

Primena različitih programskih alata u analizi atmosferskih prenapona

Vladimir Antonijević

Energetika/Katedra za elektroenergetske sisteme
Univerzitet u Beogradu Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
antonijevic@etf.rs

Mileta Žarković, Zlatan Stojković

Energetika/Katedra za elektroenergetske sisteme
Univerzitet u Beogradu Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
mileta@etf.rs, zstojkovic@etf.rs

Sadržaj—U radu je detaljno prikazan algoritam povezivanja programskih alata ATP/EMTP i MATLAB u svrhu koordinacije izolacije razvodnog postrojenja naznačenog napona 110 kV koje je povezano na trasu 110 kV nadzemnog voda. Rad sadrži detaljan opis modela svih elemenata značajnih za analizu. Rad analizira rezultate izračunatih prenapona u programskom alatu ATP/EMTP pri variranju amplitude i strmine čela talasa primenom alata MATLAB. Kao rezultat dobijen je prostorni grafik prenapona u funkciji strmine i amplitude atmosferskog talasa. Modeli, razvijeni algoritam i rezultati mogu poslužiti za naprednu analizu atmosferskih parametara.

Ključne reči - koordinacija izolacije; atmosfersko pražnjenje; ATP-EMTP; MATLAB

I. UVOD

Koordinacija izolacije ima značajnu ulogu pri projektovanju elektroenergetskih sistema (EES) i postrojenja. Nepravilna koordinacija izolacije dovodi do nepouzdanog rada elektroenergetskog sistema. Pri pojavi direktnih atmosferskih pražnjenja u elemente elektroenergetskih sistema javljaju se velike struje koje uzrokuju pojavu visokih prenapona, što izaziva privremene poremećaje ili prekide napajanja u EES. Pored ovakvih nedopustivih stanja EES-a usled neadekvatne zaštite od atmosferskih pražnjenja mogu se javiti velike havarije praćene znatnim ekonomskim gubicima.

U [1] je u sklopu projektovanja zaštite od atmosferskih prenapona hidroelektrane izvršena koordinacija izolacije i određena kriva opasnih parametara za SF6 postrojenje. U [2] se analizira uticaj različitih modela elemenata na vrednost struje u kanalu groma koja uzrokuje povratni preskok na dalekovodu. Rad [3] se bavio modelovanjem preskoka na dugim vazdušnim razmacima pri delovanju atmosferskih prenapona. U [4] je primenjena Monte-Karlo procedura za određivanje povratnog preskoka nadzemnih vodova u programskom alatu ATP/EMTP. Rad [5] se bavi tematikom prenaponske zaštite 110 kV dalekovoda pri čemu su stubovi modelovani kao LCC modeli, a zavisnost strmine od amplituda atmosferskog pražnjenja je varirana ručno.

Nijedan od pomenutih radova kao rezultat ne generiše vrednost prenapona elemenata postrojenja u funkciji strmine i amplitude atmosferskog pražnjenja. Praktična prednost dobijenog prostornog grafika, datog u ovom radu, je u tome što se lako može odrediti pri kojim vrednostima amplituda i strmine čela atmosferskog talasa pražnjenja dolazi do probaja, odnosno preskoka. Rad takođe detaljno prikazuje algoritam povezivanja ATP/EMTP i MATLAB alata za formiranje

prostorne krive opasnih parametara. U MATLAB-u je vršeno variranje strmine i amplitude talasa atmosferskog pražnjenja i vrednosti su prosleđivane alatu ATP/EMTP, koji je izvršavao simulacije. Na kraju je u MATLAB-u grafički prikazan dobijeni rezultat.

II. TEORIJSKO OBJAŠNJENJE I MODELOVANJE

U tekstu koji sledi je opisan matematički model svih bitnih elemenata u cilju formiranja što preciznijeg simulacionog modela. Tačnost simulacije prelaznih procesa u visokoj meri zavisi od načina modelovanja elemenata.

A. Model faznog provodnika i zaštitnog užeta

Fazni provodnici su modelovani kao vodovi sa raspodeljenim parametrima, uz pretpostavku da je do povratnog preskoka došlo na najvišem provodniku. Karakteristična impedansa provodnika se računa preko formule:

$$Z_f = 60 \ln \frac{2H_{ef}}{R_{ekv}} \quad (1)$$

$$H_{ef} = H_v - \frac{2}{3} f_p \quad (2)$$

gde su: H_{ef} - efektivna visina faznog provodnika iznad zemlje, H_v - visina vešanja provodnika na stubu, f_p - ugib faznog provodnika na sredini raspona, R_{ekv} - ekvivalentni poluprečnik snopa.

Pri simulacijama za potrebe modelovanja postrojenja, u ovom radu su korišćene sledeće vrednosti:

- $R_u = 0,0085$ m,
- $H_{st} = 17,3$ m,
- $f_p = 4,6$ m,
- $H_{ef} = 14,3$ m,
- $Z_f = 487 \Omega$.

Karakteristična impedansa zaštitnog užeta se računa prema formulama:

$$Z_u = 60 \ln \frac{2H_{ef}}{R_u} \quad (3)$$

$$H_{ef} = H_{st} - \frac{2}{3} f_u \quad (4)$$

gde su: H_{ef} - efektivna visina zaštitnog užeta iznad zemlje, H_{st} - visina stuba, f_u - ugib zaštitnog užeta na sredini raspona i R_u – poluprečnik užeta.

Sledeće vrednosti su korišćene:

- $R_u = 0,0045$ m,
- $H_{st} = 20,6$ m,
- $f_u = 4,6$ m,
- $H_{ef} = 20,46$ m,
- $Z_u = 547 \Omega$.

B. Model dalekovodnog stuba

Dalekovodni stubovi su modelovani kao kratki vodovi konstantne karakteristične impedanse na čijem se drugom kraju nalazi otpornost uzemljenja. Dobijanje impedanse stuba tipa „Jela“ je izvršeno sledećim izrazom [2]:

$$Z_g = 30 \ln \left[\frac{2(H^2 + R^2)}{R^2} \right] \quad (5)$$

Sledeće vrednosti su korišćene:

- $H = 20,6$ m,
- $R = 1,75$ m,
- $Z_g = 169 \Omega$.

C. Model uzemljivača dalekovodnog stuba

Otpornost uzemljivača dalekovodnog stuba ima dominantan uticaj na pojavu preskoka, zbog čega je važno što vernije je modelovati. Svi uzemljivači stubova su modelovani kao otpornici vrednosti 20Ω . Međutim, pri atmosferskim pražnjenjima velikog intenziteta usled pojave jakog električnog polja dolazi do ionizacije zemljista. Ovaj efekat ima pozitivan uticaj jer utiče na smanjenje udarne otpornosti uzemljivača. Zbog pojave ionizacije tla otpor uzemljivača ima nelinearnu karakteristiku, čija se zavisnost od amplitude struje groma može predstaviti sledećim izrazom [2]:

$$R = \frac{R_0}{\sqrt{1 + \frac{I}{I_g}}} \quad (6)$$

gde su: R_0 – otpor uzemljenja stuba pri 50 Hz, jednak 20Ω u ovom radu, I – amplituda struje groma koju odvodi uzemljivač u kA , I_g – granična struja groma u kA koja se računa prema izrazu:

$$I_g = \frac{\rho \cdot E_0}{2\pi R_0^2} \quad (7)$$

gde su: ρ - specifična električna otpornost tla, vrednost $500 \Omega m$ je usvojena u ovom radu, E_0 – jačina električnog polja pri kojoj dolazi do ionizacije zemljista, 400 kV/m.

D. Model preskoka na izolaciji

Preskočna karakteristika vazdušne izolacije se može modelovati preko tri metode [2]:

1. Volt-sekundna karakteristika izolacije (V-t),

2. Metod površine (EA),

3. Metod progresivnog lidera (LPM).

Prva metoda se preporučuje za proračun preskočnih napona pri delovanju prenapona standardnog oblika, dok se druge dve metode preporučuju za korišćenje i kod delovanja standardnih i kod delovanja nestandardnih talasnih oblika prenapona [2].

Prva preskočna karakteristika je modelovana sledećim izrazom:

$$U(t) = d \cdot (K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}}) \quad (8)$$

gde su: K_1 , K_2 – empirijske konstante, vrednosti 400 i 710 respektivno, d - dužina međuelektrodnog rastojanja [m], vrednosti $0,96$ m i t - vreme do preskoka [μs] [2].

Preskok pri korišćenju metode površine (EA) se javlja ukoliko je ispunjen uslov $DE \geq A_k$ pri čemu je DE definisano kao:

$$DE = \int_{t_0}^{t_b} (U(t) - V_0) dt \quad (9)$$

dok je A_k kritična površina pri kojoj se javlja preskok na izolaciji, i zavisi od dužine vazdušnog razmaka, $A_k = 520 \cdot d$, gde je za d usvojena dužina od $0,96$ m. Konstanta V_0 takođe linearno zavisi od dužine međuelektrodnog rastojanja, kao $V_0 = 495 \cdot d$ [2].

Treća preskočna karakteristika metode progresivnog lidera je definisana:

$$V(t) = 170 \cdot d \cdot \left(\frac{U(t)}{d - l} - E_0 \right) \cdot e^{0.0015 \frac{U(t)}{d}} \quad (10)$$

gde su: d – rastojanje između elektroda [m], l – dužina lidera [m], $U(t)$ – trenutna vrednost prenapona [kV], E_0 – kritična jačina električnog polja i iznosi 545 kV/m. Dužina lidera se računa kao $l = V(t) \cdot t$. Preskok se javlja ukoliko je ispunjen uslov $l \geq d$ [2].

E. Model atmosferskog pražnjenja

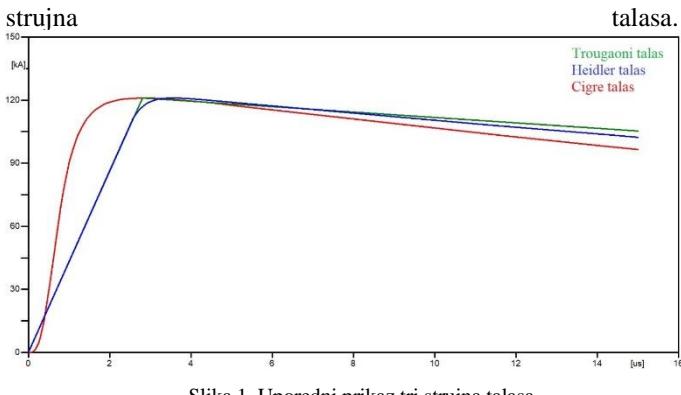
Model atmosferskog pražnjenja je moguće predstaviti preko strujnog generatora i to:

- 1.Talas linearno rastućeg čela i linearno opadajućeg začelja,
- 2., „Heidler“ izvor,
- 3., „Cigre“ izvor.

Trougaoni talasni oblik je najjednostavniji za primenu i variranje amplitude i strmine. Ipak, on najlošije odgovara realnom talasnom obliku struje groma. Generator „Heidler“ je pogodan kada se na jednostavan način želi modelovati konkavno čelo strujnog talasa. Ovaj model struje groma može se analitički predstaviti izrazom:

$$I(t) = \frac{I_M}{h} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n} \cdot e^{\frac{t}{\tau_2}} \quad (11)$$

gde su: I_M – maksimalna vrednost struje groma u kA , h – korekcioni faktor temene vrednosti struje, n – koeficijent za koji se predlaže vrednost 3 i τ_1 , τ_2 – vremenske konstante čela i začelja talasa. Na Sl. 1 se može videti uporedni prikaz tri



Slika 1. Uporedni prikaz tri strujna talasa

F. Model odvodnika prenapona

U alatu ATP/EMTP odvodnik se zadaje parovima tačaka napon-struja (V-I), kao u tabeli I. Nakon toga program sam vrši linearnu interpolaciju kako bi dobio kontinualan opseg od najmanje do najviše zadate vrednosti.

TABELA I Karakteristika odvodnika prenapona u ATP/EMTP

I [kA]	0	5	10	20
U [kV]	200	227	248	281

G. Model transformatora i prekidača

Naponski, strujni i energetski transformatori, kao i prekidači su modelovani svojim ulaznim kapacitivnostima:
 -*C_nt* – kapacitivnost naponskog transformatora, 300 pF,
 -*C_st* – kapacitivnost strujnog transformatora, 700 pF,
 -*C_et* – kapacitivnost energetskog transformatora, 3 nF,
 -*C_p* – kapacitivnost prekidača u zatvorenom položaju, 500 pF.

III. PROGRAMSKI ALATI

Programski alat ATP/EMTP (*The Electromagnetic Transients Program/The Alternative Transients Program*) služi za numeričku simulaciju elektromagnetskih i elektromehaničkih prelaznih procesa u elektroenergetskom sistemu [7]. Primarna upotreba programske alate se odnosi na projektovanje elektroenergetskih sistema koji uključuju izbor opreme, koordinaciju izolacije, specifikaciju uređaja za zaštitu itd. EMTP/ATP poseduje širok spekter različitih modela, a to su: modeli transformatora, rotacionih mašina, odvodnika prenapona, nadzemnih vodova i kablova. Omogućava izvršenje simulacije kompleksne mreže proizvoljne strukture u vremenskom domenu. Moguće je izvršiti analizu sistema upravljanja, opreme, energetske elektronike i komponenti sa nelinearnim karakteristikama. Primenom ovog programske alata vrši se analiza simetričnih i nesimetričnih režima rada izazvanih kvarovima, atmosferskim ili sklopnim prenaponima.

MATLAB je softverski paket namenjen rešavanju matematičkih problema, analizi podataka i vizuelizaciji, crtanju funkcija i podataka, implementaciji algoritama, kreiranju korisničkog interfejsa, kao i povezivanju sa programima napisanim na drugim jezicima [8]. Ovaj program u sebi integriše principe numeričke analize, matrični račun, obradu podataka i grafički prikaz. Kao jedan od modula u

okviru MATLAB-a koji se najviše koristi, primena Simulink-a je neizostavna u simulacijama. Simulink je grafičko programsko okruženje za modelovanje i simulaciju dinamičkih sistema. Koristi se u analizi linearnih, nelinearnih, vremenski kontinualnih ili diskretnih multivarijabilnih sistema sa koncentrisanim parametrima. Realizacija simulacija se ostvaruje formiranjem Simulink modela i korišćenjem odgovarajućih Simulink funkcija koje su namenjene numeričkom rešavanju sistema običnih diferencijalnih jednačina prvog reda [9].

Osnovna prednost je jednostavnost u radu koja se ogleda u prikazivanju modela u obliku blok-dijagrama. Blok-dijagram je jedan vid matematičkog modela sistema koji ilustruje dinamičke karakteristike sistema, glavne promenljive u sistemu i vezu između njih. Svaki element je prikazan određenim blokom koji sadrži matematički odnos između ulazne i izlazne promenljive tog elementa. Svakom Simulink modelu odgovara m-datoteka, koja predstavlja niz komandi i funkcija kojima se kreiraju ovi modeli. Jedna od važnijih karakteristika ovog modula je mogućnost modelovanja nelinearnih sistema, čiju prenosnu funkciju nije moguće formirati u MATLAB-u. Druga važna osobina je sposobnost uvažavanja početnih uslova.

Uočljivi nedostatak programske alate ATP/EMTP jeste taj što ne podržava simulacije u kojima se varira vrednost nekog parametra i rezultati prikazuju u funkciji tog parametra. Moguće je samo definisati vrednosti svih parametara na šemi i onda izvršiti simulaciju u vremenu (*Transient Analysis*). Ako se želi pratiti uticaj jednog parametra na vrednost neke električne veličine, mora se ručno unositi svaka vrednost tog parametra pojedinačno i beležiti željena vrednost na osnovu rezultata u vremenu. Vrsta simulacije kojom se varira vrednost parametra i prati odziv na tu veličinu se u drugim programskim paketima naziva „*Sweep*“.

Kako u ATP/EMTP nije moguće direktno sprovesti ovakvu analizu, potrebno je koristiti eksterni program koji će biti zadužen za variranje vrednosti parametra. U tu svrhu, u ovom radu je uz ATP/EMTP korišćen MATLAB.

Alat ATP/EMTP za svaki željeni simulacioni model kreira jedan tekstualni fajl sa ekstenzijom .atp, u kome se nalaze sve vrednosti elemenata, kao i lista povezanih čvorova. Dobijeni fajl je tekstualni ekvivalent grafičke predstave koju korisnik zadaje. Na osnovu tog fajla, ATP/EMTP vrši simulaciju pozivanjem izvršnog potprograma *tpbigG.exe* i generiše rezultate simulacije. Rezultat je .pl4 fajl, koji predstavlja grafik funkcije električne veličine u vremenu.

Pomoću alata MATLAB, učitava se izvorni .atp tekstualni fajl, vrši se promena vrednosti parametra, i čuvaju se izmene u novoj .atp datoteci. Potom se naredbom *system*, iz MATLAB-a poziva izvršni potprogram *tpbigG.exe*, kome se zadaje izmenjeni tekstualni .atp fajl kao argument. Rezultat ovog koraka je .pl4 fajl, bez pokretanja grafičkog interfejsa programa ATP/EMTP.

Da bi se rezultati prikazali u MATLAB-u, potrebno je izvršiti konverziju rezultata iz .pl4 formata u format koji prepoznaje MATLAB. Izvršna datoteka *Pl42mat.exe* izvršava konverziju .pl4 formata u .mat format, koji MATLAB može da pročita. Dalja obrada podataka se može vršiti po želji korisnika. U ovom radu je odabранo da se nakon svake simulacije pamti maksimalna vrednost prenapona na

sabirnicama, kao i na energetskom transformatoru, koji je štićen odvodnikom prenapona.

IV. SIMULACIONI MODEL

Kao simulacioni model odabранo je 110 kV postrojenje sa dva raspona (tri stuba). Šema postrojenja je, sa aspekta atmosferskih pražnjenja, najnepovoljnija moguća – usled remonta ili kvara na sabirnice su priključeni samo jedan vod i jedno transformatorsko polje [10].

Atmosfersko pražnjenje je predstavljeno strujnim talasom rastućeg čela i linearno opadajućeg začelja. Pri klasičnoj metodi koordinacije izolacije usvaja se strujni talas sledećih karakteristika: amplituda talasa: 121 kA, strmina talasa: 43,3 kA/ μ s, trajanje čela: 2,8 μ s, trajanje začelja: 50 μ s. Ove karakteristike strujnog talasa prema Bergerovoj raspodeli mogu biti prevaziđene sa verovatnoćom manjom od 2%.

Na Sl. 5 prikazan je model postrojenja u programu ATP/EMTP.

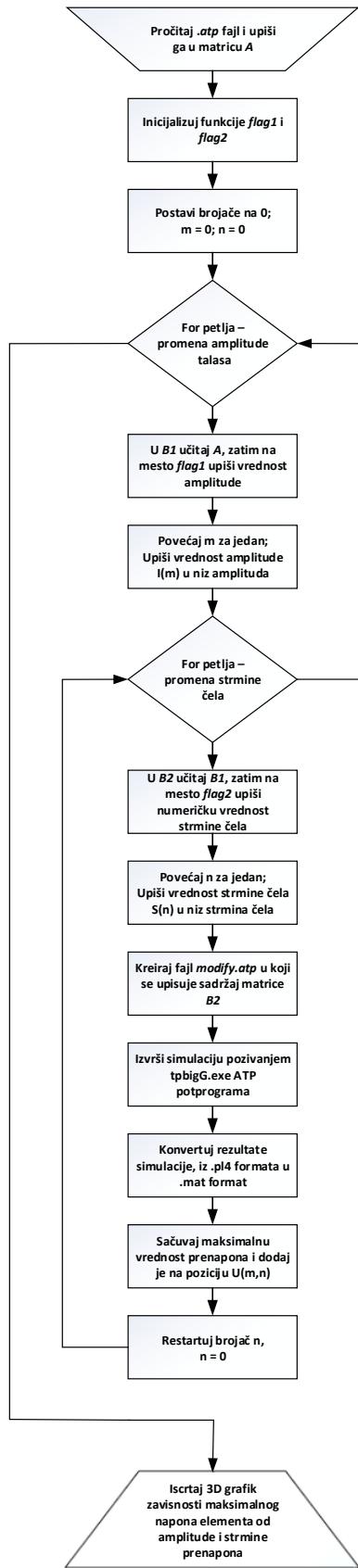
V. REZULTATI

Nakon pokretanja jedne simulacije programa ATP/EMTP sa Sl. 5 za talas linearno rastućeg čela i linearno opadajućeg začelja, dobijeni su rezultati prikazani na Sl. 6. Uočava se da odvodnik prenapona adekvatno štiti energetski transformator.

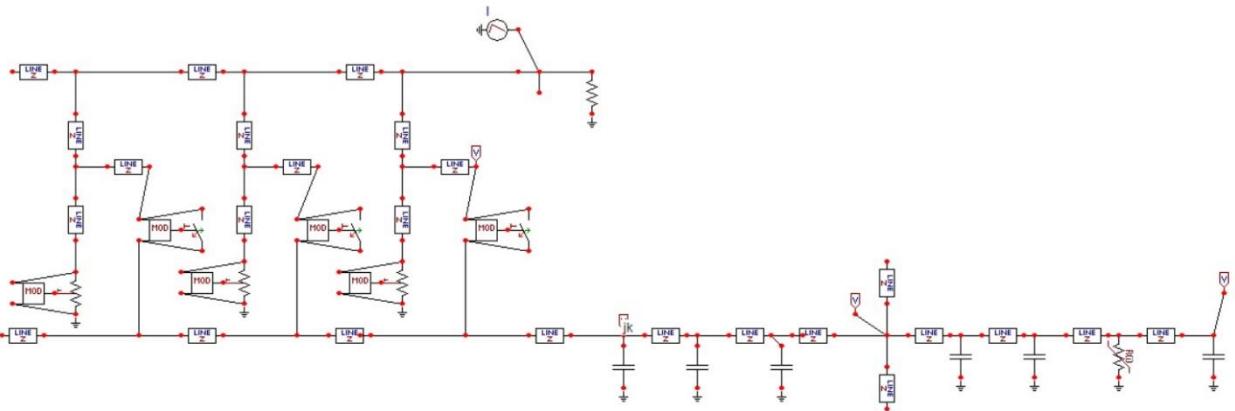
Pokretanjem MATLAB skripte u kojoj je implementirano povezivanje dva alata, varira se vrednost amplitude udarnog talasa od 101 kA do 141 kA sa korakom 1 kA, kao i trajanja čela talasa od 1,8 μ s do 3,8 μ s sa korakom 0,05 μ s. Dobijene vrednosti prenapona na energetskom transformatoru i sabirnicama prikazane su na Sl. 7 i Sl. 8, respektivno. Svaka tačka na grafiku odgovara jednoj ATP/EMTP simulaciji.

Na Sl. 7 i Sl. 8 se uočava pojava većih vrednosti prenapona pri dužim trajanjima čela atmosferskog talasa pražnjenja. To se objašnjava rezonantnom prirodnom zamenske šeme, koja sadrži veliki broj reaktivnih elemenata. Sa druge strane, atmosferski talas se Furijeovom transformacijom može predstaviti različitim komponentama na različitim učestanostima (frekvencijski spektar talasa). Svaka simulacija ima drugačiji frekvencijski spektar što rezultuje drugačijem odzivu zamenskog kola na taj spektar, pa napon može biti i veći za veće vrednosti trajanja čela talasa (manje kritičan slučaj).

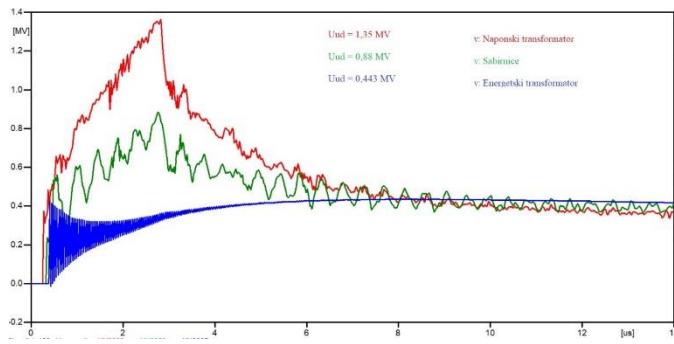
Na Sl. 9 prikazana je maksimalna vrednost prenapona na energetskom transformatoru u funkciji trajanja čela talasa atmosferskog pražnjenja za fiksnu vrednost amplitude talasa od 121 kA. Uočljiv je efekat pojave lokalnog maksimuma prenapona iako je za očekivati da prenapon monotono opada sa porastom trajanja čela udarnog talasa.



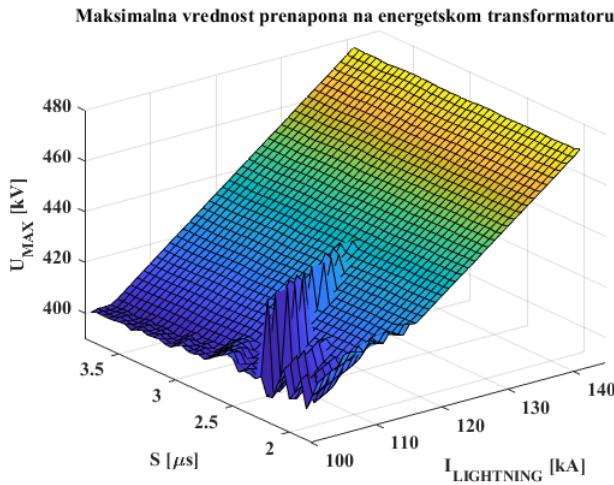
Slika 4. Algoritam sprezanja EMTP/ATP i MATLAB-a



Slika 5. Simulacioni model u programskom alatu ATP/EMTP



Slika 6. Maksimalna vrednost prenapona na energetskom transformatoru.

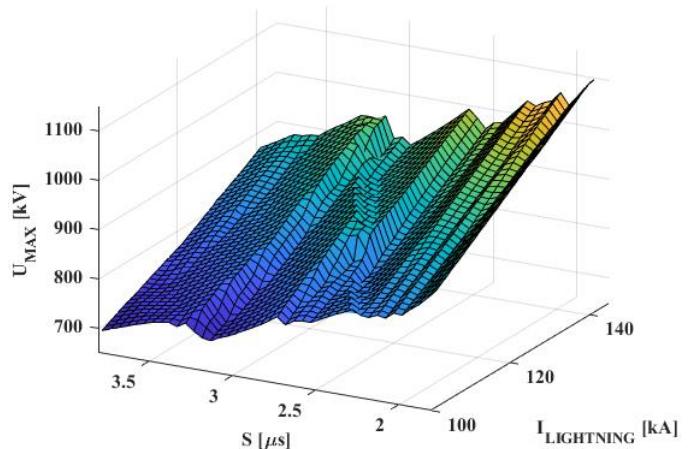


Slika 7. Maksimalna vrednost prenapona na energetskom transformatoru.

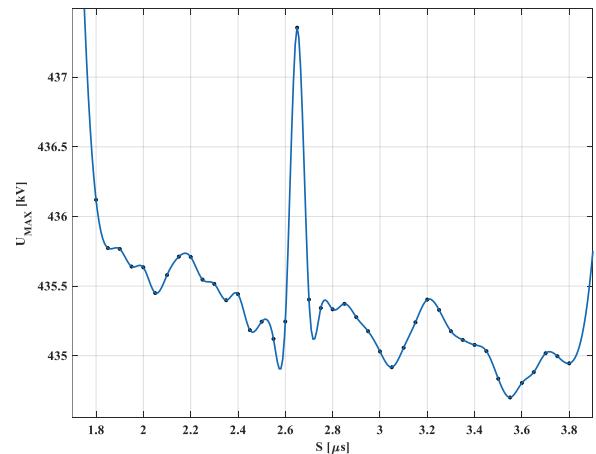
Na Sl. 10 prikazana je maksimalna vrednost prenapona na energetskom transformatoru u funkciji amplitude talasa atmosferskog pražnjenja pri čemu je za trajanje čela talasa atmosferskog pražnjenja fiksno izabrano $2,8 \mu\text{s}$. Kao što se i očekivalo, ova zavisnost je monotono rastuća.

U Tabeli II su prikazane maksimalne vrednosti prenapona u MV na dalekovodnom stubu, naponskom transformatoru, sabirnicama i energetskom transformatoru koje su formirane za simulacioni model prikazan na Sl. 5. U prikazanom simulacionom modelu su varirani modeli preskoka i atmosferskog pražnjenja. Prvi model je model elementa *SWITCH* u alatu ATP/EMTP. Drugi model, nazvan *FLASH*, ima preskočnu karakteristiku definisana kao: $U(t) = 650 \cdot 10^3 + (165 - 650 \cdot 10^3) \cdot e^{-\frac{t}{T}}$. Treći model je nazvan *Izolator Aekv* i definisan je sledećim izrazom: $U(t) = d \cdot (K_1 + \frac{K_2}{t})$, pri čemu je vrednost konstanti $K_1 = 495$, i $K_2 = 520$, dok je d međuelektrodno rastojanje i iznosi $0,96 \text{ m}$. Poslednji model, *Izolator V-T* je definisan kao što je objašnjeno u poglavlju II, odeljak D, „Volt-sekundna karakteristika izolacije“.

Maksimalna vrednost prenapona na sabirnicama 2



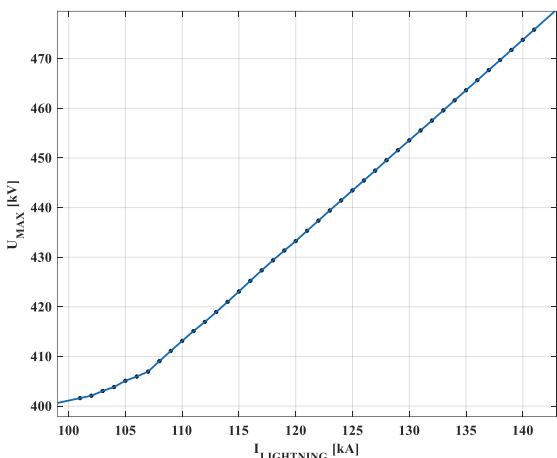
Slika 8. Maksimalna vrednost prenapona na sabirnicama.



Slika 9. Maksimalna vrednost prenapona na energetskom transformatoru u zavisnosti od strmine čela talasa.

VI. ZAKLJUČAK

Rad sadrži algoritam povezivanja programskih alata ATP/EMTP i MATLAB u svrhu koordinacije izolacije. Algoritam je primenljiv na širok spektar analiza elektroenergetskog sistema, a ne samo za koordinaciju izolacije. Primenom algoritma moguće je vršiti variranje različitih parametara u zamenskoj šemi u programskom alatu ATP/EMTP pri čemu se svi rezultati pamte i grafički prikazuju u MATLAB programskom alatu.



Slika 10. Maksimalna vrednost prenapona na energetskom transformatoru u zavisnosti od amplitude talasa.

TABELA III MAKSIMALNA VREDNOST PRENAPONA ZA RAZLIČITE MODELE PRESKOCA I ATMOSFERSKOG PRAŽNjenja

Prekidač		Stub	NT	Sab	ET
Trougaoni talas	SWITCH	1,227	1,195	0,796	0,424
	FLASH	1,216	1,667	0,739	0,421
	Izolator Aekv	1,213	1,165	0,737	0,421
	Izolator V-T	1,212	1,165	0,737	0,421
Heidler talas	SWITCH	1,505	1,459	0,984	0,461
	FLASH	1,459	1,398	0,879	0,420
	Izolator Aekv	1,460	1,397	0,857	0,420
	Izolator V-T	1,460	1,397	0,856	0,420
CIGRE talas	SWITCH	1,176	1,144	0,743	0,424
	FLASH	1,171	1,128	0,731	0,420
	Izolator Aekv	1,171	1,130	0,732	0,420
	Izolator V-T	1,171	1,130	0,731	0,420

Na taj način algoritam koristi prednosti oba programska alata. Inovativni rezultat rada je prostorni grafik prenapona u funkciji strmine i amplitude atmosferskog talasa. Ovakav rezultat u suštini predstavlja 3D zamensku krivu opasnih parametara za predstavljeni 110 kV deo elektroenergetskog sistema. Rezultati obuhvataju analizu različitih modela

atmosferskog pražnjenja i modele preskoka. Modeli, razvijeni algoritam i rezultati mogu poslužiti za naprednu analizu atmosferskih parametara. Dalja istraživanja podrazumevaju variranje različitih parametara i predstavljanja karakterističnih rezultata. Analiziraće se neophodnost variranja određenih parametara kao i osetljivost potrebne rezolucije variranja u cilju dobijanja odgovarajućih rezultata.

ZAHVALNICA

Autori zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije koje je omogućilo izradu ovog rada. Treći autor zahvaljuje Fondaciji "Alexander von Humboldt", Bon, SR Nemačka, na celokupnoj podršci njegovom naučno-istraživačkom radu.

LITERATURA

- [1] M. Banjanin, M. Savic, „Koordinacija izolacije 220 kV SF6 postrojenja pri hidroelektrani“, INFOTEH Jahorina, 2012.
- [2] M. Banjanin, M. Savic, J. Tusevljak, „Modelovanje atmosferskih prenapona na nadzemnim vodovima“ INFOTEH Jahorina, 2014.
- [3] M. Banjanin, J. Tusevljak, M. Savic, „Modelovanje preskoka na dugim vazdušnim razmacima pri delovanju atmosferskih prenapona“ INFOTEH Jahorina, 2013.
- [4] Jovan Mrvić, Ranko Jasika, Petar Vukelja, Goran Lepović, Ninoslav Simić, "Primena programskog alata ATP/EMTP u analizi atmosferskih prenapona," Zbornik radova, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", br. 26, str. 177-194, 2016.
- [5] Viktor Milardić, Kristijan Špoljarić, Maja Fištrić, "Analiza prenaponske zaštite 110 kV dalekovoda primjenom EMTP programa," HRO CIGRE, Cavtat, 2013.
- [6] M. Žarkovic, Z. Stojkovic, "Artificial intelligence based thermographic approach for high voltage substations risk assessment," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 9, no. 14, pp. 1935-1945, 2015.
- [7] Zlatan Stojković, „Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici – Primena programskih alata“, monografija, Elektrotehnički fakultet, Akademска misao, Beograd, 2009.
- [8] MATLAB®, The Language of Technical Computing, Version 7.11.0 (R2011a), The Math Works Inc., MA, USA, 2011.
- [9] Saša Stojković, „Tehnika visokog napona – zbirka rešenih zadataka“, Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički fakultet, Čačak, 2008.

ABSTRACT

The paper presents in detail the algorithm for connecting the software tools ATP / EMTP and MATLAB for the purpose of coordinating the insulation of a 110 kV distribution plant of which is connected to the 110 kV overhead line. The paper contains a detailed description of the model of all elements important for analysis. The paper analyzes the results of the calculated overvoltages by using the ATP / EMTP software tool when the amplitude and steepness of the waveform is varying using the MATLAB tool. A result is a 3D graph of overvoltage as a function of steepness and amplitude of the lightning impuls . Models, developed algorithm and results can be used for advanced analysis of lightning parameters.

APPLICATION OF VARIOUS SOFTWARE TOOLS IN THE ANALYSIS OF LIGHTNING OVERVOLTAGES

Vladimir Antonijević, Mileta Žarković, Zlatan Stojković