

Primena PSCAD-a u EMT studijama u elektroenergetskom sistemu: Modelovanje i energizacija nadzemnih vodova

Aleksandar Milošević, Mila Drajić

Go2Power

Rezime - Povećanje kompleksnosti elektroenergetskih sistema i potreba za analizama koje će osigurati bezbedno i pouzdano funkcionisanje sistema dovela je do razvoja i korišćenja softverskih alata koji simuliraju rad sistema. U tom kontekstu, elektromagnetne tranzijentne (EMT) studije su ključne za razumevanje visokofrekventnih pojava u elektroenergetskom sistemu, najčešće uzrokovanih sklopnim operacijama i atmosferskim pražnjenjima.

U ovom radu je diskutovano o primeni PSCAD/EMTDC-a, jednog od vodećih softverskih alata za EMT studije. U radu je prikazan primer modelovanja i energizacije nadzemnog voda, sa fokusom na prenapone i struje koje se javljaju u procesu energizacije. Objašnjeno je modelovanje voda pomoću frekvencijski zavisnog modela u PSCAD/EMTDC-u, što je neophodan nivo detalja u studijama u kojima se javljaju frekvencije više od osnovne frekvencije sistema. Kako sklopni prenaponi zavise od trenutnih vrednosti napona po fazama, energizacija je obavljana u različitim vremenskim trenucima tokom jedne periode kako bi se predstavio slučaj sa najvećim prenaponom.

Rezultati simulacija su analizirani i upoređeni sa važećim tehničkim preporukama za mrežno priključenje. Takođe, daj je uvid u potencijalne probleme koji mogu nastati pri sklopnim operacijama, kao i predlog mera koje se mogu primeniti kako bi se smanjila prenaponska naprezanja.

Ključne reči - elektromagnetni tranzijenti, PSCAD/EMTDC, energizacija voda, prenaponi

1 UVOD

Sklopni prenaponi predstavljaju elektromagnetski tranzijentni fenomen koji u elektroenergetskim sistemima može dovesti do problema u radu i do oštećenja opreme. Zatvaranje prekidača i energizacija komponenti elektroenergetskog sistema može uzrokovati naglu promenu u sistemu koja je praćena prostirućim prenaponskim talasima i velikim strujama energizacije. IEC standard 60071 [1] svrstava ih u kategoriju *Slow Front Overvoltages* (SFO), zajedno sa prenaponima prouzrokovanim kvarovima (*Temporary Overvoltage*). Prema tabeli preuzetoj iz pomenutog standarda, sklopni prenaponi imaju očekivano vreme trajanja između 20 μ s i 5000 μ s i nalaze se u frekvencijskom području i do 50 kHz. Pored SFO, postoje i *Fast Front Overvoltages* (FFO), koji su uglavnom uzrokovani atmosferskim pražnjenjem, kao i *Very Fast Front Overvoltages* (VFFO), koji nastaju usled sklopnih operacija rastavljačima u gasno izolovanim postrojenjima.

Class	Low frequency		Transient		
	Continuous	Temporary	Slow-front	Fast-front	Very-fast-front
Voltage or over-voltage shapes					
Range of voltage or over-voltage shapes	$f = 50 \text{ Hz or } 60 \text{ Hz}$ $T_1 \geq 3 \text{ 600 s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,03 \text{ s} \leq T_1 \leq 3 \text{ 600 s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5 \text{ 000 } \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$3 \text{ ns} < T_1 \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Standard voltage shapes					
Standard withstand test	¹⁾	Short-duration power frequency test	Switching impulse test	Lightning impulse test	¹⁾

¹⁾ To be specified by the relevant apparatus committees.

Slika 1. Podela tranzijentnih talasa u elektroenergetskom sistemu

Iako su po intenzitetu slabiji od, na primer, atmosferskih prenapona, sklopni prenaponi su daleko češća pojava. Svaka komponenta elektroenergetskog sistema izložena je ovom fenomenu prilikom prvog puštanja u rad ili nakon planskih i neplanskih isključenja. Takođe, sklopni prenaponi traju duže u odnosu na atmosferske prenapone, što može dovesti do većeg oslobađanja energije i dužih perioda prenaponskog opterećenja, čime se povećava rizik od oštećenja izolacije opreme. Sve ovo ukazuje na potrebu i značaj analize ovakvih fenomena.

U ovom radu analiziran je slučaj energizacije dugačkog visokonaponskog nadzemnog dalekovoda u softveru PSCAD/EMTDC (u daljem tekstu PSCAD). Sekcija II detaljnije objašnjava prednosti ovog softvera u odnosu na druge alate koji se koriste u analizama elektroenergetskih sistema. Detaljno modelovanje nadzemnih vodova, kao i ostatka analizirane mreže u PSCAD-u, biće predstavljeno u sekciji III. Dva konkretna slučaja energizacije voda su analizirana u ovom radu. Prvi obuhvata energizaciju voda po prvi put ili nakon dužeg vremenskog perioda van pogona, kada u vodu nema zaostalog naelektrisanja (sekcija IV), i to u uslovima sa i bez prisustva odvodnika prenapona. Drugi analizirani slučaj uzima u obzir postojanje zaostalog naelektrisanja na vodu, što može biti posledica kratkotrajnog isključenja voda usled prolaznog kvara. Ovo zaostalo naelektrisanje može značajno uticati na prenapone prilikom ponovnog uključenja voda. Rezultati simulacija za ovaj

slučaj prikazano je sekciji V. U završnoj sekciji (VI) sumirani su dobijeni rezultati i izvedeni zaključci.

II PSCAD/EMTDC SOFTVERSKI ALAT

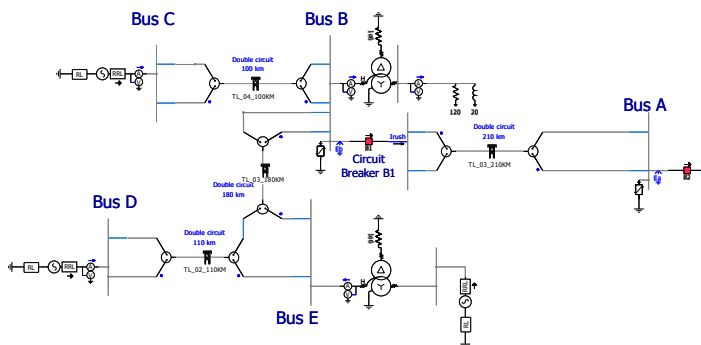
Specifičnost elektromagnetskih studija ogleda se u potrebi za analizom pojava sa visokim frekvencijama, značajno višim od osnovnih frekvencija u elektroenergetskim sistemima od 50 ili 60Hz, što praktično znači pojave sa kratkim vremenima trajanja. Za razliku od drugih softvera za analizu elektroenergetskih sistema, koji rade u fazorskom domenu, PSCAD/EMTDC je dizajniran za rad u vremenskom domenu, sa fiksnim vremenskim korakom simulacije. Električni parametri sistema izračunavaju se tokom svakog koraka simulacije pomoću nodalne analize i trapezoidne integracije [2]. Ovaj pristup omogućava precizno analiziranje elektromagnetno tranzijentnih pojava koji traju znatno kraće od osnovne periode napona.

Iako postoje i drugi softverski alati koji funkcionišu na sličnim principima, PSCAD se nametnuo kao industrijski standard za određene analize, često propisan zahtevima u mrežnim kodovima [3]. Primarna svrha i dizajn PSCAD-a bili su usmereni na analizu mrežnih prenapona, ali s razvojem invertorski povezanih izvora energije, koji koriste tranzistore s radnim frekvencijama od nekoliko hiljada Hz, PSCAD se nameće kao opcija za detaljne analize stabilnosti i interakcije ovih izvora sa elektroenergetskom mrežom.

III MODELOVANJE

Jedna od prednosti PSCAD-a u odnosu na druge softverske alate jeste nivo detalja pri modelovanju komponenti sistema. Takav nivo detalja, koji bi u proračunima tokova snaga ili struja kratkih spojeva bio suvišan, neophodan je u tranzijentnim studijama kako bi se adekvatno reprezentovale tranzijentne pojave.

A Mreža



Slika 2. Model mreže u PSCAD-u

U SFO studijama industrijski je standard da se nadzemni vodovi udaljeni do dva čvora od analizirane tačke modeluju s visokim stepenom preciznosti [4]. Sistem koji će biti analiziran u ovom radu prikazan je na slici 2. Odabran je relativno jednostavan sistem sa pet sabirnica, koje su međusobno povezane dalekovodima na naponskom nivou od 400 kV. Vod čija će energizacija biti analizirana spaja sabirnice A i B, a energizuje se preko prekidača B1. Model uključuje i dva autotransformatora, iza kojih se nalaze generator i potrošnja. Ostatak sistema, koji je

vidljiv iz sabirnica C i D, predstavljen je Teveninovim ekvivalentom.

B Nadzemni vodovi

Nadzemni vodovi predstavljaju ključni element ove analize, zbog čega je njihovo precizno modelovanje od suštinskog značaja. U PSCAD-u postoji nekoliko pristupa modelovanju nadzemnih vodova:

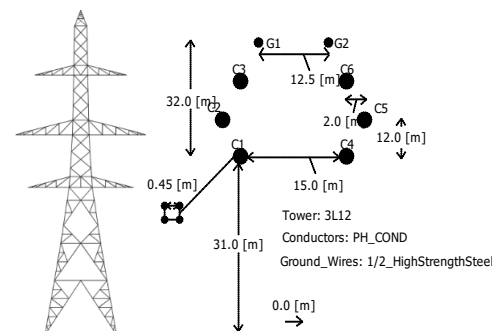
- PI šema,
- Beržeronov model (*Bergeron Model*),
- frekvencijski zavistan model (*Frequency Dependent Phase Model – FDPM*).

PI šema predstavlja najjednostavniji način modelovanja u kojem je vod zamenjen koncentrisanim ekvivalentom sa impedansom, kao i kapacitivnošću raspoređenom na oba kraja. Ovaj model je pogodan za statičke analize, ali ne može precizno da prikaže prostiranje talasa.

S druge strane, Beržeronov model funkcioniše po principu distribuiranih parametara i omogućava efikasno predstavljanje prostiranja talasa duž voda pomoću karakteristične impedanse. Međutim, karakteristična impedansa se računa samo za osnovnu frekvenciju od 50 Hz, što ovaj model čini neadekvatnim za analizu visokofrekventnih pojava.

Zbog navedenih ograničenja, u analizi predstavljenoj u radu vodovi su modelovani pomoću frekvencijski zavisnog modela, koji uzima u obzir promenu parametara voda u zavisnosti od frekvencije. Ovaj model je najslabiji i zahteva veću računarsku moć kompjutera, ali omogućava najpreciznije predstavljanje prostiranja naponskih i strujnih talasa duž voda na svim frekvencijama [5].

Za potrebe ove studije, svi vodovi su modelovani koristeći frekvencijski zavistan model, kako bi se precizno simulirali visokofrekventni naponski talasi koji se prostiru ne samo kroz analizirani vod, već i kroz okolne vodove. Model stuba i provodnika je isti za sve vodove i prikazan je na slici 3, dok se dužine vodova razlikuju. Veća dužina vodova je odabarana u simulacijama kako bi se naglasio efekat prenapona prilikom energizacije.



Slika 3. Geometrija stuba nadzemnog voda i njegov model u PSCAD-u

PSCAD nudi mogućnost proračuna električnih parametara voda na osnovu geometrije stuba, kao i električnih parametara provodnika i zaštitnog užeta. Ovi parametri, zajedno sa dužinama vodova, prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri nadzemnih vodova u analiziranom sistemu

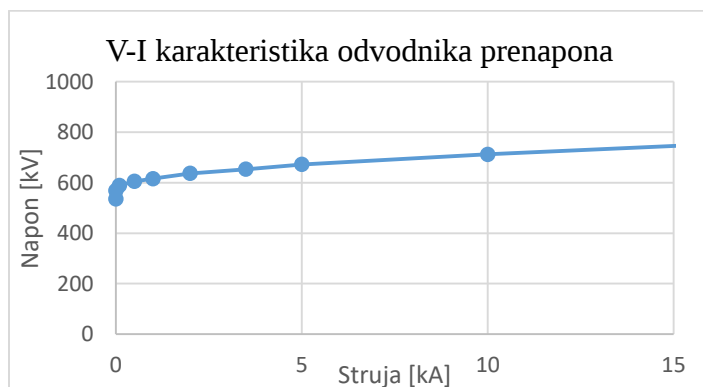
Vod	Dužina [km]	R [ohm]	X [ohm]	B [mS]	Zsurge [ohm]
Bus A – Bus B	210	3.32	56.8	0.88	253.7
Bus B – Bus C	100	1.6	27.2	0.41	254.9
Bus B – Bus E	180	2.86	48.8	0.75	254.1
Bus E – Bus D	110	1.76	29.9	0.46	254.9

C Odvodnik prenapona

Za modelovanje odvodnika prenapona korišćen je standardni model iz PSCAD biblioteke za metal-oksidne odvodnike. Odvodnici su postavljeni na početku i na kraju analiziranog voda, dok su izostavljeni na ostalim sabirnicama jer bi njihov uticaj na prenapone u analiziranoj tački bio neznatan.

S obzirom na to da se radi o odvodniku na 400 kV nadzemnom vodu, izabran je standardni odvodnik za ovaj naponski nivo, sa nazivnim naponom od 335 kV. Električni parametri odvodnika, predstavljeni u tabeli 2, preuzeti su iz kataloga izabranog proizvođača opreme.

Ključni aspekt pri modelovanju odvodnika prenapona jeste definisanje njegove VI karakteristike, odnosno odnosa između napona i struje koju odvodnik provodi. Kriva za izabrani odvodnik data je na slici 4.

**Slika 4.** Grafički prikaz V-I karakteristike odvodnika prenapona

Pri modelovanju u PSCAD-u važno je uneti krajnje tačke za izuzetno male struje (nekoliko ampera) i izuzetno velike struje (stotine kA), jer model odvodnika interpolira vrednosti između unetih podataka. Pošto se u katalozima proizvođača obično ne navode provodne struje manje od 500 A, dodatno je uneto nekoliko tačaka koje se odnose na niže vrednosti struje od pomenute, kako bi se realistično prikazao rad odvodnika u stabilnom režimu rada.

Tabela 2. V-I karakteristika odvodnika prenapona

V-I karakteristika odvodnika prenapona								
I [kA]	0,1	0,5	1	2	3,5	5	10	20
V [kV]	589	605	616	637	653	672	712	778

Još jedan važan aspekt analize jeste provera da li odvodnik može da izdrži energiju koju će provesti tokom trajanja prenapona.

PSCAD omogućava merenje ove energije i njeno grafičko prikazivanje tokom simulacije.

Energetski kapacitet izabranog odvodnika iznosi 10 kJ/kV nazivnog napona, što znači da posmatrani odvodnik može da apsorbuje maksimalno 3350 kJ.

D Multirun simulacije i određivanje najnepovoljnijeg slučaja

Rezultati EMT simulacija direktno zavise od početnih uslova u mreži, ali i od trenutka tokom osnovne periode u kome se poremećaj (u ovom slučaju zatvaranje prekidača) događa.

U nekim simulacijama, kao što su studije atmosferskih pražnjenja, obično se posmatra trenutak maksimalnog napona kao kritičan. Međutim, u složenijim sistemima sa nelinearnim elementima, teško je unapred odrediti koji trenutak zatvaranja prekidača će dovesti do najnepovoljnijih rezultata.

Zbog toga se u PSCAD-u često koristi *Multirun* opcija, koja omogućava izvođenje više simulacija sa istim početnim uslovima, ali uz promenu odabranog parametra – u ovom slučaju, trenutka zatvaranja prekidača tokom jedne periode napona (20ms).

Softver generiše rezultate i automatski određuje najgori mogući scenario prema definisanom kriterijumu, koji je u ovoj analizi bio najveći prenapon na kraju dalekovoda.

Kako bi se obuhvatili svi mogući scenariji, tokom jedne periode je odrađeno 100 simulacija, pri čemu je trenutak zatvaranja prekidača pomeran za 0,2 ms tokom periode od 20ms. Za simetrične trofazne sisteme, dovoljno je analizirati samo 1/3 periode, ali u simulacijama koje uključuju energizaciju vodova sa zaostalim naelektrisanjem ili energizaciju transformatora sa remanentnim fluksom potrebno je analizirati celu periodu napona kako bi se obuhvatili svi mogući slučajevi.

IV ENERGIZACIJA NADZEMNOG VODA U PRAZONOM HODU

Kako bi se simulirala energizacija nadzemnog voda bez zaostalog naelektrisanja, na početku simulacije prekidač B1 (prikazan na slici 2) je otvoren i sistem se pokreće iz ovog stanja. Sve analize se obavljaju iz stabilnog režima rada, koji se uspostavlja 0,2 s nakon početka simulacije. Parametri simulacije su prikazani u Tabeli 3.

Tabela 3. Opšti parametri simulacije

Parametar	Vrednost
Korak simulacije	5 μ s
Trajanje simulacije	0,3 s
Trenutak sklopne operacija	0,2-0,22 s

Analizirani su slučajevi sa i bez prisustva odvodnika prenapona kako bi se ispitao njihov uticaj na smanjenje maksimalnog prenapona.

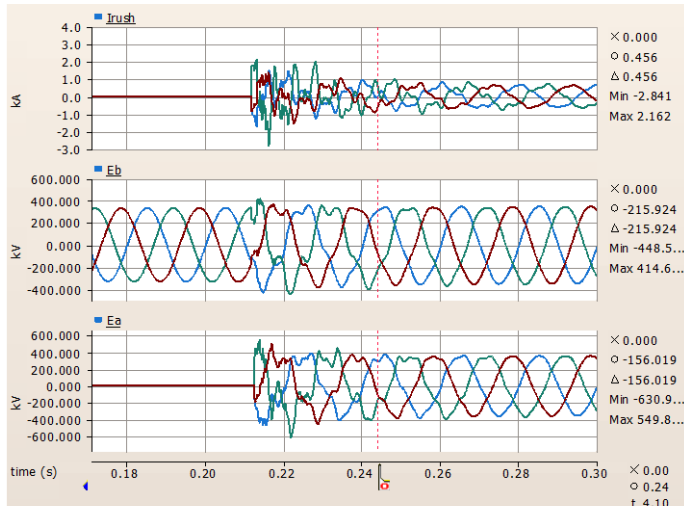
Najnepovoljniji simulirani slučaj pri energizaciji voda bez zaostalog naelektrisanja i bez odvodnika prenapona prikazan je na slici 5. Grafik prikazuje struju energizacije (*Irush*) i talasni oblik napona na sabirnicama A (*Ea*) i B (*Eb*).

Analizirajući grafike možemo doći do sledećih zapažanja:

- Pri uključenju voda, na sabirnici A se javlja izobličena

sinusoida napona sa frekvencijama višim od osnovne.

- Maksimalna vrednost napona dostiže 630 kV, ali se napon brzo stabilizuje na 352 kV
- Najveća vrednost ne javlja odmah pri zatvaranju prekidača, već pola periode kasnije, što je posledica reflektovanih prenaponskih talasa. Ova pojava dodatno naglašava nepredvidivost tranzijentnih fenomena i potrebu za preciznim simulacijama.

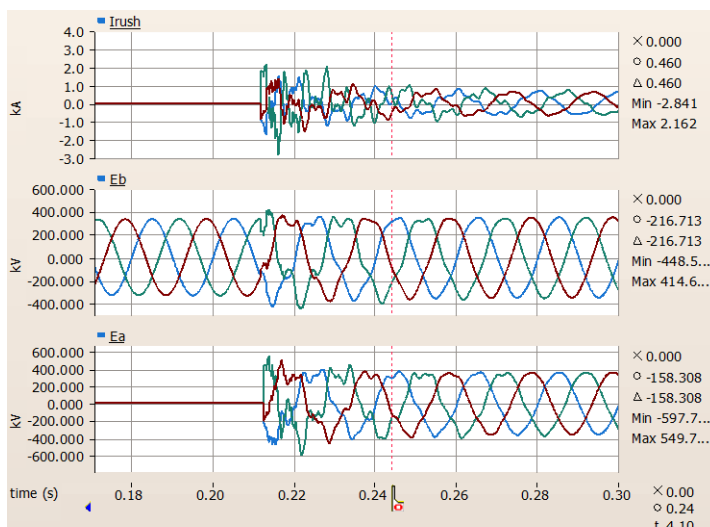


Slika 5. Struja i napon tokom energizacije voda bez zaostalog naelektrisanja i bez odvodnika prenapona

Na sabirnici B prenapon je manje izražen i manje izobličen. Struja energizacije, slično naponu, ima izobličen talasni oblik sa velikim brojem pikova. Iako se dalekovod nalazi u praznom hodu, njegova velika dužina dovodi do značajne struje curenja, koja utiče na duže trajanje stabilizacije sistema.

C Rezultati simulacije sa odvodnikom prenapona

Zbog izraženih prenapona na sabirnici A, simulacija je ponovljena uz implementaciju odvodnika prenapona, a rezultati su prikazani na slici 6.

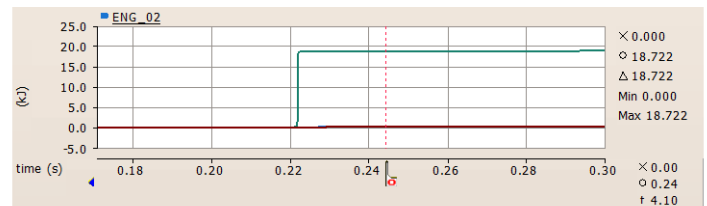


Slika 6. Struja i napon tokom energizacije voda bez zaostalog naelektrisanja sa odvodnikom prenapona

U poređenju sa prethodnim slučajem možemo primetiti sledeće :

- Maksimalni izmereni napon na sabirnici A je smanjen ispod 600 kV.
- Oblik naponskog talasa je ostao relativno nepromenjen u poređenju sa prethodnim slučajem.
- Odvodnik prenapona na sabirnici A nije imao značajniji uticaj na sabirnicu B niti na struju energizacije, jer je njegova aktivacija trajala vrlo kratko.

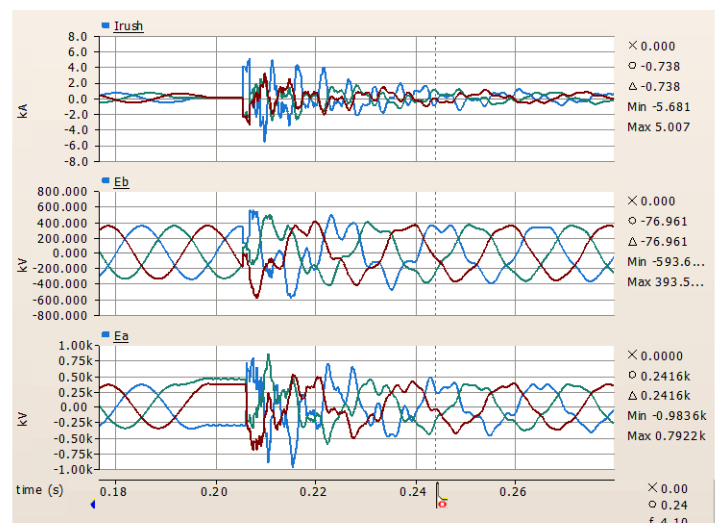
Na slici 7 prikazana je apsorbovana energija odvodnika na sabirnici A. Odvodnik je apsorbovao 18,7 kJ, što je daleko ispod njegovog apsorpcionog limita. Sa grafika je vidljivo da se apsorpcija energije odvijala u izuzetno kratkom vremenskom intervalu.



Slika 7. Apsorbovana energija odvodnika prenapona tokom energizacije voda bez zaostalog naelektrisanja

V ENERGIZACIJA NADZEMNOG VODA SA ZAOSTALIM NAELEKTRISANJEM

Kako bi se simulirala energizacija nadzemnog voda sa zaostalim naelektrisanjem, potrebno je prilagoditi model ovoj pretpostavci. Za razliku od prethodne simulacije, prekidač B1 nadzemnog voda na početku simulacije je zatvoren, do trenutka kada se sistem stabilizuje. Na 0,19 s, prekidač se otvara, izolujući vod od ostatka mreže. Potom se prekidač ponovo zatvara, pri čemu se trenutak ponovnog uključenja određuje *Multirun* analizom, tokom jedne periode od 0,2 s. Opšti parametri simulacije ostali su isti kao u prethodnom slučaju. Rezultati simulacije bez odvodnika prenapona prikazani su na slici 8.



Slika 8. Struja i napon tokom energizacije voda sa zaostalim naelektrisanjem i bez odvodnika prenapona

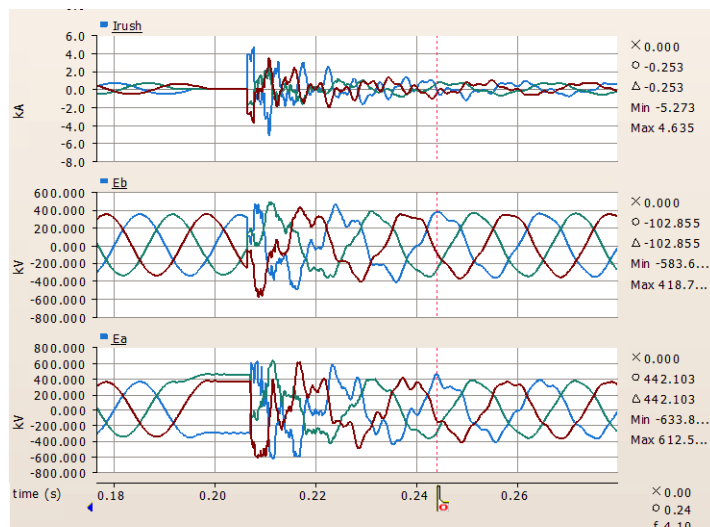
Kada se prekidač otvori u 0,19 s, struja se prekida u trenutku kada prolazi kroz nulu, što se događa zasebno za svaku fazu.

Pošto je dalekovod neopterećen, struja je pretežno kapacitivna i napon fazno zaostaje za strujom za približno 90° , odnosno u trenutku kada struja prolazi kroz nulu vrednost napona je približno jednaka amplitudi. To znači da će se nakon otvaranja prekidača na vodu zadržati naelektrisanje koje rezultuje zaostalim naponom na krajevima voda koji je približno jednak amplitudi napona u stabilnom režimu. Ovo dovodi do značajnih prenapona na obe posmatrane sabirnice pri ponovnom uključenju voda.

U poređenju sa energizacijom voda u praznom hodu, primetan je:

- Veći broj naponskih pikova većeg intenziteta, što je i očekivano, jer u sistemu postoji zaostala energija iz prethodnog režima rada.
- Maksimalni napon na sabirnici A prelazi 980 kV, što je značajno veće od prethodnih slučajeva.
- Na sabirnici B su takođe primećeni prenaponi od skoro 600 kV.

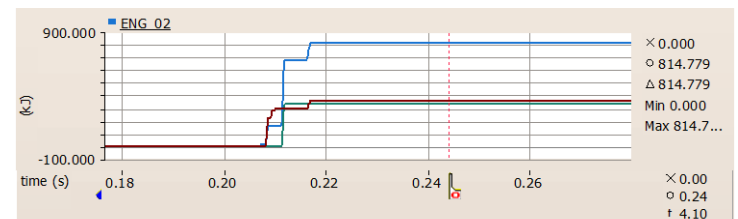
S obzirom da su u slučaju simulacije sa odvodnikom prenapona prisutni veći prenaponi, za očekivati je da će odvodnici prenapona imati značajniji efekat u ponovljenim simulacijama, što je i prikazano na slici 9.



Slika 9. Struja i napon tokom energizacije voda sa zaostalim naelektrisanjem sa odvodnikom prenapona

Prenapon na sabirnici A je značajno smanjen, što je za posledicu imalo i smanjenje prenapona na sabirnici B, kao i smanjenje struje energizacije, iako u manjem intenzitetu. U ovom slučaju, odvodnik se aktivira u sve tri faze, i to više puta što se može videti sa slike 10. Kako su i prenaponi veći, više energije se apsorbira u odvodniku. U jednoj od faza apsorbira oko 815 kJ,

što je i dalje ispod dozvoljenog limita, ali značajno više nego u prethodnim slučajevima.



Slika 10. Apsorbovana energija odvodnika prenapona tokom energizacije voda sa zaostalim naelektrisanjem

VI ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je da se pokaže značaj detaljnog modelovanja nadzemnih vodova i upotrebe PSCAD softvera za preciznu analizu elektromagnetnih tranzijenata uzrokovanih energizacijom nadzemnih vodova. Rezultati simulacija su potvrdili da prisustvo zaostalog naelektrisanja značajno povećava prenapone pri energizaciji voda, dok odvodnici prenapona uspešno smanjuju ove vršne vrednosti i stabilizuju sistem. Analiza je takođe pokazala da trenutak zatvaranja prekidača ima ključan uticaj na maksimalni prenapon, što opravdava korišćenje Multirun metode za identifikaciju najnepovoljnijih slučajeva. Na osnovu dobijenih rezultata, jasno je da je pravilno modelovanje i uočavanje kritičnih slučajeva u naprednim softverskim alatima poput PSCAD-a ključno za smanjenje rizika od prenapona i povećanje sigurnosti elektroenergetskog sistema.

LITERATURA

- [1] International Electrotechnical Commission, IEC-60071-4:2004–Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks, <https://webstore.iec.ch/en/publication/581> [pristupljeno 24.07.2025]
- [2] PSCAD, EMTDC User's Guide v4.6, <https://www.pscad.com/knowledge-base/article/163> [pristupljeno 24.07.2025]
- [3] The Saudi Arabian Grid Code, Saudi Electricity Company, 2022. <https://www.se.com.sa/en-us/Pages/SaudiArabianGridCodeGuide.aspx> [pristupljeno 24.07.2025]
- [4] 1862-2014 - IEEE Recommended Practice for Overvoltage and Insulation Coordination of Transmission Systems at 1000 kV AC and Above, IEEE Std 1862-2014, pp.1-68, 2014. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2014.6861416>
- [5] Milano, F., Manjavacas, A.O. *Frequency Variations in Power Systems*, John Wiley & Sons Ltd, 2020. <https://doi.org/10.1002/9781119551881>

AUTORI

Aleksandar Milošević – master inženjer elektrotehnike, Go2Power, aleksandar.milosevic@go2power.eu, ORCID [0009-0006-2690-0033](https://orcid.org/0009-0006-2690-0033)
Mila Drajić – master inženjer elektrotehnike, Go2Power, mila.drajić@go2power.eu, ORCID [0009-0000-8515-6837](https://orcid.org/0009-0000-8515-6837)

Application of PSCAD in EMT Power System Studies: Modelling and Energization of Overhead Lines

Abstract – The increasing complexity of power systems and the need for analyses that ensure the safe and reliable operation of the system have led to the development and use of software tools that simulate system behaviour. In this context, Electromagnetic transient (EMT) studies are essential for understanding high-frequency phenomena in power

systems, most often occurring during switching operations and atmospheric discharge.

This paper discusses the application of PSCAD/EMTDC, one of the leading software tools for EMT studies. It provides an example of modelling and energization of an overhead transmission line, with a focus on overvoltages and inrush currents that occur in the process. A detailed explanation of line modelling using the frequency-dependent model in PSCAD/EMTDC will be provided, as this level of detail is necessary for studies involving frequencies higher than the system's fundamental frequency. Since switching overvoltages depend on the instantaneous voltage values in each phase, energization will be performed at different time instants within a single cycle to capture the worst-case overvoltage scenario.

The simulation results will be analysed and compared with official technical recommendations for grid connection. Additionally, the study will provide insights into potential issues arising from switching operations and propose mitigation measures to reduce overvoltage stresses.

Index terms – Electromagnetic transients, PSCAD/EMTDC, Transmission line energization, Overvoltages