

Prednosti primene TeleCAD-GIS-a za proračun uticaja elektroenergetskih vodova na telekomunikacione vodove

Milorad Tošić, Goran Medić, Dejan Raketić

Sadržaj — Telekom Srbija a.d. je uveo programski paket TeleCAD-GIS koji se koristi za izradu projektne dokumentacije TK mreža i spojnih puteva te smeštanje i ažuriranje podataka u GIS bazi početkom 2006 god. Program je omogućio automatizaciju i olakšao i ubrzao projektovanje telekomunikacionih mreža. U JUS standardima N. CO.101,102 i 103 je opisana zaštita telekomunikacionih postrojenja (TK) od opasnosti i smetnji koje potiču od uticaja elektroenergetskih postrojenja (EE). Proračuni su izvršeni po metodi najgoreg slučaja, daju približne vrednosti i ne zahtevaju upotrebu računara. Zbog toga je u TeleCAD-GIS uveden i modul za proračun uticaja EE vodova na TK vodove. Uvođenjem ovog programskog modula se dobijaju tačniji rezultati a brzina rada je sa nekoliko sati, dana ili nedelja (što zavisi od obima posla) svedena na nekoliko sekundi. U ovom radu je prikazano kako je u TeleCAD-GIS integriran modul za proračun uticaja EE voda na TK vod koji automatizuje proračun. Zatim su opisane prednosti ovakvog načina rada.

Ključne reči — proračun uticaja, TeleCAD-GIS

I. UVOD

Još u prošlom veku, sa pojавom prvih dalekovoda visokog napona javili su se ozbiljni problemi kod tadašnjih TK vodova. Ti početni problemi bili su rešeni u najvećem broju slučajeva kabliranjem, ali ne zadugo.

Kako se izgradnja i jednih i drugih mreža, iz ekonomskih razloga, često vrši na relativno malim međusobnim rastojanjima to je problem koegzistencije EE i TK vodova dobio veći značaj. On se vremenom sve više komplikovao zbog porasta napona i struja na EE vodovima i povećanja gustine EE i TK mreže kao i zbog elektrifikacije železnice.

Nova generacija pristupnih mreža ima kraću preplatičku petlju, međutim, izgrađuje se kablovima TK 59 GM čiji je omotač od plastičnih materijala, zbog čega je redukcion faktor jednak jedinici pa se i kod relativno malih paralelizama EE i TK vodova javljaju opasni i smetajući uticaji koji prekoračuju standardima propisane granice.

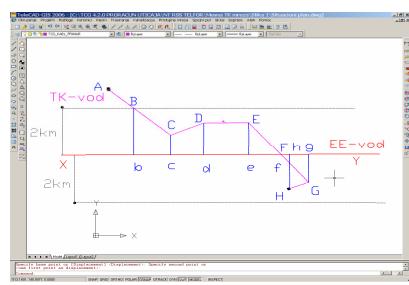
II. ZONA PРИБЛИЖАВАЊА

Smernice C.C.I.T.T. o zaštiti telekomunikacionih linija od opasnih i smetajućih uticaja elektroenergetskih linija ne daju eksplicitne granice u odnosu na oblast oko

elektroenergetske linije u kojoj treba razmatrati približavanja i vršiti proračune. Odstojanje do koga treba razmatrati približavanja znatno zavisi od otpornosti tla. Npr. u vrlo provodnim zemljistima i velikim gradovima uticaji se vrlo brzo smanjuju već posle nekoliko stotina metara. Naprotiv, na homogenom granitnom tlu uticaj se može javiti i na nekoliko kilometara. Međutim, kad se zanemare naponi ispod 10V/kmkA uticaji se osećaju na 2 km samo za otpornosti veće od 250Ω , koje su dosta izuzetne. Osim ovih posebnih slučajeva, koji se mogu pojaviti u zemljama sa velikom otpornošću tla kao što su Švedska, Finska ili zemlje sa planinskom konfiguracijom terena, razmatranje približavanja se može ograničiti na pojas od 2 km oko elektroenergetske linije. U velikim gradovima se ova oblast može smanjiti na 1 km za opasne uticaje dalekovoda visokog napona ili na 250 m za opasne i smetajuće uticaje vodova elektrovuče.

III. PRINCIP PRORAČUNA

Princip proračuna podužno indukovane elektromotorne sile je u JUS standardima detaljno opisan ali ćemo ovaj princip rada ponoviti da bi prednosti korišćenja modula za proračun uticaja bile bolje uočene. Neka bude TK vod linija AH, dok je EE vod linija XY (Slika 1). Razmatra se samo deo TK voda unutar zone približavanja (2km, kao što je obrazloženo u II poglavlju), tj. segmenti od B do H. TK vod prikazan uzastopnim pravolinijskim segmentima može predstavljati paralelizam na segmentu DE, kosa približavanja na segmentima BC, CD i GH ili ukrštanja na segmentu EFG. Svaki od pravolinijskih segmenata BC, CD i DE projektuje se na EE vod u bc, cd i de, a zatim se proračunava podužno indukovana elektromotorna sila u svakoj od deonica. Tražena indukovana elektromotorna sila jeste zbir svih parcijalnih elektromotornih sila.



Sl. 1. Deo TK voda unutar zone približavanja

Podužna indukovana elektromotorna sila, izražena u V, za slučaj paralelnog vođenja izražava se pomoću obrasca

$$E = \omega \cdot M \cdot l \cdot I \cdot r \cdot 10^{-3}$$

gde su:

ω - $2\pi f$ (f-nazivna frekvencija EE mreže u Hz)

M - koeficijent međusobne induktivnosti između EE i TK voda, u $\mu\text{H}/\text{km}$

I - jačina indukujuće struje, u kA

r - redukciono faktor čija je vrednost između 0 i 1.

Vrednost M zavisi od tri veličine:

- rastojanja između EE-voda i TK-voda
- frekvencije f
- specifične otpornosti tla ρ

ove tri veličine mogu da se izraze u obliku parametra x

$$x = d \cdot \sqrt{\frac{\mu_0 \omega}{\rho}}$$

gde je μ_0 permeabilnost slobodnog prostora

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m}$$

Prema teorijama Carson-a i Pollaczek-a funkcija $M(x)$ se izračunava formulom

$$M(x) = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \left\{ \frac{1}{x} [Kei(x) - jKer(x)] - \frac{j}{x^2} \right\}$$

Obzirom da ove formule uključuju korišćenje Kelvinovih funkcija koje se mogu izračunavati samo numeričkim metodama korišćenjem računara u JUS standardima su ovi obrasci zamenjeni dijagramom modula $M(x)$ koji je prikazan na Slici 2 na kojoj je predstavljena vrednost modula koeficijenta međusobne induktivnosti M_{zz} u $\mu\text{H}/\text{km}$ u funkciji x (Strana 8 JUS N.CO.102 odnosno strana 32 knjige ZBIRKA JUGOSLOVENSKIH STANDARDA).

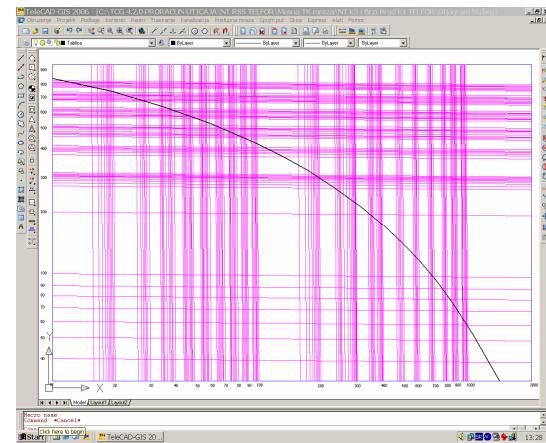
Koeficijent međusobne induktivnosti je kompleksan broj a na dijagramu je prikazan njegov moduo pa će i podužno indukovane elektromotorne sile biti izračunavane i sabirane po modulu čime je svesno načinjena greška obzirom na činjenicu da je moduo zbir kompleksnih brojeva manji od zbir modula. U većini slučajeva je ova aproksimacija dovoljno dobra za uobičajen inženjerski rad da bi se izradio projekat ili elaborat uticaja.

U primerima koji su opisani u JUS standardu, se za deonice kosih približavanja (BC,...) za rastojanje između EE i TK voda uzima srednja geometrijska vrednost

$$d_{gsr} = \sqrt{d_b d_c},$$

zatim se izračuna x za ovako dobijenu vrednost za d_{sr} i sa dijagraoma na sl.2 očita M .

U slučaju da $M(x)$ izračunavamo po formulama Carson-a i Pollaczek-a, za kosa približavanja, za deonicu čiji je početak B, a završetak C, podužno indukovana



Sl. 2. Dijagram koeficijenta međusobne induktivnosti u funkciji od x u $\mu\text{H}/\text{k}$

elektromotorna sila, izražena u voltima, izračunava se na segmentu dl na sledeći način:

$$dE = \omega \cdot I \cdot M \cdot l \cdot r \cdot dl$$

Kako je M definisano u funkciji od x a ne od l posle uvođenja smene promenljivih koja omogućava integraljenje po dx dobijamo za ukupno indukovani elektromotornu silu na segmentu BC (tj na i -tom segmentu)

$$E_i = \omega \cdot I \cdot [M]_B^C \cdot l \cdot r \cdot 10^{-3}$$

Za srednju vrednost za M se posle integraljenja dobija izraz

$$[M]_B^C = \frac{S(x_C) - S(x_B)}{x_C - x_B} = \frac{S(\alpha d_C) - S(\alpha d_B)}{\alpha d_C - \alpha d_B}$$

Gde je

$$\alpha = \sqrt{\frac{\mu_0 \omega}{\rho}}$$

Pošto je međusobna induktivnost kompleksan broj tada se gornji integral ustvari razlaže na dva integrala, za realnu i imaginarnu komponentu M_{ir} i M_{ii} , zatim vršimo odvojeno sabiranje realnih i imaginarnih komponenti indukovanih elektromotornih sile na segmentima i najzad ukupno indukovani elektromotornu silu dobijamo formulom

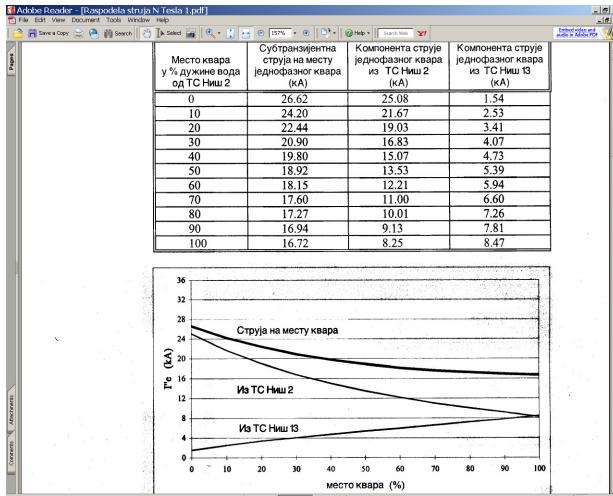
$$E = \sqrt{E_r^2 + E_i^2}$$

Na ovaj način smo indukovane elektromotorne sile duž cele trase sabrali kao vektore i našli moduo zbir kompleksnih brojeva čime je greška koja nastaje zbog sabiranja modula elektromotornih sile na trasi izbegnuta.

Vrednost za I saopštava elektroprivreda tako što daje dijagram zavisnosti veličine struje zemljospoja u funkciji od rastojanja između elektroenergetskog postrojenja i mesta kvara.

Najnepovoljniji položaj uopšte nalazi se na krajevima približavanja jer struja kvara tada indukuje elektromotornu silu na celoj dužini približavanja. Jedan primer dijagrama krivih koje daju vrednost indukujućih struja koje teku sa obe strane kvara u zavisnosti od položaja kvara je dat na Sl.3.

Vrednost specifične otpornosti tla se određuje merenjem. Međutim, u najvećem broju slučajeva je zbog napred navedenih razloga usvajamo da je ona $50 \Omega/m^3$. U standardu JUS n.CO.101 je dato više tabela iz kojih se preciznije ova vrednost može odrediti, kad se za to ukaže potreba.



Sl. 3. Dijagram zavisnosti struje zemljospoja u funkciji rastojanja EE postrojenja od mesta kvara

Tačna vrednost redukcionog faktora dobija se merenjima, proračunima ili iz dijagrama i tabele koje daje proizvođač. Granične vrednosti indukovanih elektromotornih sila date su u JUS standardima i iznose 430V za opasne uticaje u kratkotrajanom režimu, 65 V za opasne uticaje u trajnom režimu kod elektrificiranih pruga i 1mV za smetnje.

IV. PREDNOSTI PRIMENE TELECAD-GIS-A ZA PRORAČUN UTICAJA EE VODA NA TK VOD

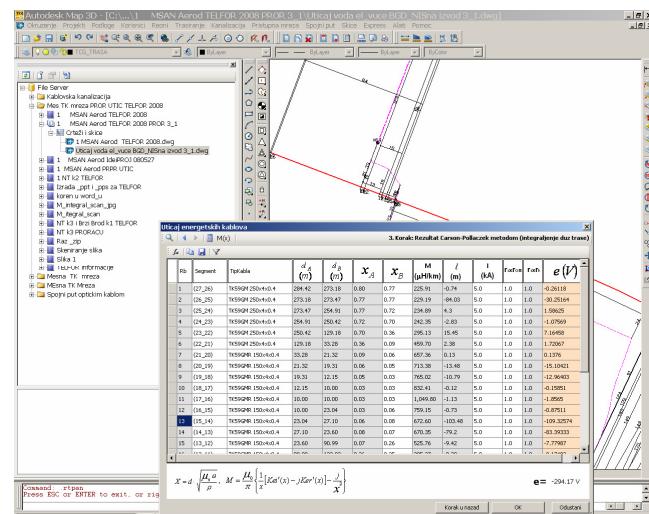
Uvođenje softverskog paketa TeleCAD-GIS dovelo je do delimične ili potpune automatizacije izrade mnogih neophodnih delova i projektne dokumentacije i dokumentacije izvedenog stanja.

Rasterske podloge se skeniraju, digitalizuju i bezšavno spajaju. Otvara se „Projekat kablovskog pravca“, projektuje trasa (ili učitava geodetski snimak trase), a zatim postavljaju TK objekti (kablovski izvodi,...). Svaki TeleCAD-GIS objekat je detaljno opisan potrebnim osobinama. Nakon polaganja kablova izvršava se korak automatske optimizacije kapaciteta mreže, vrši se automatska numeracija i razbrajanje i generišu se svi potrebeni izveštaji.

Ako se projektovani kablovski pravac nađe u zoni uticaja nekog EE voda, neophodno je izvršiti proračun uticaja da bi se odredili tipovi kablova u zoni uticaja.

Sposobnosti TeleCAD-GIS-a da vrši optimizaciju položenih kablova po kapacitetu i prečniku, meri dužine potrebne za izveštaje, pravi tabele, izračunava slabljenje i ostale potrebne radnje, dala je autorima ideju da TeleCAD-GIS izvrši proračun uticaja da bi se, promenom konstrukcije kablovskog omotača indukovana elektromotorna sila svela u dozvoljene granične vrednosti. Naime, kad se kabl nađe u zoni uticaja, ako izračunate vrednosti podužno indukovane elektromotorne sile predu dozvoljene granice kad se preko nemetalnih delova kablovskog omotača dodaju metalni delovi, koji na krajevima zone uticaja moraju biti dobro uzemljeni, redukujućim dejstvom smanjuje se podužno indukovana elektromotorna sila a TeleCAD-GIS nam olakšava posao svođenja podužno indukovane elektromotorne sile na dozvoljene vrednosti.

Zbog toga je u TeleCAD-GIS uveden poseban modul koji vrši proračun uticaja.



Sl. 4. Proračun opasnosti za kablovski pravac 3 pod indukcijom voda elektro vuče

Za ovaj proračun je bilo neophodno uvesti novi objekat „Elektroenergetski vod“ i opisati ga osobinama potrebnim za proračun uticaja.

Trasa i osobine dalekovoda se dobiju od vlasnika u vektorskom ili analognom obliku nakon čega se vrši crtanje trase na karti i učitavanje njegovih atributa u TeleCAD-GIS.

Kako se svi EE vodovi dele na simetrične i nesimetrične to je i programska aplikacija tako organizovana da intuitivno navodi korisnika na tok korišćenja ovog modula.

Naime ako se TK vod nađe u zoni uticaja dalekovoda visokog napona ili voda elektrovuće korisniku će biti ponuđena opcija automatskog proračuna, za opasne uticaje od simetričnih EE vodova, koji se računaju prema JUS-u N.CO.101, smetajuće uticaje koji se računaju prema JUS-u N.CO.102 i, ako se kabl nađe u blizini elektrificirane pruge nudi se opcija proračuna prem JUS-u N.CO.103.

Ovo ćemo uraditi tako što ćemo nakon pripremljenog crteža na kome su nanete trase TK voda(voda pod indukcijom) i EE voda (voda koji vrši indukciju) ući u modul za proračun preko odgovarajućeg menija modula

za proračun uticaja .Nakon ulaska u ovaj modul označava se EE vod i unose veličine koje ga opisuju koje su potrebne za proračun uticaja. Pošto se TK vod na pomenuti crtež nanosi selektovanjem njegove trase u zoni uticaja automatski se unose tipovi kablova ,kapaciteti, konstrukcije kablovskog omotača i dužine segmenata između kablovskih pribora .Unosi se i podatak o veličini zone uticaja oko EE voda i daje se TeleCAD-GIS-u nalog „Napred“ na izvršenje proračuna.

Dužina samog proračuna traje 2-3 sekunde u zavisnosti od obima posla koji TeleCAD-GIS treba da izvrši.Za to vreme budu izračunate sve međusobne induktivnosti duž trase na pojedinim segmentima po tačnim formulama Carson-Pollaczek ,izvši se njihovo integraljenje duž trase na svakom segmentu,izračunaju se podužno indukovane elektromotorne sile svih segmenata i saberi na celoj dužini trase pod indukcijom.

U ovom proračunu nije automatizovano izračunavanje redukcionih faktora, dakle jedino se, za sada, redukcioni faktori unose ručno, ali njih je bez učešća proizvođača kablova nemoguće automatski izračunavati.

Kod izračunavanja smetnji od dalekovoda visokog napona na identičan način se ulazi u deo modula za proračun koji se radi u skladu sa JUS standardom N.CO.102.a uticaji voda elektrovoće se izračunavaju prema JUS-u N.CO.103.

V. ZAKLJUČAK

U vreme pisanja JUS standarda korišćenje računara nije bilo rasprostranjeno za uobičajen inženjerski rad pa u njemu nisu ni napisene formule Carson-a i Pollaczek-a ali je data tabela vrednosti funkcija $M_0(x)$, $|M_0(x)|$ i $S(x)$ (Tabela 3 JUS-a N.CO.101) iz koje se vidi da je $M_0(x)$ kompleksan broj. Međutim gotovo nemoguće je bilo koristiti tu tabelu za izračunavanje podužno indukovanih elektromotornih sila na pojedinim segmentima,u kompleksnom obliku, a zatim ih kao kompleksne brojeve sabrati. Zbog toga je, u primerima JUS standarda, $M_o(x)$ očitavano po modulu pa su tako i podužno indukovane ems bile izračunavane i sabirane.

Automatizacijom postupka uz pomoć programskog paketa TeleCAD-GIS-a pored toga što se brzina rada znatno povećava moguće je izbeći sve pomenute greške.

Međutim činjenica da je $M(x)$ kompleksan broj i da je moduo zbiru kompleksnih brojeva uvek manji od zbiru njegovih modula, a da JUS standardi predviđaju sabiranje modula, omogućava da se ova greška i dalje pravi pa smatramo da tekst JUS standarda treba dopuniti tako da ozvaniči proračun podužno indukovane elektromotorne sile korišćenjem računara, čime bi prethodno pobrojane greške bile eliminisane.

Razlog zašto smatramo da ovu grešku ne treba praviti je i taj da je za već izgrađene TK vodove elektromotornu silu moguće meriti i merne rezultate upoređivati sa rezultatima dobijenim proračunima(ovo podrazumevamo da specifična otpornost tla treba merenjima da bude dobijena)

Na osnovu svega izvodimo zaključak da korišćenjem računara eliminišemo sledeće greške u proračunu:

-grešku koja utiče na tačnost proračuna kad se kose približavanja svode na paralelizme kao što je to u primerima, JUS standardima, predviđeno, a koja se eliminiše integraljenjem podužno indukovanih elektromotornih sila duž trase

- i grešku koja se pravi zato što duž trase treba integraliti delta vrednosti podužno indukovanih elektromotornih sila u kompleksom obliku.

Rad na razvoju programskog paketa TeleCAD-GIS, u ovoj oblasti,je bio do sad usmeren u pravcu eliminisanja ovih grešaka. Dalja automatizacija komplettnog postupka će biti usmerena na izračunavanje vrednosti redukcionih faktora, najpre u idealnim uslovima, kojima treba težiti, a potom i u realnim uslovima koji se mogu desiti u periodu eksploatacije .

LITERATURA

- [1] Woodland F.,”Electrical interference aspects of buried electrical power and telephone lines,IEEE Trans.,1979.
- [2] Miyazaki K.,Hashimoto E.,Inoue Y.,”Electromagnetic induction in communication lines laid along bridges and shielding affects of bridges”, IEEE Trans., PAS-98, 1979
- [3] Petrović R., Tošić M., Proračun elektromagnetsnog uticaja elektroenergetskih vodova na telekomunikacione vodove savetovanje ZJPTT, Poreč 1982.
- [4] Petrović R., Tošić M., Redukciono dejstvo kablovskog omotača pri uticaju elektroenergetskih vodova na telekomunikacione vodove, YUTEL 1986.
- [5] Autodesk Developer Network (ADN), Rel. 2008., <http://adn.autodesk.com>
- [6] Savović Lj., Šestić M., Maksimović S., “Softverski paket INOVA TeleCAD-GIS”, TELFOR 2003

ABSTRACT

This paper presents advantages of influence calculation of high power lines on telecommunication lines which are integrated with TeleCAD-GIS. After drawing high power line and telecommunication line on the cadastral card, TeleCAD-GIS reads by itself all data that is requested about each selected line. This data is then put in the table needed for the influence calculation of high power lines on telecommunication lines. In that manner, we get much faster and more precise calculation.

ADVANTAGES OF PRACTICAL APPLICATION OF TeleCAD-GIS IN CALCULATING INFLUENCE OF HIGHPOWER LINES ON TELECOMMUNICATION LINES

Milorad Tošić, Goran Medić, Dejan Raketić