

PROBLEM ZAŠTITE 35 KV POSTROJENJA SA IZOLOVANOM NEUTRALNOM TAČKOM U PLANINSKOM PODRUČJU OD PRENAPONA

M.SAVIĆ, R. KOVAČIĆ, M.ŽARKOVIĆ, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija
M.MIJIĆ, Elnos BL, Banja Luka, M. BANJANIN, Elektrotehnički fakultet u Istočnom Sarajevu, Bosna i Hercegovina

1. UVOD

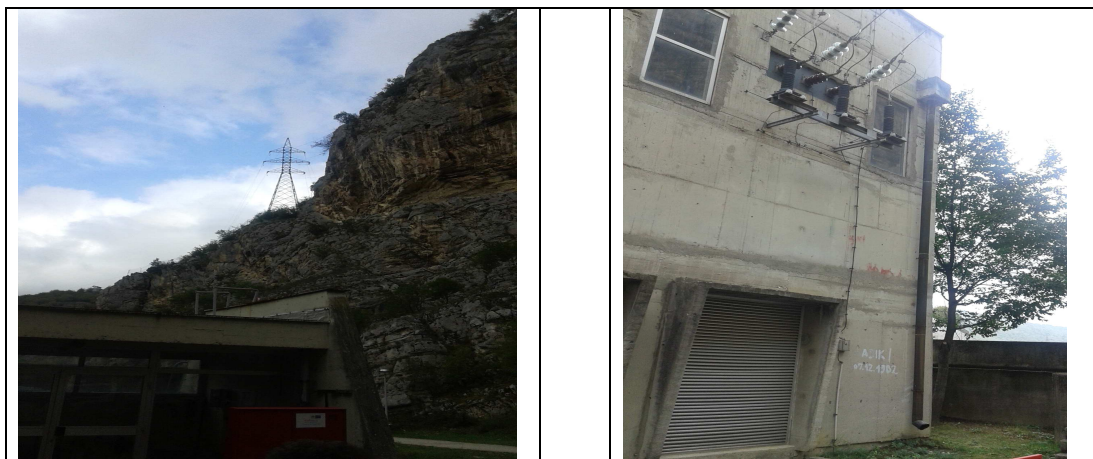
U toku eksploatacije u Hidroelektrani Bočac na Vrbasu u 35 kV postrojenju se desilo u kratkom roku nekoliko kvarova izolacije (proboj namotaja 35 kV suvog transformatora sopstvene potrošnje, proboj 35 kV kablovske glave, havarija 35 kV odvodnika prenapona, havarija 35 kV osigurača sa pojavom međufaznog luka praćenog eksplozijom). Mreža 35 kV je sa izolovanom neutralnom tačkom bez isključenja jednopolnog zemljospoja. Da bi se istražili uzroci havarija i ponudila rešenja, rađena je studija prenapona u sledećim pravcima:

- a) Studija atmosferskih prenapona kada su vodovi 35 kV sa zaštitnim užetom na kamenitom terenu ispred analiziranog postrojenja pogođeni atmosferskim udarom.
- b) Eksperimentalno istraživanje kontrolisanog jednopolnog zemljospoja sa lukom u 35 kV sistemu.
- c) Računska simulacija prenapona pri jednopolnom zemljospoju sa lukom u cilju provere tumačenja rezultata eksperimenata.

Pre početka rada na studiji prenapona uvidom na terenu ustanovljene su sledeće činjenice:

- Dvostruki nadzemni vod nazivnog napona 35 kV ispred transformatorske stanice je na čelično rešetkastim stubovima, postavljenim na stenovitom planinskom terenu, tako da su svojim položajem veoma eksponirani atmosferskim udarima (videti sliku 1.1 levo).
- Na spoljašnjem zidu zgrade postrojenja nalaze se odvodnici prenapona sa dugačkim zemljovodom do uzemljivača (videti sliku 1.1 desno). Od ulaska u zgradu postrojenja vode se kablovi do samog postrojenja i kućnih transformatora bez ikakve zaštite od prenapona, što je analizom ustanovljeno da je nedovoljno.
- Na osnovu dnevnika događaja utvrđeno je tačno vreme havarija. Od Nezavisnog operatera sistema Bosne i Hercegovine koji raspolaže sa rezultatima registracije sistema za detekciju i lociranje atmosferskih udara je utvrđeno da postoji korespondencija između havarija i atmosferskih udara na analiziranom području za pojedine od štetnih događaja. Na slici 1.2 levo prikazana je mapa sa označenim atmosferskim udarima iz programa za analizu registracije atmosferskih pražnjenja za termin kada se dogodila jedna od havarija za koju se postoji sumnja da je prouzrokovana atmosferskim pražnjenjima. Na slici 1.2 desno je satelitski snimak istog područja.

Prilikom analize dosta podataka je moralo da bude usvajano zbog nepoznavanja tačnih parametara mreže kao što su na primer otpornosti uzemljenja stubova dalekovoda, dužine pojedinih deonica voda, kapacitivnosti namotaja transformatora.



SLIKA 1.1 Levo – položaj drugog stuba ispred postrojenja, desno dužina zemljovoda od odvodnika do zemlje



SLIKA 1.2 - Mapa sa delom slike iz programa za analizu registracije atmosferskih pražnjenja sa zaokruženim mestom udara (levo) i deo satelitskog snimka područja (desno)

2. ANALIZA ATMOSFERSKIH PRENAPONA

2.1. Osnovni podaci o mreži, parametrima atmosferskih pražnjenja i načinu proračuna

Analiza atmosferskih prenapona rađena je specijalizovanim programskim paketom za proračun atmosferskih prenapona i statističke procene broja godina između dva kvara izolacije pojedine opreme prema (1,2). Po uobičajenoj proceduri analizira se najkritičnija uklopna šema sa uključenim samo jednim transformatorom sopstvene potrošnje i uključenim samo jednim vodom 35 kV, za koju se dobijaju najkritičniji rezultati. Izvršene su sledeće analize:

- Analiza prenapona i rizika kvara izolacije za postojeće stanje sa jednim setom odvodnika prenapona proizvođača A na ulazu 35 kV nadzemnog voda u postrojenje,
- Analiza uticaja kada se primenjuje po jedan set odvodnika prenapona ispred transformatora, a drugi set odvodnika uz kućni transformator kada se variraju odvodnici prenapona proizvođača A, B, C i D u cilju sagledavanja uticaja karakteristike preostalog napona odvodnika na ugroženost izolacije.

Na slici 2.1 data je skica dela šeme prilaznih 35 kV vodova na dvosistemskim stubovima, nacrtana u jednopolnoj predstavi, kao i šeme postrojenja 35 kV u zgradi sa označenim kablovima, rasklopnom opremom u izvlačivim ćelijama i kućnim transformatorima.

Na slici 2.2 dat je ekranski prikaz zamenske šeme za slučaj atmosferskog pražnjenja u prvi raspon (između prvog i drugog stuba ispred ulaza u transformatorsku stanicu. Na slici oznake imaju sledeće značenje:

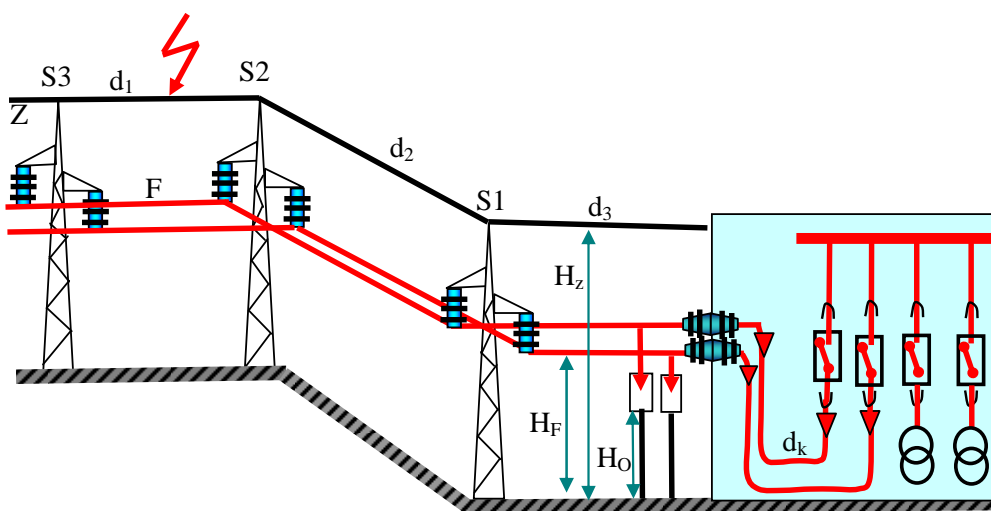
- CN – ulazna kapacitivnost naponskog mernog transformatora,
- CE – ulazna kapacitivnost namotaja 35 kV energetskog transformatora sopstvene potrošnje,
- OP1 – odvodnik prenapona ispred ulaza u zgradu postrojenja,

OP2 – odvodnik prenapona koji se kroz analizu priključuje uz transformator sopstvene potrošnje (analiza prenapona pokazuje da je ovaj odvodnik prenapona neophodan),

ZU – zaštitno uže, fiksirano za krov postrojenja i vezano zemljovodom za uzemljivač zgrade na brani,

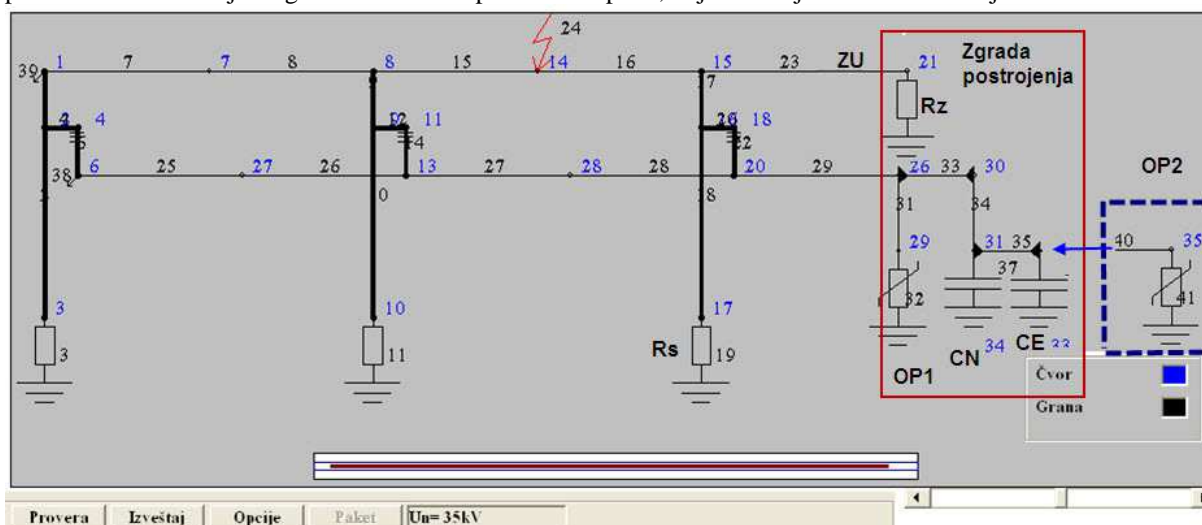
Rz otpora uzemljenja transformatorske stanice na brani koji je usvojen da iznosi 2Ω ,

Rs – otpornost uzemljenja stubova koja je varirana u granicama od 20 do 60Ω , jer se nije raspolagalo tačnom vrednošću, a vrednost otpornosti se menja u toku godine.



SLIKA 2.1- Šematski prikaz dispozicije priključenih vodova i razvodnog postrojenja 35 kV

Mesto udara groma se varira u statističkoj analizi duž raspona u 5 tačaka za svaki raspon. U predmetnoj studiji se pokazalo da su od najvećeg interesa udari u prva dva raspona, koji izazivaju dominantan broj kvarova.



SLIKA 2.2 - Ekranski prikaz zamenske šeme iz programa za proračun atmosferskih prenapona

Najvažniji parametri atmosferskog pražnjenja za koordinaciju izolacije su amplituda i strmina linearizovanog čela strujnog talasa. Pri proračunu se koristi talas linearno rastućeg čela i linearno opadajućeg začelja. Kada se radi jedna simulacija (deterministički proračun) sa usvojenom amplitudom struje groma, tada se preporučuje vrednost koja može biti premašena sa verovatnoćom od samo 2% saglasno usvojenoj raspodeli verovatnoće struje groma.

Kod statističkog proračuna važan parametar je gustina atmosferskih pražnjenja. Postoje podaci o gustini atmosferskih pražnjenja, odnosno broj udara po km^2 u toku 1 god na osnovu klasičnih osmatranja i merenja Hidro-meteoroloških službi. Danas se raspolaze sa kartama godišnja gustina pražnjenja na osnovu analize rezultata registracija lokacija atmosferskih udara, međutim rezultati za dostupan period registracije od svega 3 godine sa kojim se raspolagalo nisu dovoljno pouzdani da bi bili osnova za ulazne podatke za proračun.

Naznačeni napon odvodnika prenapona određen je prema standardnoj proceduri za izbor odvodnika, usvajajući faktor sigurnosti pri proceni privremenih prenapona usled zemljospoja u izolovanoj mreži u kojoj se zemljospoj samo signalizira, ali se ne isključuje. Kompletna procedura izbora odvodnika u mreži nazivnog napona 35 kV sa izolovanom neutralnom tačkom data je u tabeli 2.1.

TABELA 2.1 - Izbor odvodnika u mreži nazivnog napona 35 kV sa izolovanom neutralnom tačkom i neograničenim trajanjem zemljospoja

Br	Parametri mreže	Oznaka	Vrednost	Jedinica
1	Nazivni napon mreže	Un	35	kV
2	Najviši radni napon mreže	Um	38	kV
3	Faktor uzemljenja mreže	Kz	1.73	rj
4	Trajanje zemljospoja	Tz	∞	s
5	Faktor sigurnosti pri proračunu napona pri zemljospoju	Ks	1.1	rj
6	Maksimalni prenaponi pri zemljospoju $U_{tz}=K_z K_s U_m$	Utz	41.8	kV
Izbor odvodnika				
7	Trajni radni napon $U_c=U_m/1.73$	Uc	21.9	kV
8	Faktor proizvođača	Ko	0.8	rj
9	Minimalni naznačeni napon odvodnika baziran na trajnom radnom naponu $U_{rc}=U_c/K_o$	Urc	27.4	kV
10	Minimalni naznačeni napon odvodnika baziran na privremenom prenaponu pri zemljospoju $U_{rz}=U_{tz}/K_o$	Urz	52.25	kV
11	Naznačeni napon odvodnika kao maksimalna vrednost između predhodnih vrednosti	Ur	52.25	kV

U Tabeli 2.2 dati su podaci o preostalom naponu analizirana četiri tipa odvodnika prenapona nazivnog napona višeg od 52.5 kV

TABELA 2.2: Podaci o preostalom naponu analiziranih odvodnika prenapona

Oznaka proizvođača	A	B	C	D
Naznačeni napon	54	53.8	54	54
Amplituda udarne struja (kA) 8/20 (μs)	Preostali napon (kV)			
5	138.1	121.8	117	114
10	146.9	129.8	124	122
20	161.6	147.1	138	134
Klasa rasterećenja vodova	2	2	2	3

U klasičnom proračunu je kriterijum za ispravno odabrani podnosivi napon izolacije da prenaponi ne pređu podnosivi udarni atmosferski napon, koji za mrežu 35 kV iznosi 170 kV, koliko iznosi ispitni napon za izolaciju uređaja. Zbog mogućeg slabljenja izolacije usled starenja, kao i usled različitih faktora kao što je uticaj temperature, uslova eksploatacije i drugih faktora, uvodi se koeficijent sigurnosti koji se usvaja $K_s=1.15$ prema IEC (3). To znači da se usvaja kriterijum da je izolacija ugrožena ako maksimalni izračunati prenapon u determinističkom proračunu pređe vrednost $170/1.15=148$ kV. Pri statističkom proračunu usvajaju se kriterijumi ugroženosti prema tabeli 2.3 prema (4).

TABELA 2.3 - Minimalne dozvoljene vrednosti očekivanog srednjeg broja godina bez kvara izolacije analizirane opreme u funkciji važnosti opreme

Oprema	MTBF (god)
Energetski transformator	400
Naponski transformator NT	100
Odvodnik prenapona	25

2.2. Rezultati proračuna

Proračuni su rađeni determinističkom metodom za najkritičnije mesto pražnjenja (stub S2 na slici 3, odnosno čvor 8 u šemi na slici 2.2). Amplituda struje pražnjenja je usvojena da bude 121 kA, a strmina struje 43 kA/ μ s. To su veličine čije je premašenje moguće sa verovatnoćom od 2% prema usvojenoj statističkoj raspodeli amplituda i struja atmosferskih pražnjenja [1]. U nastavku su proračuni rađeni statističkom metodom kada je mesto proračuna varirano na 5 lokacija duž svakog raspona na prva dva raspona ispred postrojenja. Proračuni su rađeni kada se koristi samo odvodnik prenapona tipa A ispred ulaza u postrojenje i kada se koriste dva seta odvodnika prenapona, jedan na ulazu u postrojenje, a drugi uz kućni transformator. U tabeli 2.4 prikazani su rezultati proračuna klasičnom i statističkom metodom kada se koristi samo jedan set odvodnika prenapona, u tačkama CE (energetski transformator) i CN (naponski transformator), za otpore uzemljenja 20 i 60 Ω . Otpornost uzemljenja je varirana u širokim granicama, jer nije bila poznata, a ima veliki uticaj na rezultate.

TABELA 2.4 - Rezultati proračuna klasičnom i statističkom metodom kada se koristi samo jedan set odvodnika prenapona na ulazu u postrojenje

Otpor (Ω)	20	60	20	60
Element	U _{max} (kV)		MTBF(god)	
CE	375	454	16.2	5.1
CN	379	461	16.2	5.2

Može se uočiti da prenaponi daleko premašuju podnosivi napon izolacije od 170 kV, a srednje vreme između kvarova je daleko kraće od usvojenog prihvatljivog vremena iz tabele 2.3 Crveno obojene cifre označavaju da su parametri u tabeli u zoni nedozvoljenih vrednosti.

U tabeli 2.5 prikazani su zbirni rezultati za klasičan i statistički proračun ugroženosti izolacije u tačkama CE i CN, kada se primenjuju 2 seta odvodnika prenapona prenapona po izvodu. U tabelama 2.4 i 2.5 oznaka U_{max} (kV) označava maksimalni izračunati prenapon, a MTBF(god) označava srednji broj godina između dva kvara izolacije. Može se uočiti da se najbolji rezultati postižu odvodnicima tipa D, jer su maksimalni prenaponi najniži, a srednje vreme između kvarova izolacije najduže.

TABELA 2.5 - Rezultati klasičnog i statističkog proračuna naprezanja izolacije na naponskom i energetskom transformatoru usled atmosferskih pražnjenja u vod 35 kV ispred transformatorske stanice kada se primenjuju dva seta odvodnika

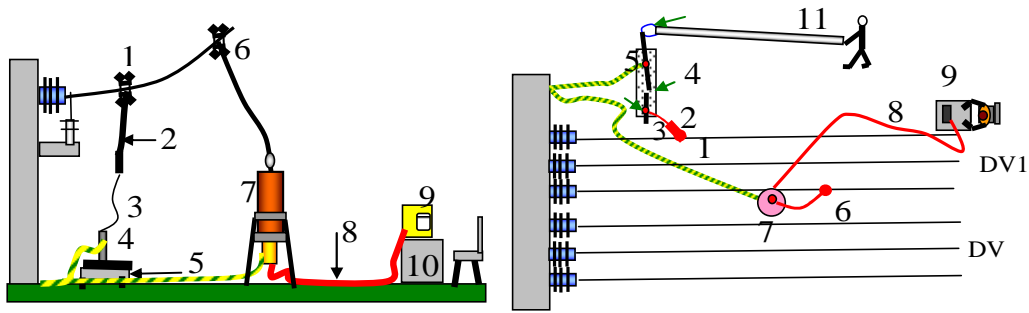
	A		B		C		D	
Otpor (Ω)	20	60	20	60	20	60	20	60
Element	U _{max} (kV)							
CE	158	170	155	165	155	165	145	154
CN	191	206	189	204	189	204	174	191
Element	MTBF(god)							
CE	1407.	715.7	1404.	788.	1405	717.94	6336.7	5843
CN	155.4	44.1	154	43.0	155	43.2	296.2	67.6

3. EKSPERIMENTALNA ANALIZA PRENAPONA PRI ZEMLJOSPOJU SA LUKOM

Istraživanja prenapona usled kontrolisanih zemljospojeva u mreži sa izolovanom neutralnom tačkom su urađena eksperimentalno u mreži 35 kV na HE Bočac 1 i numeričkim simulacijama pomoću vlastitog kompjuterskog programa razvijenog na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Izvršeno je upoređivanje rezultata numeričkih simulacija i snimaka sa eksperimentalnog istraživanja i procenjene su najviše vrednosti prenapona koje se mogu pojaviti u mreži.

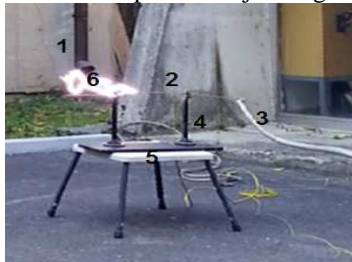
Skica razmeštaja merne opreme za eksperimente sa veštački iniciranim zemljospojem prikazana je na slici 3.1. Oznake na slici 3.1 imaju sledeće značenje: 1. Stezaljke za priključak veze faznog provodnika za iskrište, 2. Veza od faznog provodnika velikog preseka, 3. Veza od tankog provodnika od kraja provodnika velikog preseka do iskrišta. U slučaju uspostavljanja dvopolnog kratkog spoja uloga tankog provodnika je da izgori i na taj način deluje kao osigurač, 4. Iskrište, 5. Postolje za iskrište, 6. Stezaljke za priključak veze od faznog

provodnika do delila napona, 7. Delilo napona, 8. Koaksijalni kabl do osciloskopa. 9. Osciloskop, 10. Izolacioni sto, 11. Izolaciona motka za upravljanje iskrištem.



SLIKA 3.1: Skica razmeštaja merne opreme na terenu

Na slici 3.2 prikazana je fotografija iskrišta sa električnim lukom i izolacionom šipkom za pomeranje iskrišta.

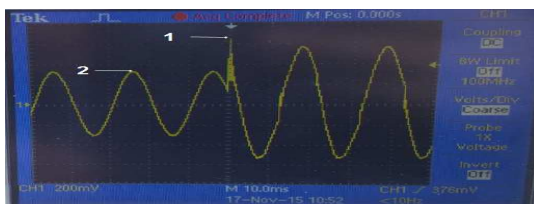


1. Visokonaponski provodnik
2. Elektrode iskrišta
3. Izolaciona šipka za razmicanje iskrišta
4. Obrtni izolatori
5. Drveno postolje
6. Električni luk između elektroda iskrišta

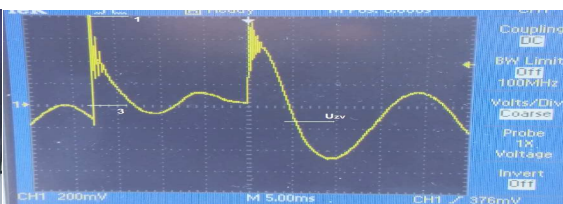
SLIKA 3.2- Fotografija iskrišta sa električnim lukom sa listom oznaka

Izvršeno je nekoliko eksperimenata pri kojima je zemljospoj uspostavljan preko električnog luka čija je dužina kontrolisana pomoću dugačke izolacione motke kojom je vršena promena razmaka između elektroda iskrišta. Eksperimenti su rađeni za slučaj kada je samo jedan vod 35 kV dužine 7 km uključen i kada je i drugi vod dužine 14 km uključen. Snimci su registrovani samo na jednoj fazi na osciloskopu jer se nije raspolagalo sa 3 delila napona. Na slikama 3.3, 3.4, 3.5 i 3.6 prikazani su neki od talasnih oblika napona registrovanih na osciloskopu.

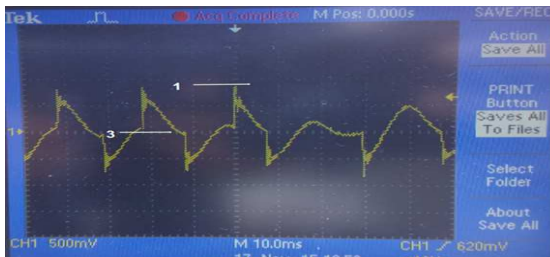
Izmerene temene vrednosti prenapona u kV i u relativnim jedinicama u odnosu na trajnu vrednost radnog napona u toku merenja date su u tabeli 3.1. Uočeno je da je trajni radni napon u toku odvijanja eksperimenata viši od deklarisanog trajnog radnog napona, koji iznosi 38 kV.



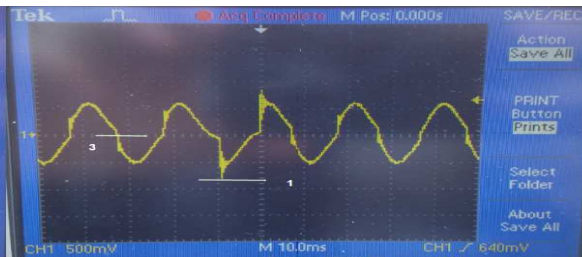
SLIKA 3.3- Napon pri uspostavljanju kvara



SLIKA 3.4-Dva uzastopna paljenja i gašenja luka



SLIKA 3.5- Naponi pri zemljospoju sa lukom kada je uključen samo vod dugačak 7 km



SLIKA 3.6- Naponi pri zemljospoju sa lukom kada su uključena oba voda ukupne dužine 21 km

U tabeli 3.1 prikazani su broječni rezultati registracije koji odgovaraju karakterističnim snimcima:

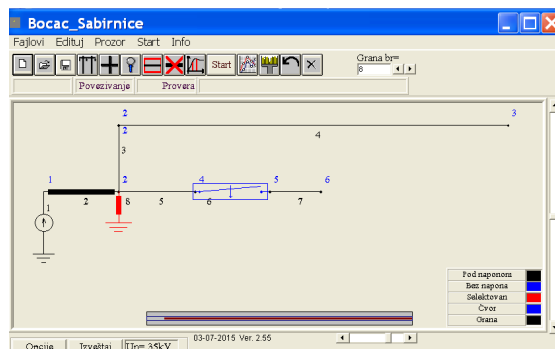
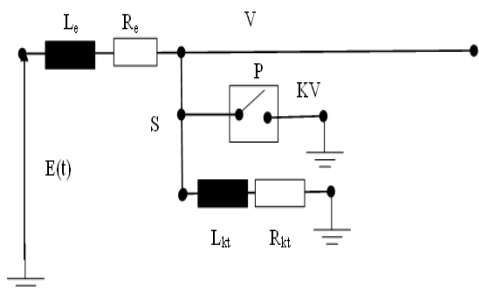
TABELA 3.1- Broječni rezultati registracije koji odgovaraju karakterističnim snimcima

Br.	U _{max}	Koef. prenapona	Slika
1	72.83	2.125	3.3
2	85.68	2.500	3.4
3	96.39	2.813	3.5
4	91.04	2.656	3.6

Izvršen je relativno mali broj eksperimenata zbog opasnih prenapona koji se pri eksperimentima pojavljuju, a u radu su prikazani najizraženiji slučajevi prenapona. Međutim, može se očekivati da se u praksi pojave još viši prenaponi u određenim okolnostima. Visina prenapona zavisi od razmaka između faznog provodnika i uzemljenog dela prema kome se pojavljuje električni luk, tako da se može pojaviti intermitentno gorenje luka, kao i od struja zemljospoja koja zavisi od kapacitivnosti svih uključenih vodova u sistemu. Pošto su oba faktora slučajna, ne može se unapred predvideti koliki se maksimalni prenaponi mogu pojaviti.

4. NUMERIČKA SIMULACIJA PRENAPONA PRI ZEMLJOSPOJU SA LUKOM

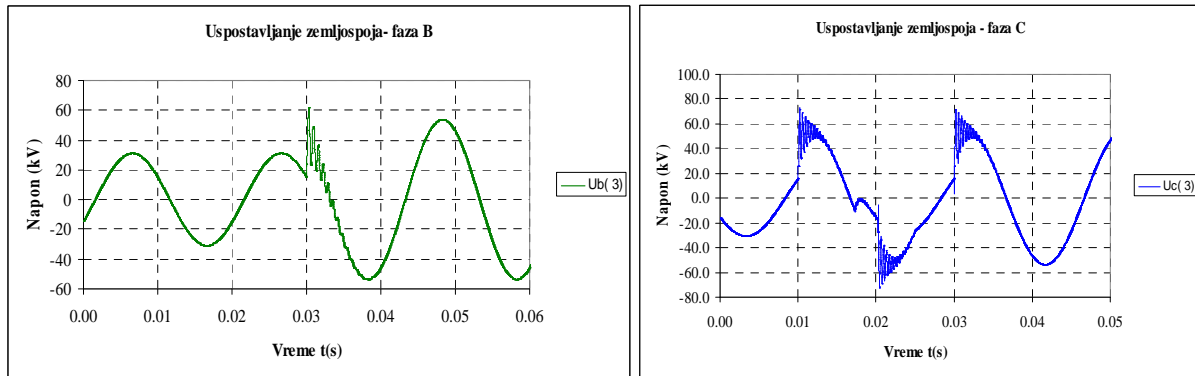
Izvršena je numerička simulacija pomoću vlastitog programa koji omogućava modelovanje električnog luka koji se pali kad napon između elektroda prevaziđe određeni nivo, a gasi prilikom prolaska struje luka kroz nulu. Postoji mogućnost da se manuelno isprogramiraju trenutci paljenja i gašenja luka. Na slici 4.1 prikazana je zamenska šema 35 kV sistema u kome je modelovan zemljospoj (levo) i ekranski prikaz zamenske šeme u programu za proračun sklopnih prenapona (desno). U ekranskom prikazu su induktiviteti i omski otpor iz zamenske šeme objedinjeni u jedan elemenat. Šema se prikazuje jednofazno, ali su svi proračuni rađeni trofazno, s tim što su u radu rezultati prikazani za onu fazu za koju je ustanovljeno najbolje slaganje računskih i eksperimentalnih rezultata. Elementi su modelovani direktnim i nultim parametrima. Električni luk je modelovan prekidačem između faznih provodnika i zemlje. Iako se to u ekranskom prikazu ne vidi, samo jedan pol prekidača komutira na taj način što se luk pali kada napon pređe određeni nivo, a gasi kada struja prođe kroz nulu.



SLIKA 4.1- Zamenska šema sistema (levo) i ekranski prikaz šeme u programu za proračun prenapona (desno)

Oznake na šemi 4.1 levo imaju sledeće značenje: $E(t)$ – ekvivalentna elektromotorna sila sistema, L_e – induktivitet izvora, R_e – omska otpornost izvora, V – nadzemni vod dužine 7 km, S – sabirnica, P – prekidač koji modeluje mesto kvara sa električnim lukom, KV – kratak vod koji predstavlja vezu između iskrišta i zemlje, L_{kt} – induktivitet koji simulira teret kućnog transformatora, R_{kt} – otpornost koja simulira teret kućnog transformatora. Pošto su eksperimenti rađeni sa minimalnim teretom, simulacije su rađene takođe sa usvojenom velikom vrednošću induktiviteta i omskog otpora (kućni transformator neopterećen). Nelinearna karakteristika grane magnećenja kućnog transformatora nije uzeta u obzir. Svi parametri kućnog transformatora su usvojeni, jer se nije raspolagalo tačnim podacima.

Na slici 4.2 levo prikazan je dijagram izračunatog prelaznog napona na neoštećenom faznom provodniku izračunat na početku voda (tačka S) kada se događa uspostavljanje zemljospoja, stim što je izabran isti trenutak nastanka zemljospoja kao u eksperimentu na slici 3.3. Na slici 4.2 desno pojavljuju višestruka paljenja i gašenja luka. Varirane su karakteristike uspostavljanja dielektričke izdržljivosti između kontakata tako da se dobije što bolje slaganje između izmerenih i izračunatih rezultata prema slici 3.5.



SLIKA 4.2 - Simulacija prenapona na zdravoj fazi pri nastanka zemljospoja (levo) i prikaz prenapona pri intermitentnom gorenju luka (desno)

Može se uočiti relativno dobro poklapanje rezultata numeričke simulacije i merenja, što pokazuje da su pri tumačenju rezultata eksperimenata dobro prepoznati uzroci prenapona.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata analize atmosferskih prenapona i prenapona pri zemljospojevima u 35 kV mreži HE Bočac 1 mogu se doneti sledeći zaključci:

- Postojeća prenaponska zaštita sa jednim setom odvodnika prenapona proizvođača A po svakom od dalekovodnih izvoda nije adekvatna. Neophodno je uvesti dodatni set odvodnika prenapona uz svaki od kućnih transformatora postavljen što bliže priključcima transformatora sa što kraćim zemljovodom vezanim za istu tačku uzemljenja u kojoj je transformator vezan. Poželjno je da odvodnici budu fiksirani za konstrukciju transformatora, ali tako da struja pražnjenja protiče kroz zemljovod.
- Između 4 tipa odvodnika prenapona ustanovljeno je da postoji razlika u stepenu zaštite u zavisnosti od karakteristike preostalog napona odvodnika.
- Veoma je teško sprovesti uspešnu koordinaciju izolaciju za celo postrojenje 35 kV (proračuni pokazuju da su naponski transformatori nedovoljno zaštićeni), zbog toga što je mreža sa izolovanom neutralnom tačkom i zemljospoj može neograničeno dugo da traje. Iz tog razloga se mora birati odvodnik prenapona čiji je naznačeni napon veći od 52.5 kV. Ukoliko bi se zemljospoj isključivao posle relativno kraćeg vremena, na primer 1 min, tada bi se mogao izabrati naznačeni napon reda 42-45 kV (što zavisi od proizvođača).
- Merenja i eksperimenti pokazuju da postoji opasnost od intermitentnih prenapona, koji ne mogu trenutno da ugroze izolaciju opreme, ali njihovo često pojavljivanje može da utiče na povećano naprezanje i degradiranje izolacije pojedine opreme i do čestih kvarova. Odvodnici prenapona ne mogu da utiču na redukciju ovih prenapona.
- Prilikom izbora energetske klase odvodnika prenapona treba voditi računa da iako su privremeni prenaponi niži od dozvoljenih privremenih prenapona, kratkotrajni intermitentni prenaponi mogu da izazovu dodatno zagrevanje odvodnika prenapona, pa treba izabrati odvodnike sa većom energetskom apsorpcionom moći.
- Kao jedino efikasno rešenje se predlaže prelazak na uzemljenje neutralne tačke preko male impedanse, što je praktično neizvodljivo u analiziranoj mreži.

6. LITERATURA

- Savić, M.S; Savić, A: „Substation Lightning Performance Estimation due to Strikes into Connected Overhead Lines“, IEEE Transactions on Power Delivery, 2015, Vol. 30, br. 4, str.1572-1760.
- Savić, M. Z Stojković, 2001, Tehnika visokog napona - atmosferski prenaponi, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, str.323.
- IEC 60071-2: Insulation co-ordination –Part 2: Application guide, Third edition 1996-1, str.87.
- IEC 60071-2: Insulation co-ordination –Part 2: Application guide, Third edition 1996-1, str.207.