

■ TEKST: Mladen Petrović, 9A4ZZ

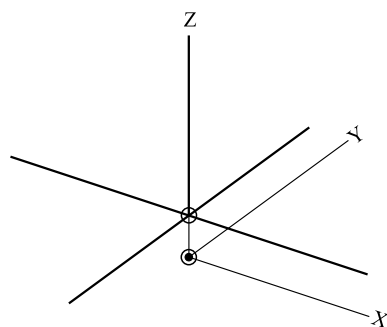
Radijali za vertikalne antene – 1. dio

UVOD

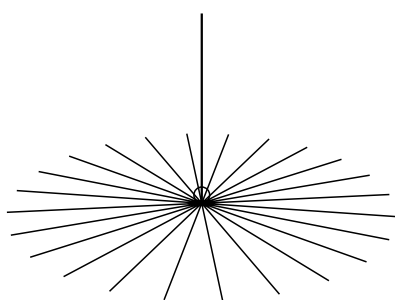
Prilikom izrade vertikalne antene za opsege 40 m, 80 m i 160 m najčešća dilema je kakav antenski protuteg, odnosno sustav radijala postaviti ispod antene.

Da li sistem radijala ukopati u zemlju i na koju dubinu, koliki broj? Ili radijale podignuti iznad zemlje, ali na koju visinu i u kojem broju?

Analizu vertikalne antene sa sustavom podignutih (elevated) radijala i ukopanih radijala, napravio je Al Christman, K3LC. Koristio je program za modeliranje antena EZNEC Pro version 4.0.



Slika 1a. Vertikalna antena s radijalima podignutim od tla



Slika 1b. Vertikalna antena s radijalima ukopanim u tlo

Analizirana je antena visine $\lambda/4$ s radijalima jednake dužine $\lambda/4$, simetrično raspoređenih oko antene, jednom podignutih, a u drugom slučaju ukopanih.

Ulazna impedancija ovakve antene je reda 30 Ω do 40 Ω i pri tome se nije išlo na mijenjanje dužine i položaja elemenata da bi se postigla rezonancija i ulazna impedancija 50 Ω , nego je izvršen

Tablica 1. - frekvencija: 7,15 MHz, antena visoka $\lambda/4$ (10,5 m), radijali dužine 10,5 m, - vrlo loše tlo: vodljivost = 0,001 S/m, dielektrična konstanta 5.

Broj radijala	Visina radijala/m	Dobitak/dBi	Take off kut/stupanj	Dijagram non-circ/dB
3	1,53	-0,98	27	0,37
3	2,29	-0,80	26	0,38
3	3,05	-0,64	25,2	0,37
3	3,81	-0,48	24,2	0,37
3	4,58	-0,34	23,2	0,38
4	1,53	-0,90	26,8	0,01
4	2,29	-0,74	25,8	0
4	3,05	-0,58	25	0,01
4	3,81	-0,44	24	0,01
4	4,58	-0,31	23,2	0,02
5	1,53	-0,88	27	0,01
5	2,29	-0,72	26	0
5	3,05	-0,58	25,2	0,01
5	3,81	-0,44	24,2	0,01
5	4,58	-0,30	23,2	0,01
6	1,53	-0,87	26,5	0
6	2,29	-0,71	26	0
6	3,05	-0,56	25	0
6	3,81	-0,42	24	0
6	4,58	-0,29	23,5	0

Tablica 2. - frekvencija: 7,15 MHz, antena visoka $\lambda/4$ (10,5 m), radijali dužine 10,5 m, - prosječno tlo: vodljivost = 0,005 S/m, dielektrična konstanta 13.

Broj radijala	Visina radijala/m	Dobitak/dBi	Take off kut/stupanj	Dijagram non-circ/dB
3	1,53	-0,08	24	0,23
3	2,29	0,02	22,5	0,24
3	3,05	0,10	21,5	0,25
3	3,81	0,15	20,5	0,26
3	4,60	0,20	19,8	0,27
4	1,53	0,01	24	0,01
4	2,29	0,08	22,8	0,02
4	3,05	0,14	21,5	0,01
4	3,81	0,18	20,8	0,01
4	4,58	0,22	20	0,01
5	1,53	0,03	23,8	0
5	2,29	0,10	22,8	0
5	3,05	0,15	21,8	0
5	3,81	0,20	20,8	0,01
5	4,58	0,24	20	0,01
6	1,53	0,04	23,5	0
6	2,29	0,11	23	0
6	3,05	0,16	22	0
6	3,81	0,20	20,5	0
6	4,58	0,24	20	0

Tablica 3. - frekvencija: 7,15 MHz, antena visoka $\lambda/4$ (10,5 m), radijali dužine 10,5 m, - vrlo dobro tlo: vodljivost=0,0303 S/m, dielektrična konstanta 20.

Broj radijala	Visina radijala/m	Dobitak/dBi	Take off kut/stupanj	Dijagram non-circ/dB
3	1,53	1,72	19,5	0,09
3	2,29	1,81	18,5	0,10
3	3,05	1,89	18	0,10
3	3,81	1,95	17	0,10
3	4,60	2	16,2	0,11
4	1,53	1,77	19,5	0,02
4	2,29	1,85	18,5	0,02
4	3,05	1,91	17,5	0,02
4	3,81	1,97	17	0,02
4	4,58	2,02	16,2	0,01
5	1,53	1,79	19,5	0
5	2,29	1,86	18,5	0
5	3,05	1,92	17,5	0
5	3,81	1,98	17	0
5	4,58	2,02	16,2	0
6	1,53	1,80	19,5	0
6	2,29	1,87	18,5	0
6	3,05	1,93	17,5	0
6	3,81	1,98	17	0
6	4,58	2,03	16,0	0

Tablica 4. - frekvencija: 3,75 MHz, visina antene $\lambda/4$ (20 m), radijali dužine 20 m, - vrlo loše tlo: vodljivost=0,001 S/m, dielektrična konstanta 5.

Broj radijala	Visina radijala/m	Dobitak/dBi	Take off kut/stupanj	Dijagram non-circ/dB
3	1,53	-1,62	27,5	0,36
3	3,05	-1,38	26,5	0,37
3	4,58	-1,22	25,2	0,38
3	6,86	-1,03	23,8	0,40
3	9,15	-0,86	22,2	0,41
4	1,53	-1,47	27,5	0
4	3,05	-1,29	26,5	0
4	4,58	-1,16	25,5	0
4	6,86	-0,99	23,5	0
4	9,15	-0,83	22,2	0
5	1,53	-1,42	27,5	0,01
5	3,05	-1,26	26,5	0
5	4,58	-1,14	25	0,01
5	6,86	-0,98	23,5	0,01
5	9,15	-0,82	22,5	0
6	1,53	-1,39	27,5	0
6	3,05	-1,24	26	0
6	4,58	-1,13	25,5	0
6	6,86	-0,97	23,5	0
6	9,15	-0,81	22	0

Tablica 5. - frekvencija: 3,75 MHz, visina antene $\lambda/4$ (20 m), radijali dužine 20 m, - prosječno tlo: vodljivost=0,005 S/m, dielektrična konstanta 13.

Broj radijala	Visina radijala/m	Dobitak/dBi	Take off kut/stupanj	Dijagram non-circ/dB
3	1,53	0,08	23,8	0,17
3	3,05	0,23	22,5	0,18
3	4,58	0,31	21,5	0,20
3	6,86	0,38	20	0,21
3	9,15	0,40	18,8	0,23
4	1,53	0,20	23,5	0,01
4	3,05	0,30	22,5	0,01
4	4,58	0,36	21,5	0,02
4	6,86	0,40	19,5	0,02
4	9,15	0,42	18,5	0,02
5	1,53	0,26	23,5	0
5	3,05	0,33	22,5	0
5	4,58	0,38	21,5	0,01
5	6,86	0,41	19,8	0,01
5	9,15	0,42	18,5	0,01
6	1,53	0,28	23,5	0
6	3,05	0,34	22,5	0
6	4,58	0,38	21,5	0
6	6,86	0,42	20	0
6	9,15	0,43	18,5	0

Tablica 6. - frekvencija: 3,75 MHz, visina antene $\lambda/4$ (20 m), radijali dužine 20 m, - vrlo dobro tlo: vodljivost=0,0303 S/m, dielektrična konstanta 20.

Broj radijala	Visina radijala/m	Dobitak/dBi	Take off kut/stupanj	Dijagram non-circ/dB
3	1,53	2,23	18,5	0,06
3	3,05	2,42	17,5	0,06
3	4,58	2,54	16,5	0,07
3	6,86	2,68	15,5	0,07
3	9,15	2,80	14,5	0,07
4	1,53	2,32	18,2	0,01
4	3,05	2,46	17,5	0,01
4	4,58	2,56	16,5	0,01
4	6,86	2,70	15,5	0,01
4	9,15	2,82	14,8	0,01
5	1,53	2,36	18,5	0
5	3,05	2,48	17,5	0
5	4,58	2,58	17	0
5	6,86	2,70	15,8	0,01
5	9,15	2,82	14,5	0
6	1,53	2,39	18	0
6	3,05	2,49	17,5	0
6	4,58	2,58	16,5	0
6	6,86	2,71	15,5	0
6	9,15	2,83	14,5	0

izračun samo zbog usporedbe ova dva sustava radijala.

Kod analize vertikalne antene s ukopanim radijalima mijenja se broj radijala i vrsta tla. Kod analize s podignutim (*elevated*) radijalima mijenja se broj i visina radijala od tla i vrsta tla.

Rezultati koji se razmatraju su uzlazni (*take off*) kut i dobitak antene i (*non circularity*) deformiranost kružnog dijagrama. Ovdje ćemo analizirati opsege 40 m i 80 m koji se najčešće koriste, odnosno za koje se prave vertikalne antene.

KARAKTERISTIKE TLA

Visina antene i sistem radijala utječu na parametre antene: ulaznu impedanciju, dijagram zračenja i efikasnost. S obzirom na to da i tlo utječe na rad vertikalne antene donosimo i električne karakteristike tla – vodljivost tla i dielektrična konstanta.

Raspored struje na anteni visine $\lambda/4$, kakvu najčešće možemo postaviti za niže opsege je takav da je maksimum struje u točki napajanja blizu tla, a time je i utjecaj tla na parametre antene jako velik. Isto tako, gubici u tlu su veći ako je ovakva antena postavljena blizu tla i ako nema adekvatno riješen protuteg.

Da bismo ispravno odredili broj, dužinu i poziciju sistema radijala koji su dio antene, moramo razmotriti utjecaj tla na vertikalnu antenu ovisno o električnim karakteristikama tla.

Prva karakteristika tla je vodljivost tla (daje u Siemensima po metru – S/m), a druga je dielektrična konstanta tla koja je vezana s kapacitivnim učinkom tla.

Donosimo podatke za tri tipa tla za koja je izvršen proračun.

- **vrlo loše tlo:** vodljivost: 0,001 S/m, dielektrična konstanta 5, veliki gradovi, industrijske zone, kameno tlo;
- **prosječno tlo:** vodljivost: 0,005 S/m, dielektrična konstanta 13, brda, šume;
- **vrlo dobro tlo:** vodljivost: 0,0303 S/m, dielektrična konstanta 20, plodna tla, ravnice.

REZULTATI ANALIZE VERTIKALNE ANTENE S PODIGNUTIM (*ELEVATED*) RADIJALIMA

Kako se radi o antenskoj simulaciji kojoj je cilj usporedba efikasnosti sistema radijala, za antenski vodič i radijale je izabrana bakrena žica promjera 2 mm. Dužina vertikalnog elementa je 10,5 m, $\lambda/4$, na 7,15 MHz, toliko su dugački i radijali, a to je 10,5 m. Broj radijala varira od 3 do 6,

a visine radijala su: 1,53 m, 2,29 m, 3,05 m, 3,81 m, 4,60 m (do ovakvih vrijednosti došlo je zbog preračunavanja stopa u metre). Rezultati su dani u tablicama 1, 2. i 3. za različite vrste tla.

Vidimo da se s fiksnim brojem radijala i povećanjem visine od tla, povećava dobit antene i niži je uzlazni (*take off*) kut.

Na 3,75 MHz dužina vertikalnog dijela $\lambda/4$ je 20 m (kao i dužina radijala). Broj radijala varira od 3 do 6, a visine su 1,53 m, 3,05 m, 4,58 m, 6,86 m, 9,15 m. Donosimo rezultate u tablicama 4, 5. i 6. za različite vrste tla.

Iz rezultata analize vidi se da kod vertikalne antene sa samo nekoliko podignutih radijala, dobitak i uzlazni (*take off*) kut ovise od vrsti tla ispod antene, broju radijala i njihovoj visine od tla. 📶

U idućem broju

- Rezultati analize vertikalne antene s ukopanim radijalima.
- Usporedna analiza vertikalne antene s radijalima ukopanim u tlo i podignutim od tla.

Literatura

- Al Christman, K3LCA, Study of Elevated – Radial Ground Systems for Vertical Antennas, National Contest Journal, May/June 2005, ARRL