

ANALIZA RASPODELE ELEKTRIČNOG I MAGNETSKOG POLJA U OKOLINI MEŠOVILOG (VIŠESISTEMSKOG) VODA

K. Kasaš-Lažetić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

S. Lolić, Elektrodistribucija Novi Sad, Novi Sad, Srbija

A. Mitrović, Schneider Electric DMS NS, Novi Sad, Srbija

N. Đurić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

M. Prša, penzionisan sa Univerziteta u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U ruralnim sredinama se često koriste mešoviti nadzemni vodovi, u kojima se na istim stubovima nalaze srednjenaponski i niskonaponski trofazni vod. Mešoviti nadzemni vod postavljen duž saobraćajnica u naseljenim mestima, stvara električno i magnetsko polje, čije prisustvo može da utiče na ljude i žive organizme koji mogu da se nađu u njima. Vrednosti intenziteta vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije ne smeju da pređu granične vrednosti određene Pravilnikom o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima. Iz tog razloga, u radu je izvršena analiza raspodele električnog i magnetskog polja u okolini mešovitog nadzemnog voda, za slučaj kada se najniži fazni provodnik nalazi na sigurnosnoj visini od 6 m. Kao strujno opterećenje su uzete nominalne struje, definisane za posmatrane poprečne preseka korišćenih provodnika. U okviru rada su izvršeni proračuni, sa ciljem da se utvrdi uticaj rasporeda faza potencijala provodnika i vektora gustine struje u provodnicima sistema na raspodelu električnog i magnetskog polja. Prvo je posmatran srednjenaponski vod. Pri faznom stavu koji je dao najveće vrednosti intenziteta vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije, dodat je niskonaponski vod i izvršena je dodatna analiza uticaja faznih stavova niskonaponskih provodnika. Pokazano je da fazni stavovi utiču na prostornu raspodelu električnog polja i intenziteta vektora magnetske indukcije i određeni su najnepovoljniji rasporedi faza, koji daju najveće vrednosti intenziteta vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije. Uočeno je, da srednjenaponski vod ima dominantan uticaj na raspodelu električnog polja, dok prisustvo niskonaponskog voda pri određenom faznom stavu može da poveća intenzitet vektora magnetske indukcije i do tri puta. Svi proračuni su izvršeni numerički, koristeći programski paket COMSOL Multiphysics, na pojednostavljenom, dvodimenzionalnom modelu mešovitog voda.

Ključne reči: Mešoviti vod, vektor jačine električnog polja, vektor magnetske indukcije, raspored faza, ekologija

ABSTRACT

Mixed overhead power lines are frequently applied in rural environments. In this systems, both, the medium and the low voltage three phase conductors are placed on the same towers. Mixed overhead lines, with routes running along the roads in urban areas, produce electric and magnetic field, which could produce some harmful health-effects on the nearby population. The magnitude of the electric field strength vector and the magnetic flux density vector must not exceed the exposure limits, established in Guidelines on limits of exposure to non-ionizing radiation. For this reason, this paper analyses the electric and magnetic field distribution in vicinity of mixed overhead power line, when the lowest phase conductor is at the safety high of 6 m. As current loads, the nominal currents are taken into account, in accordance with applied conductor's cross sections. The calculations were carried out in order to determine the influence of potential phase arrangement as well as the current phase shifts on the variation of electric and magnetic field distribution. In the first step, only the medium voltage system was taken into consideration. After finding the potential phase arrangements and current phase shift, for the phase arrangement which produces the highest values of electric field strength vector and magnetic flux density vector magnitudes, the low voltage system was added to the existing system. After that, an additional analysis of phase shift variation in low voltage system was investigated. The presented results reveal that the electric field strength vector and magnetic flux density vector magnitudes below the conductors depend on conductors phase sequence arrangements. The worst phase arrangement was determined, for the highest level of electric field strength vector and magnetic flux density vector magnitude. The present study showed that the medium-voltage line has a dominant influence on electric field distribution, while the presence of low-voltage power system at a certain phase arrangement can increase the magnetic flux density vector magnitude nearly up to three times. All calculations were computed applying COMSOL Multiphysics software, on a simplified, two-dimensional model of mixed power line.

Keywords: Mixed power line, electric field vector, magnetic flux density vector, phase arrangement, ecology

¹Email: kkasas@uns.ac.rs, ²Email: slobodan.lolic@elektrodistribucija.rs, ³Email : andrija1923@gmail.com,
⁴Email : ndjuric@uns.ac.rs, ⁵Email: prsa@uns.ac.rs

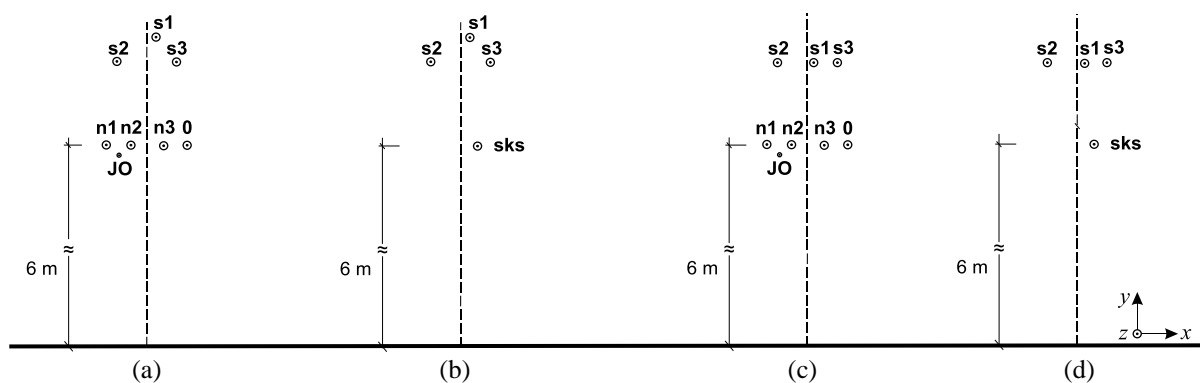
UVOD

Opšte je poznato, da se u okolini provodnika pod naponom javlja električno polje, a oni provodnici u kojima je uspostavljena struja, stvaraju oko sebe magnetsko polje. Iz ovih činjenica proizilazi, da u okolini provodnika koji služe za prenos i distribuciju električne energije postoji elektromagnetsko polje. U tom polju neminovno borave ljudi i ostali živi svet. U današnje vreme sve izraženiji zahtevi za zaštitom životne sredine, u koju spada i praćenje nivoa električnog i magnetskog polja u okolini raznih izvora tih polja, nameću potrebu da se izvrši analiza raspodele elektromagnetskog polja u blizini elektroenergetskih sistema.

U urbanim, gusto naseljenim sredinama se, u današnje vreme, za prenos i distribuciju električne energije sve više koriste podzemni kablovi, dok se u ruralnim predelima prenos i distribucija još uvek vrlo često vrše pomoću nadzemne mreže. Između razdvojenih ruralnih oblasti, a nekad i unutar njih, u mnogim slučajevima se koriste nadzemni, takozvani višesistemski ili mešoviti vodovi, u kojima se nalaze kako niskonaponski tako i srednjenaponski trofazni vodovi(1). Vrlo često se na iste konzole na koje su pričvršćeni niskonaponski vodovi, pričvršćuje i vod javnog osvetljenja (JO). U okolini datih sistema uvek postoji kako električno tako i magnetsko polje, čiji uticaj na ljude i žive organizme treba uvek pomno pratiti.

Za srednjenaponske vodove se uvek koriste goli alučel provodnici, dok niskonaponske alučel provodnike sve češće zamenjuju izolovani provodnici, takozvani samonoseći kablovski snop (SKS), koji predstavlja pouzdan snop izolovanih aluminijumskih užadi oko nosećeg užeta. Oko srednjeg nultog voda su postavljeni fazni provodnici i provodnik za javno osvetljenje. SKS se koristi prvenstveno zbog manjeg rizika od kratkog spoja usled dodira provodnika, lakšeg postavljanja i, sa ekološkog aspekta veoma bitnog faktora, ne iziskuje seču drveća duž trase.

Za mešovite vodove su ravnopravno u upotrebi metalni i armirano-betonski stubovi, pri čemu su moguće konfiguracije vodova na armirano-betonskim stubovima prikazane na Sl. 1. Srednjenaponski vodovi (s1 s2 s3) mogu da se postave u obliku trougla ili u istoj ravni, dok se niskonaponski vodovi (n1 n2 n3) zajedno sa nultim vodom, uvek postavljaju na horizontalnu konzolu. SKS se na stub pričvršćuje preko odgovarajućih nosećih stezaljki.



Sl. 1. Konfiguracije faznih provodnika mešovitih vodova na armirano-betonskim stubovima.

U okviru ovog rada je izvršena analiza raspodele električnog i magnetskog polja u okolini mešovitog voda, postavljenog na armirano-betonski stub, sa razmeštajem faznih provodnika prikazanim na Sl. 1a. Ispitan je uticaj rasporeda faznih provodnika oba sistema, sa ciljem da se pronađe naj-prihvatljivija konfiguracija, ona koja daje elektromagnetsko polje najmanjeg intenziteta na standardom opisanoj ispitnoj visini od 1 m od tla, kao i najgora, sa najvećom vrednošću intenziteta vektora jačine električnog polja, na istoj visini.

Svi proračuni su izvršeni numerički, koristeći COMSOL Multiphysics programski paket (2), na pojednostavljenom dvodimenzionalnom modelu mešovitih stubova i korišćenih faznih provodnika.

TEORIJSKE OSNOVE RADA

Elektromagnetsko polje mrežne učestanosti (na ovim prostorima 50 Hz) spada u vremenski sporopromenljiva elektromagnetska polja, tako da se takvo složeno polje može analizirati kao dva međusobno nezavisna polja: vremenski sporopromenljivo električno polje i vremenski sporopromenljivo magnetsko polje.

U slučaju vremenski promenljivih struja, usled površinskog efekta, mnogo manji deo struje će se rasporediti po čeličnom jezgri alučel užeta, što znači da jezgro, iako je od nelinearnog materijala, neće dostići zasićenje, i kao takvo, može da se posmatra kao linearan materijal konstantne permeabilnosti.

Linearnost sistema i prostoperiodične struje koje postoje u vodovima, omogućuju da se analiza problema pojednostavi izvrši u kompleksnom domenu. Geometrija sistema nameće da se ceo sistem posmatra kao dvodimenzionalan, u ravni koja je normalna na pravac prostiranja vodova. Analizu problema je najpogodnije izvršiti u Dekartovom pravouglom koordinatnom sistemu. Najčešće se z osa postavlja duž ose provodnika i usmerena je ka nama, kao što je prikazano na Sl. 1. U tom slučaju se vektori jačine konzervativne komponente električnog polja i vektori magnetske indukcije nalaze u x - y ravni.

Za određivanje elektromagnetskog polja, koriste se dve veličine, kompleksni električni skalar potencijal, \underline{V} , i kompleksni magnetski vektor potencijal, $\underline{\vec{A}}$. Rešavanjem odgovarajućih kompleksnih parcijalnih diferencijalnih jednačina za kvazistatičko polje (3).

$$\Delta \underline{V} = 0, \quad (1)$$

$$\Delta \underline{\vec{A}} - j\omega\mu\sigma\underline{\vec{A}} = -\mu\underline{\vec{J}},$$

može da se odredi kompleksni vektor jačine električnog polja,

$$\underline{\vec{E}} = -\text{grad}\underline{V} - j\omega\underline{\vec{A}}. \quad (2)$$

Prvi sabirak u izrazu za ukupan kompleksni vektor jačine električnog polja predstavlja njegovu konzervativnu komponentu,

$$\underline{\vec{E}}_k = -\text{grad}\underline{V}, \quad (3)$$

dok drugi sabirak opisuje indukovanu komponentu, koja predstavlja vrtložno polje,

$$\underline{\vec{E}}_i = -j\omega\underline{\vec{A}}. \quad (4)$$

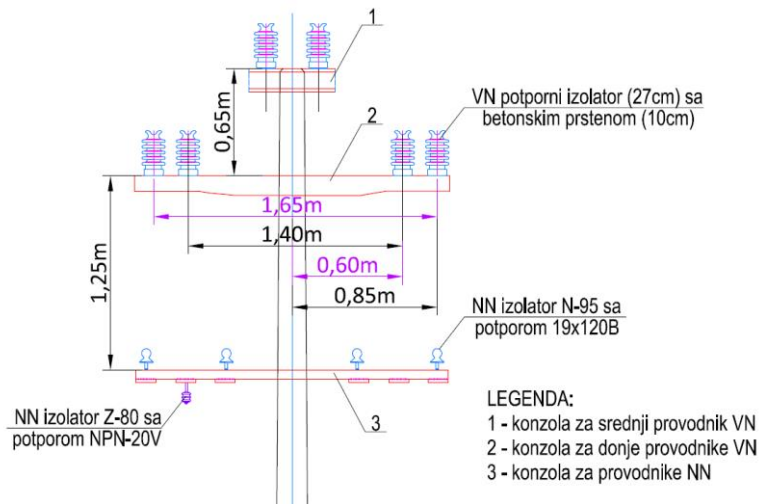
Kompleksni vektor magnetske indukcije se dobija preko kompleksnog magnetskog vektor potencijala,

$$\underline{\vec{B}} = \text{rot}\underline{\vec{A}}. \quad (5)$$

Za granični uslov se, prilikom rešavanja diferencijalnih jednačina (1), uzima da je električni skalar potencijal jednak nuli na granicama posmatrane oblasti i da magnetski vektor potencijal iščezava dovoljno daleko od provodnika.

MODEL

U radu je analiziran mešoviti vod postavljen na armirano-betonske stubove, standardne visine 12 m koji su ukopani 2 m u zemlju, tako da je visina stuba iznad zemlje 10 m. Na armirano-betonski stub se postavljaju vršne konzole, na koje su pričvršćeni potporni izolatori za prihvatanje provodnika. Na Sl. 2 je prikazan izgled konzola sa izolatorima za prihvatanje srednjenaponskih (SN) provodnika i konzole sa izolatorima na koje se postavljaju niskonaponski provodnici (NN) i provodnik za javno osvetljenje. SN fazni provodnici su raspoređeni u obliku trougla, dok su sva tri fazna NN provodnika postavljena u istu ravan, zajedno sa nulnim provodnikom. Provodnici se vezuju mekanom žicom, proizvoljno, sa leve ili desne strane, na potporni izolator.



Sl. 2. Izgled konzola sa izolatorima mešovitog voda; SN i NN deo.

Za SN vodove se uvek koriste goli alučel provodnici preseka $50/8 \text{ mm}^2$, dok su u ovoj konfiguraciji za NN vodove posmatrani alučel provodnici istog poprečnog preseka. Za javno osvetljenje je uzeto alučel uže preseka $25/4 \text{ mm}^2$ (4).

Da bi se proračun raspodele elektromagnetskog polja pojednostavio, realan alučel provodnik može da se zameni uprošćenim modelom, sastavljenim od koaksijalno postavljenih cilindričnih provodnika kružnog poprečnog preseka, unutrašnjeg od čelika, poluprečnika a , i spoljašnjeg od aluminijuma, poluprečnika b . U Tabeli 1 su navedene osnovne karakteristike alučel provodnika korišćenih u mešovitim sistemima, kao i podaci o vrednostima proračunatih ekvivalentnih poluprečnika modela (5).

Tabela 1. Alučel užad – Dimenzije realnog provodnika i modela

Nazivni presek užeta [mm ²]	Čelična žica		Alu žica - plašt		Čelična žica		Alu žica - plašt	
	Realan provodnik broj i prečnik žice		Realan provodnik broj i prečnik žice		Model pprečnik i prečnik		Model pprečnik i prečnik	
	n	mm	n	mm	a	2a	b	2b
25/4	1	2,250	6	2,250	1,125	2,250	2,976	5,953
50/8	1	3,200	6	3,200	1,600	3,200	4,233	8,466

Specifične provodnosti materijala od kojih su načinjeni korišćeni provodnici su određeni merenjem (6)

$$\sigma_{Al} = 3,55 \cdot 10^7 \text{ S/m}, \sigma_{Fe} = 0,559 \cdot 10^7 \text{ S/m},$$

dok je za relativnu permeabilnost čeličnog jezgra uzeta vrednost $\mu_r = 850$ (7).

U radu je posmatrana konkretna mešovita mreža 20/0,4 kV, gde su kompleksne vrednosti električnog skalar potencijala provodnikau odnosu na zemlju, $\underline{V}_z = 0 \text{ kV}$, izražene u obliku:

$$\begin{aligned} \underline{V}_{1S} &= \frac{20\sqrt{2}}{\sqrt{3}} e^{j0^\circ} [\text{kV}], & \underline{V}_{1N} &= 230\sqrt{2} e^{j0^\circ} [\text{V}], \\ \underline{V}_{2S} &= \frac{20\sqrt{2}}{\sqrt{3}} e^{-j120^\circ} [\text{kV}], & \underline{V}_{2N} &= 230\sqrt{2} e^{-j120^\circ} [\text{V}], \\ \underline{V}_{3S} &= \frac{20\sqrt{2}}{\sqrt{3}} e^{-j240^\circ} [\text{kV}], & \underline{V}_{3N} &= 230\sqrt{2} e^{-j240^\circ} [\text{V}], \end{aligned}$$

pošto se kao nominalni napon uvek uzima linijski (međufazni) napon. Dati fazni stavovi će u radu biti predstavljeni pomoću oznaka [0 4 8]. Na osnovu podataka iz (1), (8) trajno dozvoljena jačina struje u sistemu, za alučel uže nazivnog preseka $50/8 \text{ mm}^2$, iznosi, $I_N = 170 \text{ A}$, dok je za uže $25/4 \text{ mm}^2$, javnog osvetljenja (JO), nominalna jačina struje, $I_N = 125 \text{ A}$. U skladu sa tim, za strujno opterećenje faznih provodnika, definisani su kompleksni vektori gustine struje pojedinih provodnika

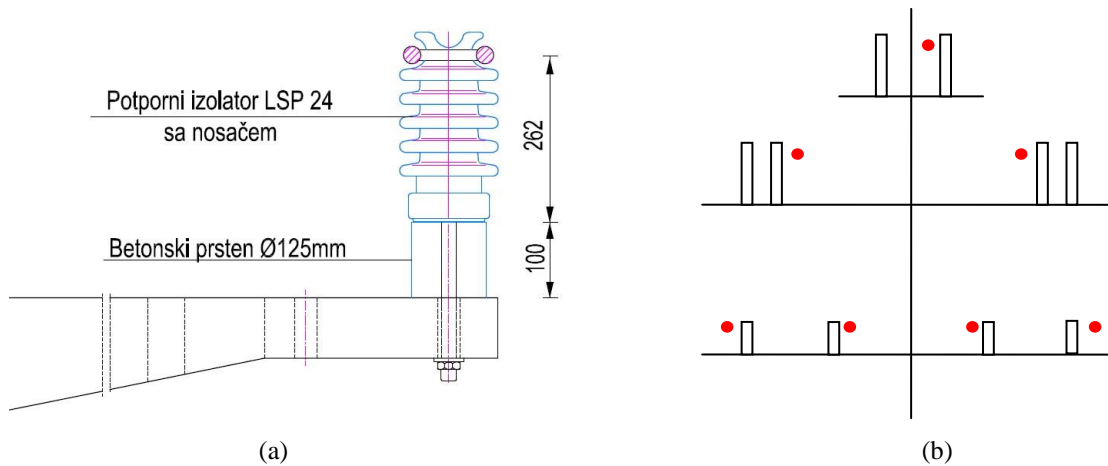
$$\begin{aligned}\underline{J}_1 &= \frac{I_1}{S} \vec{i}_z = \frac{170\sqrt{2}}{b^2\pi} e^{j0^\circ} \vec{i}_z \quad [\text{A/m}^2], & \underline{J}_{JO} &= \frac{125\sqrt{2}}{b^2\pi} \vec{i}_z \quad [\text{A/m}^2], \\ \underline{J}_2 &= \frac{170\sqrt{2}}{b^2\pi} e^{-j120^\circ} \vec{i}_z \quad [\text{A/m}^2], \\ \underline{J}_3 &= \frac{170\sqrt{2}}{b^2\pi} e^{-j240^\circ} \vec{i}_z \quad [\text{A/m}^2],\end{aligned}$$

pri čemu su za poluprečnik b , uzete adekvatne vrednosti iz Tabele 1. U daljem radu, fazni stavovi kompleksnih vektora gustine struje nosiće oznake [R S T], kako bi prikazivanje složenih situacija u sistemu bilo jasnije.

Proračun električnog i magnetskog polja mešovitog voda prethodno navedenih karakteristika je izvršen primenom COMSOL Multiphysics računarskog programskog paketa. U skladu sa teorijskim razmatranjima, problem se rešava kao dvodimenzionalan, u ravni x - y , prikazanoj na Sl. 1. U skladu sa tim, mešoviti vod se modeluje u pravougaonoj oblasti, dovoljno velikih dimenzija, da bi definisani granični uslovi bili zadovoljeni. Formirana oblast je podeljena na dva, takođe pravougaona dela, zemlju i vazduh, sa adekvatnim vrednostima njihovih električnih i magnetskih osobina ($\epsilon_{rz} = 1$, $\mu_{rz} = 1$, $\sigma_z = 0,02 \text{ S/m}$, $\epsilon_{rv} = 1$, $\mu_{rv} = 1$, $\sigma_v = 0$).

U proračunima je NN sistem postavljen na sigurnosnu visinu $h = 6 \text{ m}$, prikazanu na Sl. 1, definisanu pravilnikom, (9).

Moguć položaj SN i NN provodnika u odnosu na izolatorske glave na odgovarajućim konzolama je šematski, šrafiranim kružićima, predstavljen na Sl. 3a. Na Sl. 3b je prikazan proizvoljno izabran raspored provodnika, pošto pravilnikom nije jednoznačno definisan njihov položaj u odnosu na potporne izolatore.



(a) Slika 3a. Moguć položaja provodnika u odnosu na potporni izolator.

(b) Slika 3b. Šematski prikaz rasporeda SN i NN provodnika u analiziranoj konfiguraciji.

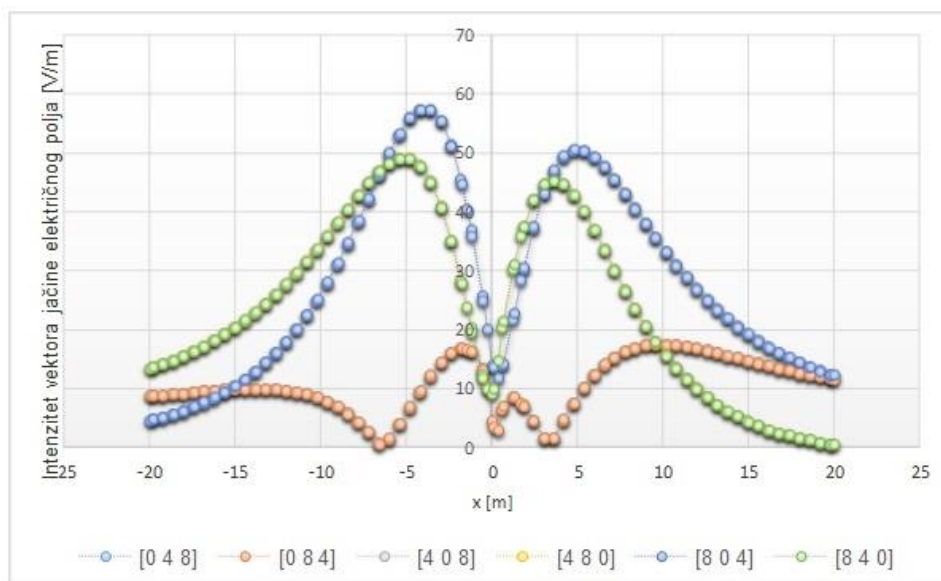
Da bi se što tačnije odredila raspodela električnog i magnetskog polja u okolini analiziranog sistema, a da se pri tome računar ne optereti suviše, formirana je adaptivna mreža koja je u okolini provodnika gušća, nego u oblasti daleko od njih.

Nakon formiranja mreže, program rešava odgovarajuće kompleksne parcijalne diferencijalne jednačine po nezavisnim promenljivama, električnom skalar potencijalu i magnetskom vektor potencijalu, u odgovarajućim tačkama mreže i time omogućuje određivanje veličina od interesa, u ovom slučaju vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije, na osnovu (2) i (5).

REZULTATI ISPITIVANJA

U radu je prvo ispitivan uticaj rasporeda faza (napona i gustina struja) SN voda na raspodelu električnog i magnetskog polja, u okolini mešovitog voda, bez prisustva NN voda i JO. Nakon toga je, posmatrajući raspored faza SN voda koji daje najveće vrednosti električnog i magnetskog polja, u sistem priključen i NN vod. Za tako kompletiran mešoviti vod, izvršena je analiza uticaja rasporeda faza NN voda, da bi se utvrdio najnepovoljniji raspored faza, onaj koji daje najveće vrednosti električnog i magnetskog polja u okolini sistema, na visini od 1 m iznad tla. Još jednom treba da se napomene, da je celokupna analiza sistema izvršena pri najmanjoj dozvoljenoj visini NN voda od 6 m, (9), (10).

Raspodela intenziteta vektora jačine električnog polja u prisustvu SN voda za različite fazne stavove električnog skalar potencijala, u oblasti $x = \pm 20$ m, prikazana je na Sl. 3.



Sl. 3. Raspodela intenziteta vektora jačine električnog polja prouzrokovan SN vodom.

Sa Sl. 3 se vidi, da po dva fazna rasporeda električnog skalar potencijala daju istu raspodelu intenziteta vektora jačine električnog polja, i to [0 4 8] sa [0 8 4], [4 0 8] sa [8 0 4], [8 4 0] sa [4 8 0]. Najveće vrednosti intenziteta vektora jačine električnog polja se dobijaju za fazne rasporede [4 0 8], [8 0 4], dok su najmanje dobijene pri rasporedu [0 4 8], [0 8 4]. Treba da se uoči i nepotpuna simetrija pojedinih raspodela u odnosu na osu $x = 0$, pravac na kojem se nalazi osa stuba. Pri većim vrednostima intenziteta vektora jačine električnog polja, intenziteti su veći u oblasti levo od stuba. Iako se u konfiguracijama [4 0 8], [8 0 4] javljaju veće maksimalne vrednosti intenziteta vektora jačine električnog polja, u oblasti $x < 0$ taj intenzitet brže opada, pa na rastojanjima $x < -6,5$ m posmatrane vrednosti postaju manje nego pri konfiguraciji [4 0 8], [8 0 4].

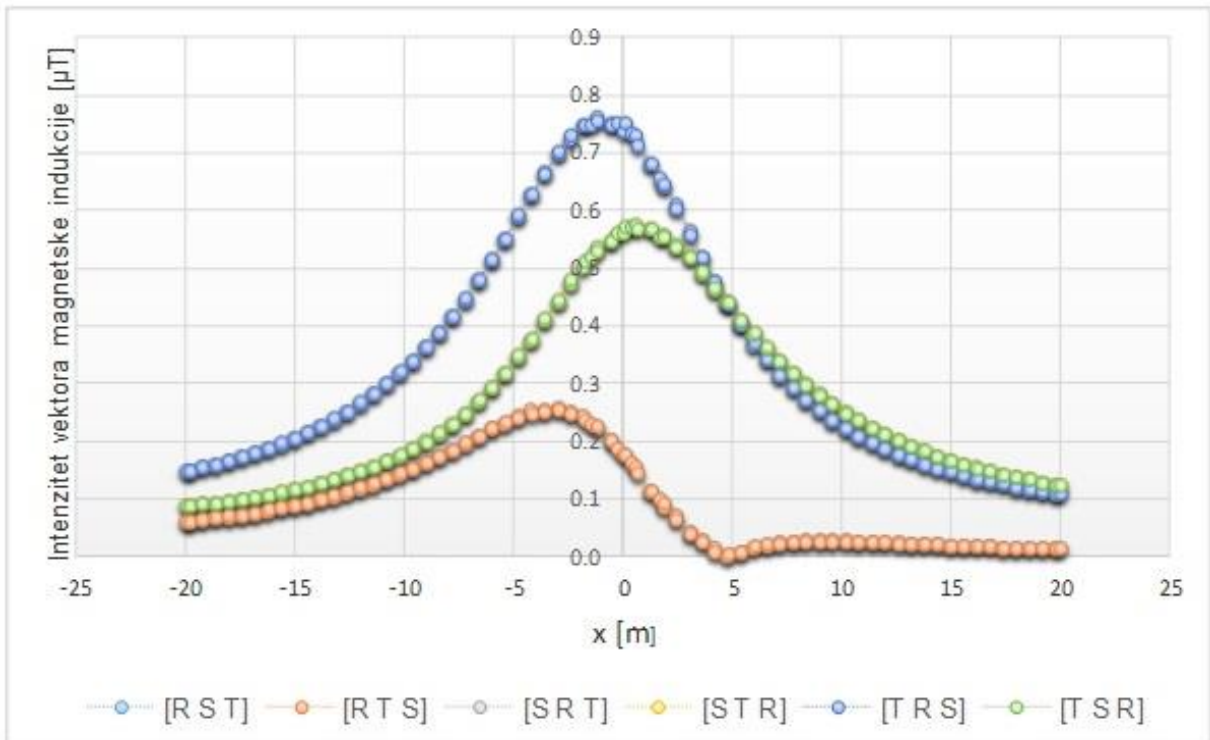
Raspodela intenziteta vektora magnetske indukcije, u prisustvu SN voda za različite fazne stavove, vektora gustine struja, u oblasti $x = \pm 20$ m, prikazana je na Sl. 4.

Na osnovu Sl. 4, može da se zaključi da se iste vrednosti intenziteta vektora magnetske indukcije dobijaju za po dva fazna rasporeda, koja se podudaraju sa parovima pri analizi raspodele intenziteta vektora jačine električnog polja. Najveće vrednosti intenziteta vektora magnetske indukcije se javljaju pri faznim rasporedima gustina struja [S R T], [T R S], dok su najmanje vrednosti uočene pri rasporedu [R S T], [R T S]. I u ovom slučaju se primećuje blaga nesimetričnost u raspodeli polja u odnosu na osu sistema i pomen položaj maksimuma posmatranih grafika pri većim vrednostima polja. Pri rasporedu [R S T], [R T S], tojest pri najmanjim vrednostima polja, raspodela polja u okolini stuba je asimetrična. Sa Sl. 4 se vidi, takođe, da se intenzitet vektora magnetske indukcije relativno brzo smanjuje sa rastojanjem od uzdužne ose sistema.

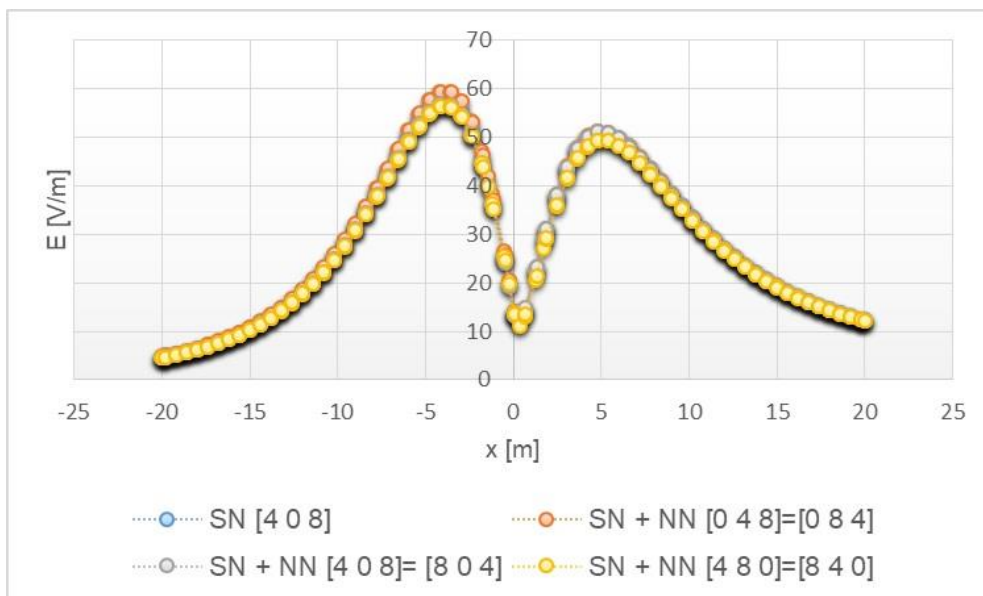
Nakon što su dobijeni „najnepovoljniji“ fazni stavovi, [4 0 8], [8 0 4] raspodele električnog skalar potencijala, kao i raspodele vektora gustine struje, [S R T], [T R S] SN voda, u analizu je uključen NN vod.

Na Sl. 5 je prikazana raspodela intenziteta vektora jačine električnog polja kompletnog mešovitog voda. Promena intenziteta vektora jačine električnog polja prati raspodelu polja usamljenog SN voda, pri čemu rasporedi faza [0 4 8], [0 8 4] neznatno povećavaju (max 3,33%), dok rasporedi [4 0 8], [8 0 4] i [4 8 0], [8 4 0] smanjuju posmatrane intenzitete polja, za najviše 1,23% i 1% respektivno.

Dati rezultati su u skladu sa izrazitom razlikom u naponskim nivoima SN i NN vodova (amplituda potencijala SN provodnika je 50 puta veća od amplitude potencijala NN provodnika).



Sl. 4. Raspodela intenziteta vektora magnetske indukcije prouzrokovane SN vodom.

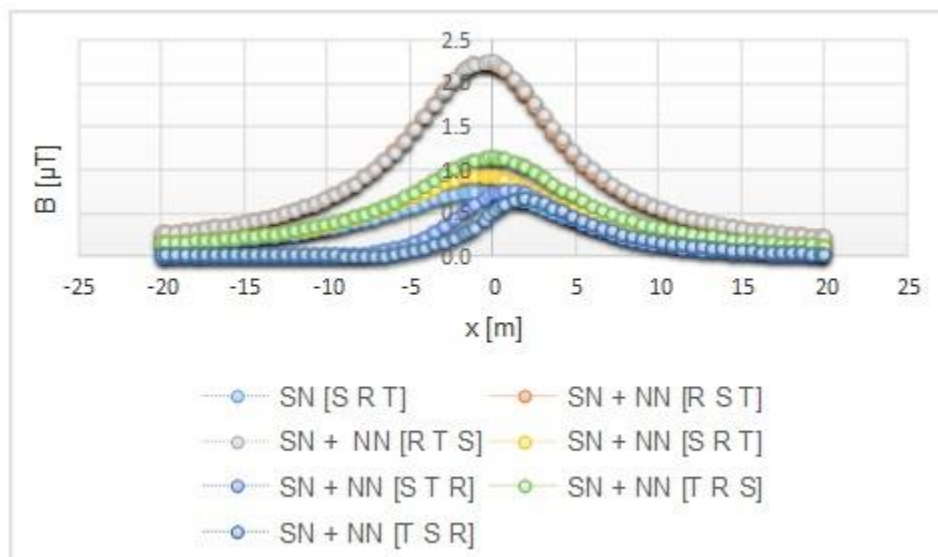


Sl. 5. Raspodela intenziteta vektora jačine električnog polja u prisustvu SN i NN vodova.

Pošto su intenziteti gustine struja u SN i NN sistemu jednaki, uticaj NN vodova na ukupnu raspodelu intenziteta vektora magnetske indukcije je izraženiji, kao što se to vidi na Sl. 6.

U prisustvu NN vodova, ukupan maksimalan intenzitet vektora magnetske indukcije u konfiguracijama [0 4 8], [0 8 4] je 2,95 puta veći od najveće vrednosti kada su uključeni samo SN vodovi.

Prema pravilniku (9), efektivna vrednost intenziteta vektora jačine električnog polja ne sme da ima veću vrednost od 2 kV/m, dok je ograničenje za intenzitet vektora magnetske indukcije 50 μ T. Posmatrajući dobijene vrednosti, može da se zaključi da su one mnogo manje od pravilnikom propisanih granica.



Sl. 6. Raspodela intenziteta vektora magnetske indukcije u prisustvu SN i NN vodova.

ZAKLJUČAK

U radu je prikazan proračun raspodele električnog i magnetskog polja u okolini mešovitog nadzemnog voda, 20/0,4 kV, koji je često u upotrebi u ruralnim predelima. Geometrija sistema je omogućila analizu u dvodimenzionalnom prostoru, u ravni poprečnog preseka provodnika. Proračuni su izvršeni korišćenjem numeričkog postupka implementiranog u programski paket COMSOL Multiphysics.

Zbog sve izraženijih zahteva za praćenjem nivoa električnog i magnetskog polja u okolini izvora tih polja, celokupna analiza je izvršena posmatrajući najnepovoljniji položaj provodnika, 6 m iznad tla, definisan odgovarajućim pravilnikom. Električno i magnetsko polje je računato na visini 1 m od površine tla.

Proračuni su pokazali da raspored faza potencijala i vektora gustine struje SN i NN vodova utiče na raspodelu intenziteta vektora jačine električnog polja i vektora magnetske indukcije u okolini mešovitog voda.

Na raspodelu intenziteta vektora jačine električnog polja dominantan uticaj ima SN vod, dok prisustvo NN voda menja raspodelu intenziteta vektora magnetske indukcije.

Upoređujući najveće dobijene intenzitete vektora jačine električnog polja sa vrednostima koje su definisane Pravilnikom (2 kV/m) (9), zaključuje se da su one mnogo manje od graničnih vrednosti. Najveće vrednosti intenziteta vektora magnetske indukcije od oko 2,3 μT , pri nominalnom strujnom opterećenju, su takođe mnogo manje od granične vrednosti, 50 μT . Pri realnim opterećenjima, posmatrane vrednosti bi bile još niže.

Analiza date konfiguracije mešovitog voda pokazala je, da ovaj matematički model u potpunosti opisuje posmatran problem i da se uspešno može koristiti za analizu mešovitih vodova sa drugačijim prostornim položajem SN i NN sistema, kao i upotrebom SKS za NN deo.

ZAHVALNICA

Rad predstavlja deo istraživanja na projektima broj TR32055, finansiranim od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Srbije, 2011-2018.

Autori se zahvaljuju preduzeću GAT d.o.o iz Novog Sada na finansijskoj podršci koja je omogućila izlaganje ovog rada.

LITERATURA

1. Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica, "Sl. List SFRJ", br. 13/78 i "Sl. List SRJ", br. 37/95.
2. COMSOL Multiphysics, documentation, 2008.
3. Popović B D, 2000, "Elektromagnetika", "Gradjevinska knjiga", Beograd, str. 176.
4. Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV, "Sl. List SFRJ", br. 65/88 i "Sl. List SRJ", br. 18/92.
5. Prša M, Kasaš-Lažetić K and Đurić N, "Determination of Frequency Dependent Radiuses of Steel Cored Aluminum Conductors," In Proceedings of 2nd International Conference on EMF-ELF, Paris, France, 2011, Paper No A-P-05, pp. 117-123.
6. Kasaš-Lažetić K, Prša M, Bajović V and Vukobratović B, 2011, "Determination of ACSR's Electrical Characteristics", 10th International Conference on Applied Electromagnetics, ПЕC 2011, Niš, Serbia, Session O2 03.
7. Kasaš-Lažetić K., Prša M., Herceg D. i Đurić N.: "Determination of magnetic parameters of ACSR steel core", XVII-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA 2012, Bourgas, Bulgaria, 28-30 May 2012, Proceedings Vol. 1, pp.171-178.
8. Gerić Lj, Đapić P, "Razvodna postrojenja – zbirka zadataka", "FTN izdavaštvo", Novi Sad.
9. "Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima", "Sl. Glasnik RS", br. 104/2009, str. 7.
10. Mitrović An., Kasaš-Lažetić K., Đurić N., Mitrović Al. i Prša M.: "Izbor stubova u prenosnim elektroenergetskim mrežama sa ekološkog aspekta", 33. Međunarodno savetovanje Energetika 2017, Zlatibor, Srbija, 28-31. mart 2017, Energija, Ekonomija, Ekologija, List Saveza energetičara, broj 1-2/ Godina XIX, str. 342-349.