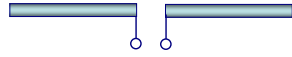
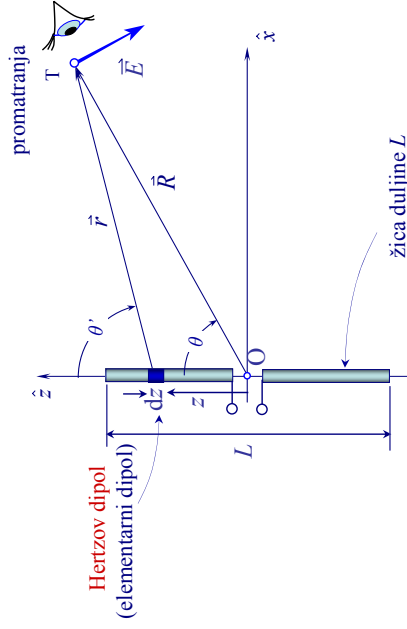


Žičane antene



Žičane antene (2)



- Polja
- Dijagram zračenja
- Polarizacija
- Zračena snaga
- Impedancija
- Usmjerenost
- Efektivna površina (duljina i visina)

Žičane antene (1)

Geneza žičane antene iz dvožične prijenosne linije

razdioba struje (stojni val)

razdioba struje slična onoj za stojni val

razdioba struje slična onoj za stojni val

generator

generator

prelomljena žica

dvožična prijenosna linija (otvorena na desnom kraju)

djelomično razmaknuti krakovi na kraju otvorene prijenosne linije

Razmak među žicama mnogo manji od valne duljine ($s \ll \lambda$) jamči poništavanje zračenja dviju protusmjernih struja

maksimalno razmaknuti krakovi na kraju otvorene prijenosne linije

Maksimalni razmak među krakovima jamči maksimalnu učinkovitost zračenja



Žičane antene (3)

Razdioba struje na žici

Hertzov dipol (elementarni dipol)

vektorski prikaz struje

Razdioba struje na poluvlaknom dipolu

$$I(z) = I_m \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - |z| \right) \right]$$

$$I(z) = I_m \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - z \right) \right]$$

$$I(z) = I_m \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} + z \right) \right]$$

$I(0) = I_0$

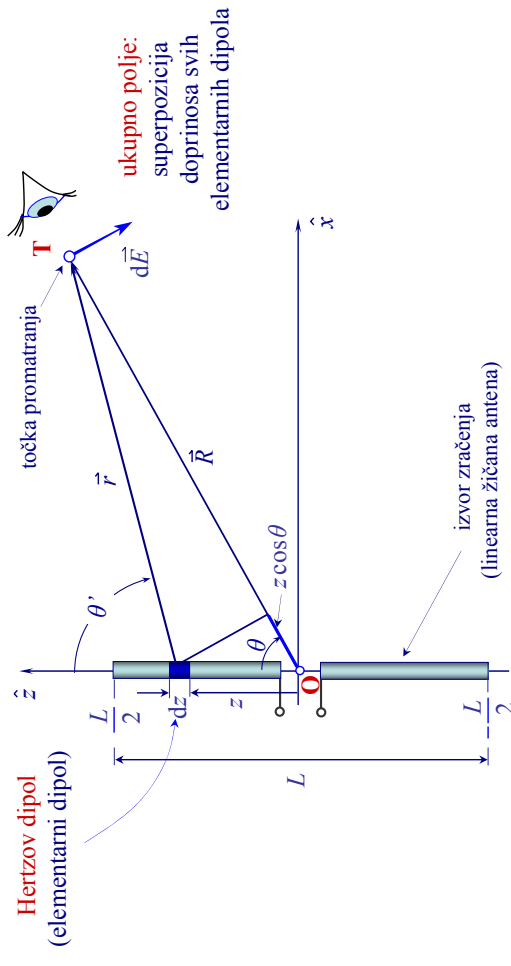


Ideja superpozicije

- Temeljna ideja u teoriji antena jest superpozicija.
- Polje koje proizvodi skup izvora jednako je zbroju polja pojedinačnih izvora.

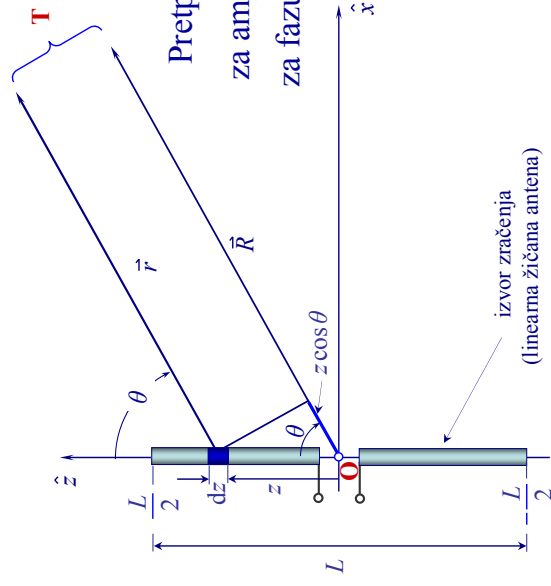
Linearna antena (1)

Geometrija problema



Linearna antena (2)

Točka **T** u dalekoj zoni, $r \gg \lambda / (2\pi)$ (ili $\beta r \gg 1$)



Pretpostavke za analizu žičane antene

- Žica (antena) duljine L leži na z -osi pravokutnog koordinatnog sustava, odnosno na polarnoj osi kuglastog koordinatnog sustava.
- Antena se sastoji od bezbroj infinitesimalnih (elementarnih) dipola (ili Hertzovih dipola) duljine dz .
- Fazno središte antene ujedno je i fizičko središte (mjesto pobude), i nalazi se u ishodištu **O** koordinatnog sustava.
- Elementarni dipol smješten je na proizvoljnoj koordinati z .
- R = udaljenost točke promatranja **T** od faznog središta **O**.
- r = udaljenost od elementarnog dipola do točke promatranja **T** i funkcija je koordinate z .
- Polja računamo u dalekoj zoni ($r \gg \lambda$, $r \gg L$).
- Za računanje amplitude vrijedi pretpostavka: $r \approx R$.
- Za računanje faznog kašnjenja vrijedi pretpostavka: $r \approx R - z \cos \theta$.

Električno polje u dalekoj zoni pomaknutog Hertzova dipola (1)

Prijetimo se, u dalekoj zoni, $r \gg \lambda / (2\pi)$ (ili $\beta r \gg 1$), elementarni dipol (Hertzov dipol) stvara infinitesimalno električno polje jakosti:

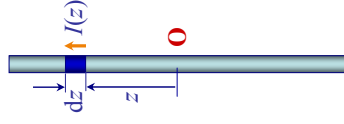
$$dE_\theta = j \frac{\eta \beta I dz}{4\pi r} e^{-j\beta r} \sin\theta$$

dijagram zračenja ← Hertzov dipol

Smješten na polarnu os na koordinati z , elementarni dipol u dalekoj zoni stvara infinitesimalno električno polje jakosti:

$$dE_\theta = j \frac{60\pi}{r\lambda} \sin\theta I(z) e^{-j\beta r} dz \leftarrow \text{pomaknuti Hertzov dipol}$$

Obratiti pozornost, struja I i polumjer r funkcije su koordinate z !



Električno polje u dalekoj zoni pomaknutog Hertzova dipola (2)

Uvrštenje izraza $r \approx R - z \cos\theta$ u argument eksponencijalne funkcije faznog člana i $r \approx R$ u nazivniku amplitudnog člana daje:

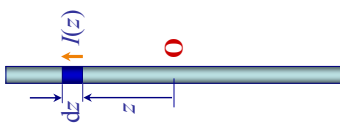
$$dE_\theta = j \frac{60\pi}{R\lambda} \sin\theta I(z) e^{-j\beta R} e^{j\beta z \cos\theta} dz$$

Uvrštenje izraza za razdiobu struje :

$$I(z) = I_m \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - |z| \right) \right]$$

konačno daje:

$$dE_\theta = j \frac{60\pi I_m \sin\theta}{R\lambda} e^{-j\beta R} \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - |z| \right) \right] e^{j\beta z \cos\theta} dz$$



Električno polje u dalekoj zoni linearne žičane antene

Superponiranjem svih doprinosa dobiva se ukupno polje u dalekoj zoni izlazi:

$$E_\theta = j \frac{60\pi I_m \sin\theta}{R\lambda} e^{-j\beta R} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - |z| \right) \right] e^{j\beta z \cos\theta} dz$$

$$E_\theta = j \frac{60\pi I_m \sin\theta}{R\lambda} e^{-j\beta R} \left\{ \int_{-\frac{L}{2}}^0 \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} + z \right) \right] e^{j\beta z \cos\theta} dz + \int_0^{\frac{L}{2}} \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - z \right) \right] e^{j\beta z \cos\theta} dz \right\}$$

Rješavanjem integrala dobiva se:

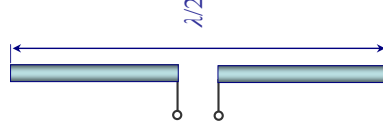
$$\beta = 2\pi / \lambda$$

$$E_\theta = \frac{60 I_m}{R} \frac{\cos \left(\frac{L}{\lambda} \cos\theta \right) - \cos \left(\frac{L}{\lambda} \right)}{\sin\theta}$$

To je posve općenito rješenje za beskonačno tanku linearnu žičanu antenu proizvoljne duljine i za sinusnu razdiobu struje na žici.

Električno polje poluvalnog dipola

$$L = \lambda / 2$$



$$E_\theta = \frac{60 I_m}{R} \frac{\cos \left(\frac{\pi}{2} \cos\theta \right) - \cancel{\cos \left(\frac{\pi}{2} \right)}}{\sin\theta}$$

$$E_\theta = \frac{60 I_m}{R} \frac{\cos \left(\frac{\pi}{2} \cos\theta \right)}{\sin\theta}$$

$$F(\theta)$$

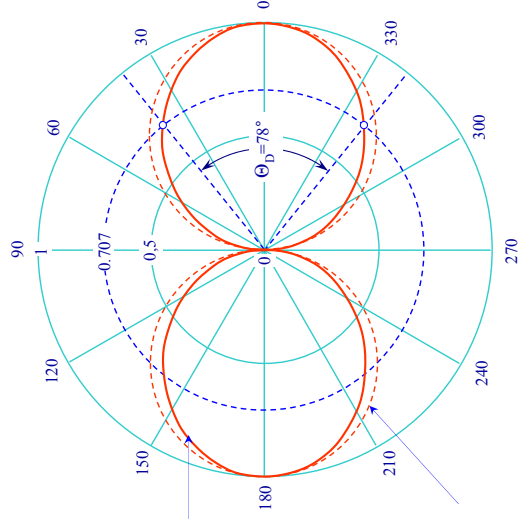
dijagram zračenja

Dijagram zračenja poluvalnog dipola

$$L = \lambda/2$$

Dijagram zračenja u E -ravnini:

$$F(\theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta}$$

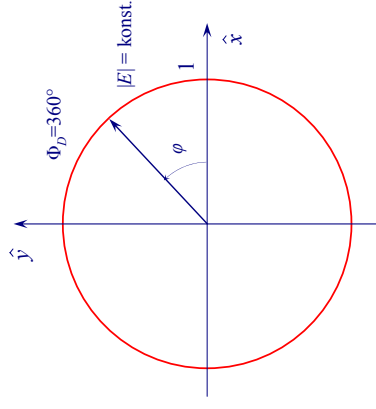


Hertzov dipol:
 $F(\theta) = \sin\theta$

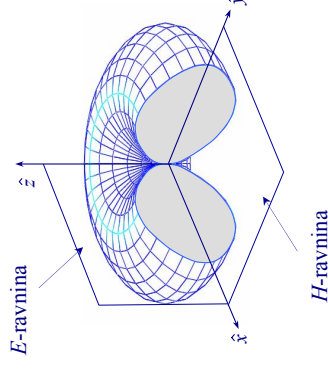
Dijagram zračenja poluvalnog dipola (2)

$$L = \lambda/2$$

H -ravnina



Prostorni dijagram zračenja:



Zračena snaga poluvalnog dipola

$$L = \lambda/2$$

Ukupna zračena snaga P_z poluvalnog dipola može se lako izračunati integriranjem srednje vrijednosti Poyntingova vektora po oplošju zamišljene kugle koja obuhvaća dipol:

$$\begin{aligned} W_z &= \oint_S \langle \vec{P} \rangle \cdot \hat{n} dS = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{|\vec{E}|^2}{2\eta} r^2 \sin(\theta) d\varphi d\theta = \\ &= 73,13 \frac{I_m^2}{2} \end{aligned}$$

otpor zračenja

(iz izraza za snagu $W = 1/2 |I|^2 R$)

Otpor zračenja poluvalnog dipola

$$L = \lambda/2$$

Pomna analiza pokazuje da uz otpor zračenja, beskonačno tanak poluvalni dipol pokazuje induktivnu reaktanciju $42,5 \Omega$. Ta ja reaktancija posljedica pohranjene energije u poljima u prostoru oko dipola.

Otuda je vlastita impedancija poluvalnog dipola:

$$\mathbf{Z}_A = 73,13 + j 42,5 \Omega$$

otpor zračenja

reaktancija dipola

← Važan izraz !

pozitivna vrijednost reaktancije upućuje na činjenicu da na “rezonantnoj frekvenciji” prevladava energija pohranjena u magnetskom polju.

Efektivna duljina poluvalnog dipola

$$L = \lambda/2$$

Primjenom definicije efektivne duljine odašiljačke antene:

$$I_{\text{ef}} = \frac{1}{I(0)} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} I(z) dz$$

gdje $I(0) = I_m$ dobiva se:

$$I_{\text{ef}} = \frac{1}{I(0)} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} I_m \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - |z| \right) \right] dz = 2 \int_0^{\frac{\lambda}{4}} \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{\lambda}{4} - z \right) \right] dz$$

$$I_{\text{ef}} = 2 \int_0^{\lambda/4} \sin \left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{\lambda} z \right) dz = 2 \int_0^{\lambda/4} \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} z \right) dz = \frac{2}{2\pi/\lambda} \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} z \right) \Big|_0^{\lambda/4} = \frac{\lambda}{\pi}$$

$$I_{\text{ef}} = \frac{\lambda}{\pi} \approx \frac{\lambda}{3}$$

Efektivna površina poluvalnog dipola

$$L = \lambda/2$$

Primjenom veze između efektivne površine i duljine antene:

$$A_{\text{ef}} = \eta \frac{I_{\text{ef}}^2}{4R_z}$$

dobiva se:

$$A_{\text{ef}} = 376,7 \frac{\lambda^2}{4\pi^2 \times 73,13} \approx 0,13\lambda^2$$

Usmjerenost poluvalnog dipola

$$L = \lambda/2$$

Primjenom veze između usmjerenosti i efektivne površine:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{ef}}$$

za **usmjerenost poluvalnog dipola** izravno se dobiva:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{ef}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} 0,13\lambda^2 \approx 1,64$$

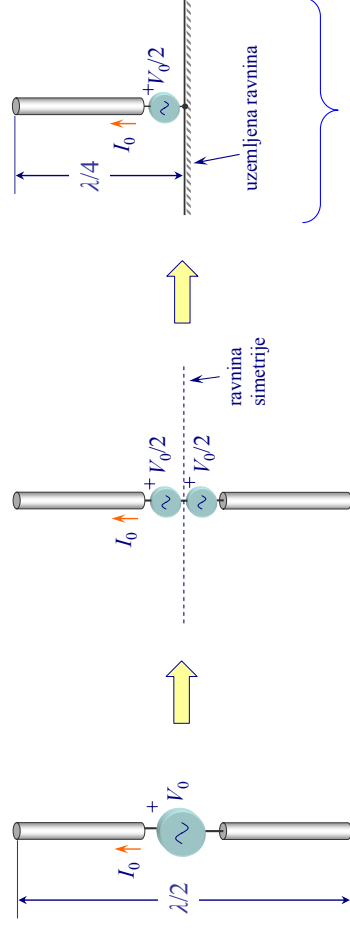
U decibelima, usmjerenost poluvalnog dipola iznosi:

$$10 \log D \approx 2,15 \text{ dB}$$

← Važan izraz !

Četvrtalni unipol (1)

Umjesto poluvalnog dipola može se upotrijebiti četvrtalni unipol iznad uzemljene savršeno vodljive ravnine. Odslikavanjem dobiva se poluvalni dipol pa je većina obilježja zračenja unipola jednaka obilježjima zračenja dipola.



unipol iznad
uzemljene ravnine

Otuda je **otpor zračenja**

$$Z_{\text{unipol}} = \frac{Z_{\text{dipol}}}{2} = \frac{73 \Omega}{2} = 36,5 \Omega$$

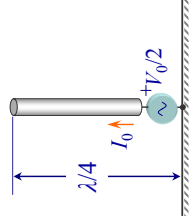
Četrtvalni unipol (2)

Budući da je zračena snaga unipola uz istu struju jednaka polovini zračene snage dipola, **usmjerenost unipola** dvostruko je veća od usmjerenosti dipola, tj.

$$D = 3,28$$

što u decibelima iznosi:

$$10 \log D \approx 5,15 \text{ dB}$$

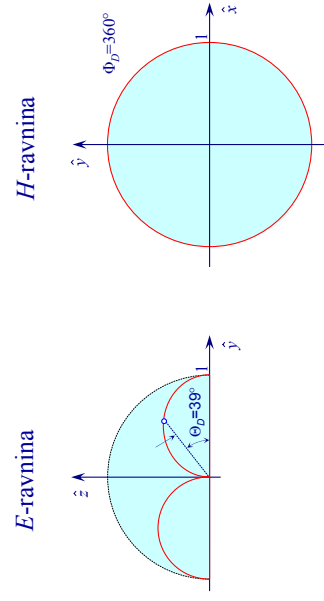


Iz definicije efektivne duljine za **efektivnu visinu** četrtvalnog unipola izlazi:

$$h_{\text{ef}} = \frac{\lambda}{2\pi} \approx \frac{\lambda}{6}$$

Četrtvalni unipol (4)

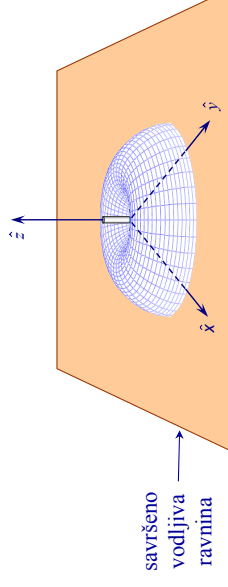
2D dijagram zračenja



Dijagram zračenja unipola u *E*-ravnini odgovara polovici dijagrama zračenja poluvalnog dipola pa mu je usmjerenost dvostruko veća.

Četrtvalni unipol (3)

3D dijagram zračenja



Unipol zrači samo u gornji poluprostor !!

Žičane antene dulje od valne duljine

Za žice dulje od valne duljine, u dijagramu zračenja javljaju se sekundarne laticice i/ili višestruke glavne laticice. Radi usporedbe, na slici su prikazani prostorni dijagrami zračenja poluvalnoga dipola, te dipola duljine $1,5\lambda$; 2λ i 5λ .

