1}, u_{L2} i u_{L3} na sabirnicama 10 kV u TS 35kV/10kV „Toponica“ pri uključenju malouljnimn prekidačem 12 kV u ćeliji br.10 „Gornja Toponica 3-Bačinarac 2“ kablovskog voda na kome je izveden zemljospoj na fazi L2
- b) Početni deo prelaznih faznih napona u_{L1}, u_{L2} i u_{L3}



Slika 6.

- a) Prelazni fazni naponi u_{L1} , u_{L2} i u_{L3} na sabirnicama 10 kV u TS 35kV/10kV „Toponica“ pri isključenju malouljnimn prekidačem 12 kV u ćeliji br.10 „Gornja Toponica 3-Bačinarac 2“ kablovskog voda na kome je izveden zemljospoj na fazi L2
- b) Početni deo prelaznih faznih napona u_{L1} , u_{L2} i u_{L3}



Slika 7.

Struja zemljospoja u mreži 10 kV napajanoj iz TS 35kV/10kV „Toponica“