

UTICAJ CEVI TOPA TENKA NA DIJAGRAM ZRAČENJA MONOPOL ANTENE

Đorđević Lj. *Miroslav*, Visoka škola strukovnih studija za
informacione i komunikacione tehnologije, Beograd

UDK: 623.438.5:621.396.67

Sažetak:

Za potrebe telekomunikacija na kupolu tenka se obično postavlja monopol antena. Na niskim učestanostima čitav tenk se mora tretirati kao deo antenskog sistema. U ovom radu prikazana je metoda za elektromagnetsko modelovanje metalnih struktura koja je zatim primenjena na analizu zračenja monopol antene na tenku. Simulacije zračenja su vršene u opsegu učestanosti od 1 MHz do 30 MHz. Posebna pažnja posvećena je analizi efekata koje na dijagram zračenja antene ima povećanje elevacije cevi topa. Analiza zračenja monopola na tenku vršena je bez prisustva i u prisustvu provodne zemlje. Pokazano je da povećanje elevacije cevi topa na određenim učestanostima može da dovede do degradacije uniformnosti zračenja u horizontalnoj ravni.

Ključne reči: elektromagnetska analiza, metod momenata, monopol antena, tenk, telekomunikacije.

Uvod

U modernim vojnim doktrinama, informacione tehnologije zauzimaju sve bitnije mesto. Brza razmena raznovrsnih tipova informacija na bojnopolju postaje neophodan sastojak vojnih dejstava, jer smanjuje neophodne resurse, povećava sigurnost i mobilnost i omogućava brže i tačnije donošenje odluka u komandnom centru [1]. Sa stanovišta telekomunikacija, zbog dizajna antenskih sistema i propagacije radio-talasa, oklopna vozila, a pogotovu tenkovi, predstavljaju specifičan problem. Za razliku od, recimo, kamiona, gde je moguće održavati radio-vezu, čak i pomoću prenosne telekomunikacione opreme, tenkovi predstavljaju Faradejev kavez, tako da je neophodno postavljanje spoljašnje antene. Tenkovi se sastoje od delova čiji međusobni položaj nije skoro statičan (kao kod aviona), već se umnogome menja u zavisnosti od potrebe (orijentacija kupole, elevacija cevi topa). Finalno, u opsegu učestanosti do nekoliko desetina megaherca, dimenzije tenka su ili male ili poredive sa talasnom dužinom, tako da nije moguće efikasno ukloniti nega-

tivne efekte strukture na propagaciju talasa na taj način što će se antene fizički udaljiti od ostalih delova ili podići na veću visinu, kao što je to moguće uraditi pri projektovanju telekomunikacionog sistema na brodu.

U ovom radu biće ukratko predstavljene teorijske osnove jedne od metoda za elektromagnetsku analizu metalnih struktura i opisan način modelovanja tenka i monopol antene pozicionirane na kupoli. Zatim će biti ispitan uticaj tenka na zračenje antene u slučaju usamljenog tenka i tenka iznad provodne zemlje, a posebno će biti opisani efekti koje izaziva povećanje elevacije cevi topa.

Metod momenata

Metod momenata (MoM), koji je u numeričku elektromagnetiku prvi uveo R. F. Harrington [2], predstavlja metod za približno rešavanje integralnih jednačina. U ovom delu rada biće ukratko predstavljeni osnovni principi MoM-a (za detalje čitalac se upućuje na [2] i [3]).

Neka je dat sistem provodnih tela u vakuumu, pobuđen incidentnim električnim poljem E_i , kružne učestanosti ω . Označimo površinske struje indukovane po provodnim telima sa J_s . U skladu sa graničnim uslovima ukupno tangencijalno električno polje uz površ provodnika mora biti jednako nuli:

$$[\mathbf{E}(J_s)]_{\text{tang}} + (\mathbf{E}_i)_{\text{tang}} = 0 \quad (1)$$

Rasejano električno polje dato je sa

$$\mathbf{E}(J_s) = -j\omega\mathbf{A} - \nabla\phi, \quad (2)$$

$$\mathbf{A} = \mu \int_S \mathbf{J}_s g dS, \quad (3)$$

$$\phi = \frac{j}{\omega\epsilon} \int_S \nabla_s \cdot \mathbf{J}_s g dS, \quad (4)$$

$$g = \frac{e^{-\gamma R}}{4\pi R}, \quad \gamma = j\omega\sqrt{\epsilon\mu}, \quad (5)$$

gde su \mathbf{A} i Φ magnetski vektor potencijal i električni skalar potencijal, respektivno, g je Greenova funkcija, a γ koeficijent propagacije u posmatranom medijumu.

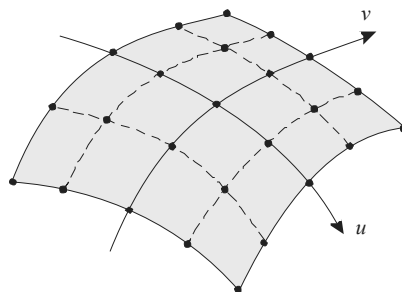
Zamenom (2–5) u (1) dobija se napokon integralna jednačina po nepoznatim strujama J_s . Kada se odrede nepoznate struje dijagram zračenja i ostali parametri elektromagnetskog sistema se lako mogu izračunati.

MoM rešava integralnu jednačinu (1) tako što nepoznatu funkciju J_s aproksimira zbirom proizvoda nepoznatih koeficijenata i poznatih funkcija.

Na taj način (uz nekoliko dodatnih operacija – videti [3]) integralna jednačina (1) transformiše se u sistem linearnih jednačina po nepoznatim koeficijentima koji se zatim rešava klasičnim metodima linearne algebre.

Pošto za svaki elektromagnetski problem koji želimo da analiziramo nije praktično birati posebne skupove funkcija pomoću kojih aproksimiramo nepoznate površinske struje, geometrija problema obično se modeluje jednostavnim oblicima kao što su mali trouglovi i četvorouglovi i na tim oblicima se definišu funkcije (takozvane funkcije bazisa) koje koristimo za aproksimaciju struja.

U ovom radu je, kao osnovni geometrijski element, korišćen četvorougao višeg reda predstavljen na slici 1. Ovu površ određuje $(N+1)^2$ tačaka, proizvoljno raspoređenih u prostoru, gde je N red površi.



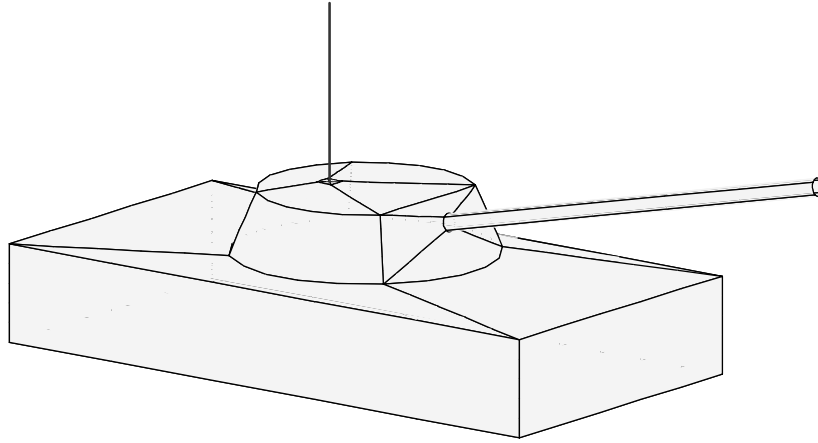
Slika 1 – Četvorougao višeg reda

U slučaju $N=1$ dobijamo bilinearni četvorougao čije su sve stranice prave linije, mada mu površ u generalnom slučaju može biti zakrivljena.

Pošto je četvorougao višeg reda dvodimenziona parametarska (polinomska) funkcija lokalnih koordinata (u, v) , sa koeficijentima koji se izračunavaju pomoću pozicionih vektora $(N+1)^2$ čvorova, za aproksimaciju struja izabrani su polinomi višeg reda lokalnih koordinata [3].

Modelovanje geometrije tenka

Tenk je modelovan pomoću 28 površi, od toga 10 bilinearnih četvorouglova (elemenata prvog reda) i 18 elemenata drugog reda (slika 2). Elementi drugog reda omogućavaju lako modelovanje zakrivljenih delova strukture, kao što su kupola i cev topa. Dužina tenka (bez cevi) iznosi 7,00 m, širina 3,60 m, a visina bez kupole 1,50 m. Visina tenka sa kupolom je 2,20 m, a gornji i donji poluprečnik kupole iznose 1,20 m i 1,50 m, respektivno. Centar kupole pozicioniran je 3,50 m od zadnje ivice tenka. Monopol je modelovan pomoću jednog segmenta žice, ima dužinu od 2,00 m i pozicioniran je na kupoli 3,0 m od zadnje ivice tenka. Monopol ima prečnik od 20 mm i napaja se na spoju sa kupolom. Dužina topovske cevi je 5,20 m, a njen spoljašnji prečnik iznosi 0,20 m.



Slika 2 – Model tenka sa monopol antenom na kupoli

Rezultati

Analiza zračenja monopol antene na tenku vršena je na laptop računaru Dell Vostro 1015 sa Intel Core2Duo procesorom na 2,10 GHz. U sadašnjoj verziji program koristi samo jedan core procesora.

Za razliku od klasičnih metoda elektromagnetske analize koje koriste male trouglove i linearnu aproksimaciju površinskih struja po njima, u našem metodu težimo korišćenju što je moguće manjeg broja velikih elemenata za modelovanje geometrije problema i biramo polinomsku aproksimaciju struja višeg reda, koja omogućava nekoliko puta manji broj nepoznatih za zadati problem, čime se drastično smanjuje ukupno vreme analize.

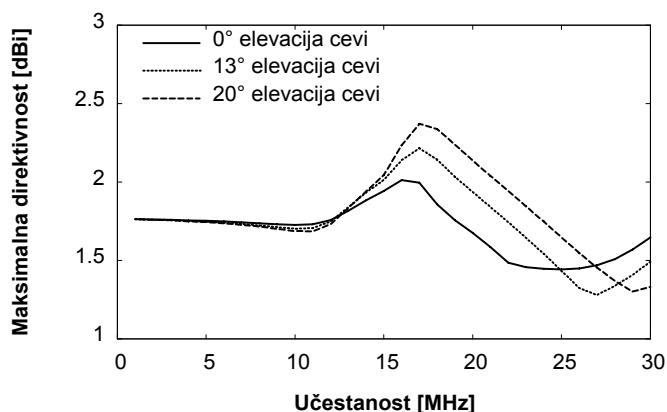
Broj nepoznatih koeficijenata u našem MoM metodu raste sa učestanošću i iznosi 130 na učestanosti od 1 MHz i 337 na učestanosti od 30 MHz. Proračun dijagrama zračenja antene u tri ravni, na 30 učestanosti (od 1 MHz, do 30 MHz, sa korakom od 1 MHz), zahteva oko 2,5 MB memorije i svega 41 sekundu računarskog vremena u slučaju analize usamljenog tenka, odnosno oko 70 sekundi u slučaju analize tenka u prisustvu provodne ravni.

Tenk u slobodnom prostoru

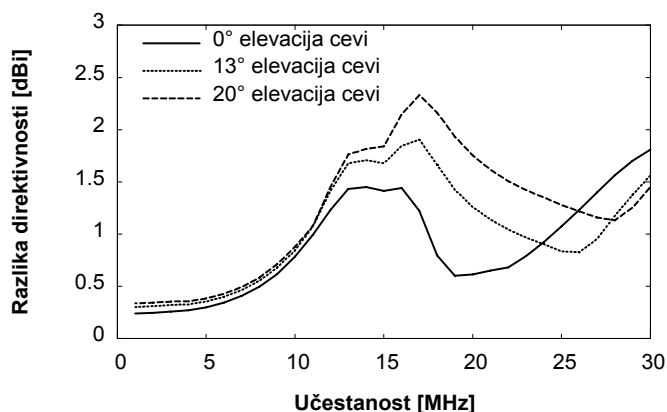
Kao prvi slučaj u našoj analizi dijagram zračenja antene proračunat je u slučaju tenka usamljenog u prostoru, dakle bez uticaja tla. Slika 3 prikazuje maksimalnu direktivnost antene u horizontalnoj ravni kao funkciju učestanosti, u slučaju tri različite pozicije cevi topa. Na niskim učestanostima čitav sistem monopol-tenk ponaša se kao kratka dipol antena (dimenzije monopola i tenka su male u poređenju sa talasnom dužinom koja iznosi 300 m na 1 MHz), tako da je maksimalna proračunata direktivnost oko 1,76 dBi. Na vi-

šim učestanostima dimenzije tenka postaju poredive sa talasnom dužinom, odnosno čitav tenk postaje rezonantna struktura, tako da i dijagram zračenja počinje da odstupa od dijagrama zračenja idealnog dipola.

Slika 4 prikazuje razliku između maksimalnog i minimalnog dalekog polja u horizontalnoj ravni. Na niskim učestanostima varijacija dalekog polja u horizontalnoj ravni iznosi 0,24 dB, za slučaj horizontalne cevi, 0,30 dB za slučaj elevacije od 13°, odnosno 0,34 dB za slučaj elevacije od 20°. Ove male varijacije koje ne predstavljaju nikakav problem za komunikaciju mogu se pripisati činjenici da tenk nije osnosimetričan, dok je uticaj same elevacije cevi skoro neprimetan.



Slika 3 – Maksimalna direktivnost u horizontalnoj ravni

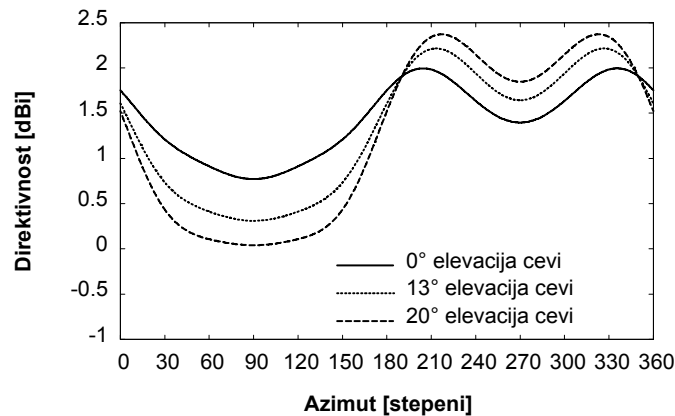


Slika 4 – Varijacija dalekog polja u horizontalnoj ravni

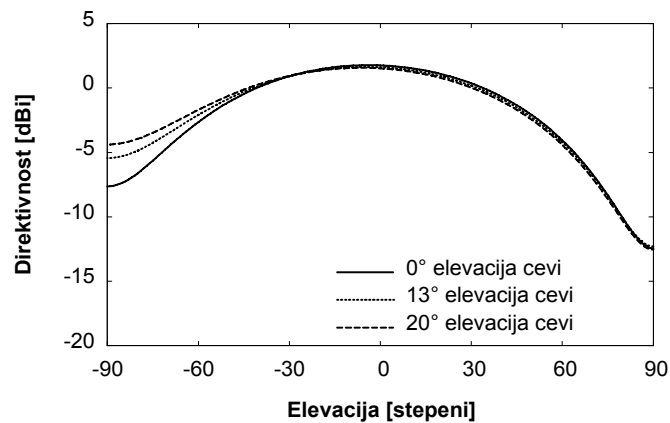
Iako je promena u direktivnosti u opsegu od 15 MHz do 20 MHz manja od 1 dB, uticaj elevacije cevi na dijagram zračenja u horizontalnoj ravni postaje mnogo izraženiji. Na učestanosti od 17 MHz varijacija dale-

kog polja u horizontalnoj ravni iznosi 1,22 dB, 1,90 dB i 2,33 dB u slučaju elevacije cevi od 0° , 13° i 20° , respektivno.

Slika 5 prikazuje dijagram zračenja u horizontalnoj ravni na učestanosti od 17 MHz za tri različite elevacije cevi topa. Azimut od 0° odgovara pravcu ka bočnoj strani tenka, 90° odgovara smeru napred, odnosno duž cevi topa, 180° odgovara smeru ka drugoj bočnoj strani i 270° smeru ka zadnjoj strani tenka. Primećujemo da jačina ka napred izračenog električnog polja opada sa povećanjem nagiba cevi, dok u smeru ka zadnjoj strani tenka u isto vreme opada. Ovakav dijagram zračenja je posledica rezonantnog ponašanja sistema monopol–telo tenka–cev topa, a ne direktno efekat blokade prouzrokovane topom. Polje može biti najjače upravo u smeru ka cevi ukoliko se promene neki parametri.



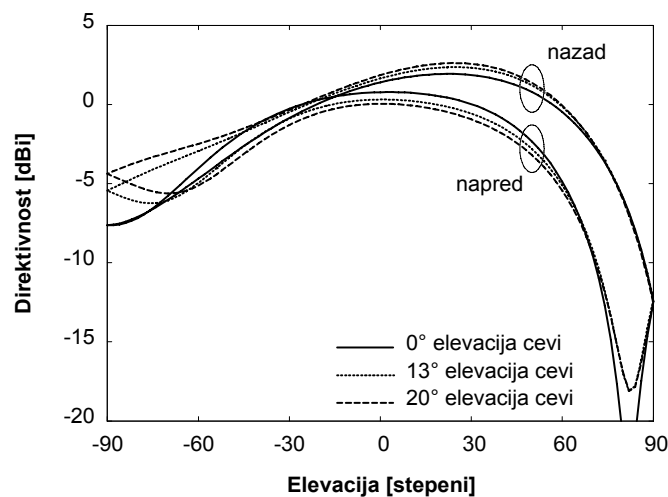
Slika 5 – Dijagram zračenja na učestanosti od 17 MHz u horizontalnoj ravni



Slika 6 – Dijagram zračenja na učestanosti od 17 MHz u ravni koja sadrži monopol i normalna je na ravan simetrije tenka

Slika 6 prikazuje dijagram zračenja antene u ravni normalnoj na ravan simetrije tenka. Zračenje sa dve strane tenka je simetrično, tako da slika prikazuje samo jednu stranu. Dijagram zračenja podseća na dijagram zračenja dipola, uz blago pomeranje pravca maksimalnog zračenja ispod linije horizonta. Zbog asimetrije daleko polje horizontalnih komponenti indukovanih struja po tenku se ne poništava u potpunosti, tako da su nule zračenja na osi monopola (iznad tenka -90° i ispod tenka -90° elevacije) mnogo slabije izražene nego kod dipola.

Dijagram zračenja u ravni simetrije tenka, prikazan na slici 7, pokazuje pomeranje maksimuma na oko 30° elevacije, ka zadnjoj strani tenka.



Slika 7 – Dijagram zračenja na učestanosti od 17 MHz u ravni simetrije tenka

Uticaj provodne zemlje

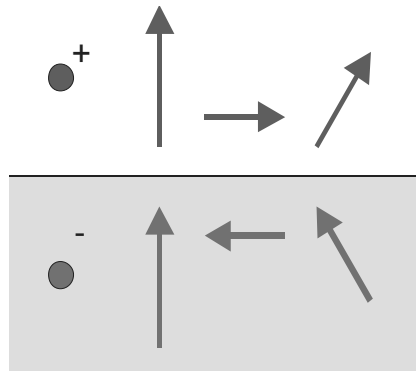
Uticaj provodne zemlje se obično u analizi antenskih sistema pojednostavljeno uzima u obzir kroz metodu likova (slika 8). Zračenje struja indukovanih po površini zemlje zamenjuje se zračenjem ekvivalentnih struja koje su pozicionirane kao lik u ogledalu originalnih struja, s tim da komponente struje normalne na provodnu zemlju imaju isti smer kao i originalne struje, dok struje paralelne provodnoj zemlji menjaju smer. Izračena elektromagnetska polja originalne strukture u prisustvu provodne zemlje jednaka su poljima sistema original-lik iznad provodne ravni i identički jednaka nuli ispod ravni.

Proračun antenskih sistema iznad realne zemlje (dakle, bez pretpostavke o savršenoj provodnosti) generalno je težak problem, koji se ponekad rešava na taj način što se modifikuje teorema likova [4].

U slučaju antena na tenku koje rade u opsegu relativno niskih učestanosti, struje indukovane po površi tenka i njihovi likovi su veoma blizu (u po-

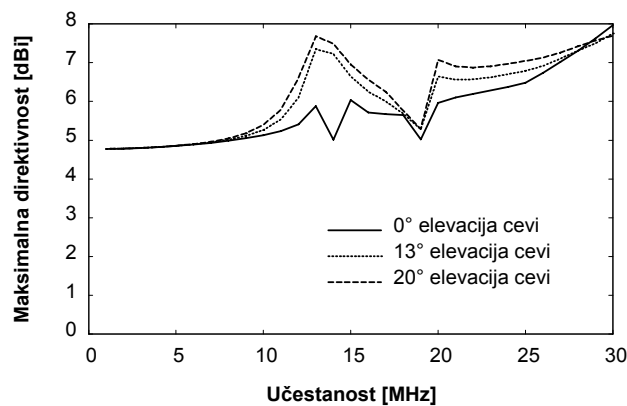
ređenju sa talasnom dužinom), pa se mora uzeti u obzir i njihov međusobni uticaj (ekvivalentne struje lika mogu da dovedu do promene raspodele struja po tenku, a samim tim i do promene u zračenju antenskog sistema).

U rezultatima simulacija predstavljenim u ovoj sekciji, zemlja je aproksimirana pomoću idealno provodne ravni, uticaj likova na originalne struje je preko integralne jednačine uzet u obzir, ali broj nepoznatih koeficijenata nije morao biti povećan zbog toga što likovi imaju amplitude jednake originalnim strujama.



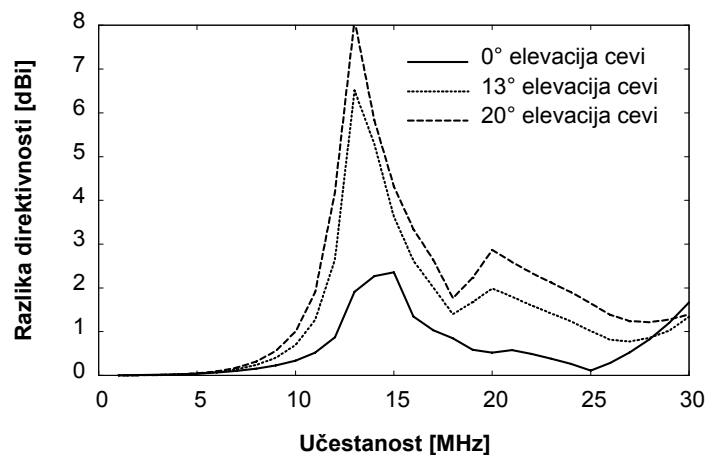
Slika 8 – Metoda likova

Slika 9 prikazuje maksimalnu direktivnost monopol antene na tenku postavljenom iznad provodne ravni. Kao i u slučaju usamljenog tenka, na niskim učestanostima direktivnost je jednaka direktivnosti kratkog vertikalnog dipola iznad provodne ravni (oko 4,76 dBi). Uvećanje od 3 dB u odnosu na usamljeni tenk jeste posledica toga što se ista snaga zrači samo u gornji poluprosor. Na višim učestanostima direktivnost antene relativno glatko raste u slučaju horizontalne cevi topa, dok se za podignutu cev uočava nagli porast direktivnosti na učestanosti od oko 13 MHz.



Slika 9 – Maksimalna direktivnost u horizontalnoj ravni

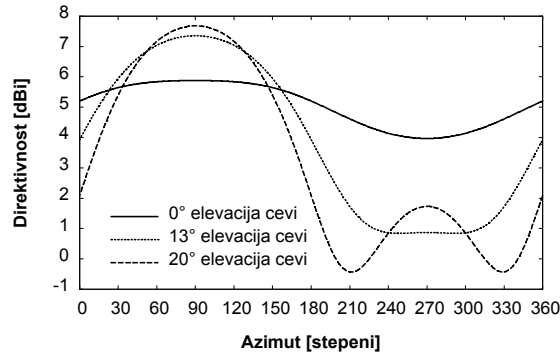
Na učestanostima manjim od 5 MHz (talasna dužina je veća od 60 m, pa se čitav tenk može smatrati električno malim objektom) izračena polja horizontalnih komponenti struja indukovanih po površi tenka i njihovih likova se praktično poništavaju, a vertikalne komponente struja i njihovi likovi zrače sinfazna polja u svim smerovima, tako da je dijagram zračenja gotovo uniforman u horizontalnoj ravni (slika 10). U rezonantnom regionu varijacije u dalekom polju u horizontalnoj ravni postaju izraženije, tako da na 13 MHz razlika između maksimalnog i minimalnog izračenog polja u horizontalnoj ravni iznosi skoro 8 dB.



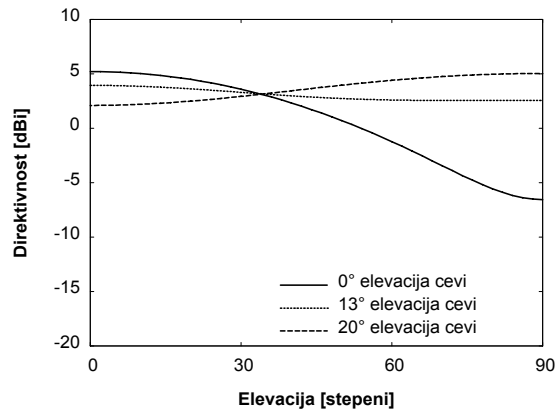
Slika 10 – Varijacija dalekog polja u horizontalnoj ravni

Slika 11 prikazuje dijagram zračenja u horizontalnoj ravni na učestanosti od 13 MHz za tri elevacije topa. Podizanje cevi za 20° poboljšava zračenje u smeru ka zadnjoj strani tenka za oko 1.8 dB u odnosu na horizontalno postavljenu cev, ali istovremeno pogoršava zračenje u azimutalnom smeru od 210° i 330° za oko 5 dB, odnosno skoro prepolovljava domet u tim smerovima.

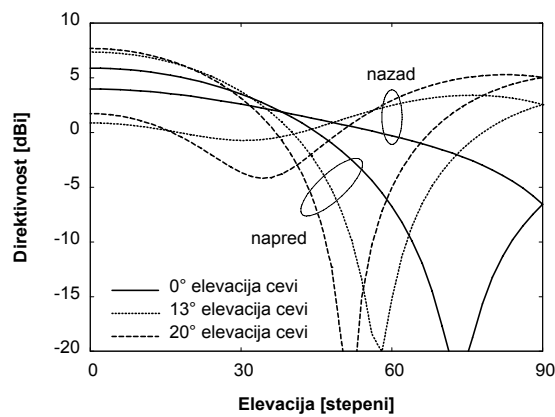
Na slikama 12 i 13 prikazana je zavisnost direktivnosti od elevacije u ravni simetrije tenka i u ravni normalnoj na nju. Maksimalno zračenje je u horizontalnoj ravni, ka prednjem delu tenka. Zanimljivo je primetiti da se, kada je cev topa podignuta, veliki deo energije zrači u pravcu direktno iznad tenka, što sa stanovišta zemaljske komunikacije predstavlja čisto rasipanje predajne snage. Maksimalna direktivnost na učestanosti od 13 MHz povećava se sa povećavanjem elevacije cevi topa, ali je to postignuto uz istovremeno smanjivanje uniformnosti zračenja u horizontalnoj ravni i povećano zračenje u smeru zenita.



Slika 11 – Dijagram zračenja na učestanosti od 13 MHz u horizontalnoj ravni



Slika 12 – Dijagram zračenja na učestanosti od 13 MHz u ravni koja sadrži monopol i normalna je na ravan simetrije tenka



Slika 13 – Dijagram zračenja na učestanosti od 13 MHz u ravni simetrije tenka

Zaključak

U ovom radu predstavljeno je elektromagnetsko modelovanje i analiza monopola antene pozicionirane na kupoli tenka. Model tenka u našoj analizi nije veoma detaljan, jer nisu uzimani u obzir detalji čije su dimenzije mnogostruko manje od talasne dužine na najvišoj analiziranoj učestanosti, za koje se moglo pretpostaviti da neće imati veliki uticaj na zračenje antene. Zračenje antene analizirano je u opsegu od 1 MHz do 30 MHz i ispitivan je uticaj elevacije cevi topa na dijagram zračenja. Utvrđeno je da je uticaj elevacije cevi veoma mali na niskim učestanostima, ali da sa povećanjem učestanosti, u opsegu gde se čitav tenk ponaša kao rezonantna struktura (dimenzije tenka su poredive sa talasnom dužinom), postoji veliki uticaj na dijagram zračenja antene. Degradacija dijagrama zračenja u horizontalnoj ravni, usled povećanog nagiba cevi, izraženija je u slučaju tenka analiziranog u prisustvu provodne ravni. Na učestanosti od 13 MHz domet komunikacije u smeru horizonta za pojedine smerove smanjuje se na skoro polovinu ukoliko se cev topa podigne 20° .

Iz rezultata prezentovanih u radu može se zaključiti da elevacija cevi topa ima veliki uticaj na dijagram zračenja antene na određenim učestanostima, tako da pri projektovanju telekomunikacionih sistema tenka to mora biti (putem rigoroznih merenja na specifičnom tipu tenka) uzeto u obzir.

Literatura

[1] Raduege, H., *Net-centric Warfare Is Changing the Battlefield Environment*, Crosstalk: The Journal of Defense Software Engineering, Jan 2004. Str 7–9, <http://www.stsc.hill.af.mil/crossTalk/2004/01/0401Raduege.pdf> (Avgust 2010).

[2] Harrington, R. F., *Field Computation by Moment Methods*, IEEE PRESS Series on Electromagnetic Waves, Piscataway, 1993.

[3] Djordjević, M. i Notaroš, B. M., *Double higher order method of moments for surface integral equation modeling of metallic and dielectric antennas and scatterers*, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 52, no. 8, 2004, str. 2118–2129.

[4] Lindell, I., Alanen, E., Mannersalo, K., *Exact image method for impedance computation of antennas above the ground*, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 33, no. 9, 1985, str. 937–945.

EFFECT OF THE TANK MAIN GUN ON THE RADIATION PATTERN OF THE MONOPOLE ANTENNA

Summary:

For telecommunication purposes, a monopole antenna is usually positioned on the tank turret. At low frequencies the whole tank has to be treated as a part of the antenna system. In this paper a method for

electromagnetic modeling of metallic structures is presented and applied to the analysis of radiation of a tank monopole antenna. Radiation simulations are performed at the frequency range from 1MHz to 30MHz. A special attention is given to the analysis of the effects of increased elevation of the tank main gun to the radiation pattern of the antenna. The analysis of the radiation of the tank monopole is performed with and without the presence of conducting ground. It is shown that the increase in the main gun elevation at certain frequencies can lead to degradation of uniformity of radiation in the horizontal plane.

Introduction

Informational technologies and reliable and secure communications are an important part of a modern military doctrine. Regarding telecommunications, armored vehicles and tanks in particular present a specific problem. In this paper, a theoretical basis of the electromagnetic analysis of metallic structures and a modeling technique will be presented. The effect of the tank on the radiation pattern will be investigated both for a tank in free space and above the conducting ground.

Method of moments

The method of moments (MoM) is a method for an approximate solution of integral equations. This section presents the fundamentals of the MoM and the higher-order quadrilaterals as the basic elements used for geometry modeling. The currents in our method are approximated using high-order two-dimensional polynomials.

Modeling of the tank geometry

The tank is modeled using only 28 elements, out of which 10 bilinear quadrilaterals and 18 second-order surfaces. The monopole antenna is modeled using one straight wire segment.

Results

The use of the polynomial current approximation yields a reduction in the number of unknowns required for the analysis, compared to classical methods that use linear current distribution defined on small triangles. The analysis of the tank from 1MHz to 30MHz, with a 1MHz step, requires from 130 to 337 unknowns and about one minute of the CPU time on a Dell Vostro 1015 laptop computer.

Tank in free space

At low frequencies, the monopole-tank system acts as a dipole antenna and the computed directivity is 1.76dBi, almost equal to that of a short dipole. The elevation of the tank main gun does not influence the radiation pattern much at low frequencies. In the resonant range, the effect of the main gun elevation is much more pronounced. At 17MHz, the difference between the minimum and the maximum of radiation in the horizontal plane is 1.22dB, 1.90dB, and 2.33dB for the main gun elevation of 0°, 13°, and 20°, respectively.

The effect of conducting ground

The effect of the conducting ground (in this paper we assume the ground is perfectly conducting) is taken into account using the image theory. Since the original currents and their images are electrically close at low frequencies (their distance is small compared to the wavelength), their mutual coupling cannot be neglected. Once again, at low frequencies the whole structure acts as a short dipole antenna and the computed directivity is 4.76dBi; at the same time, the radiation pattern in the horizontal plane is almost uniform. At the frequency of 13MHz, however, the difference between the minimum and the maximum of the radiation in the horizontal plane is almost 8dB for the main gun elevation of 20°.

Conclusion

This paper presented an electromagnetic modeling and an analysis of the monopole antenna positioned on the tank turret. The antenna was analyzed at frequencies from 1MHz to 30MHz, and the effect of the main gun elevation on the antenna radiation pattern was studied. It was determined that at low frequencies the elevation of the gun does not influence the radiation pattern much, but at higher frequencies, where the tank can be considered as a resonant structure, the detrimental effect on the radiation pattern can be quite substantial. At the frequency of 13MHz, the range of communication in the horizontal plane can be almost cut in half for certain directions if the elevation of the main gun is 20°.

Key words: electromagnetic analysis, method of moments, monopole antenna, tank, telecommunications.

Datum prijema članka: 28. 09. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 30. 09. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 30. 09. 2010.