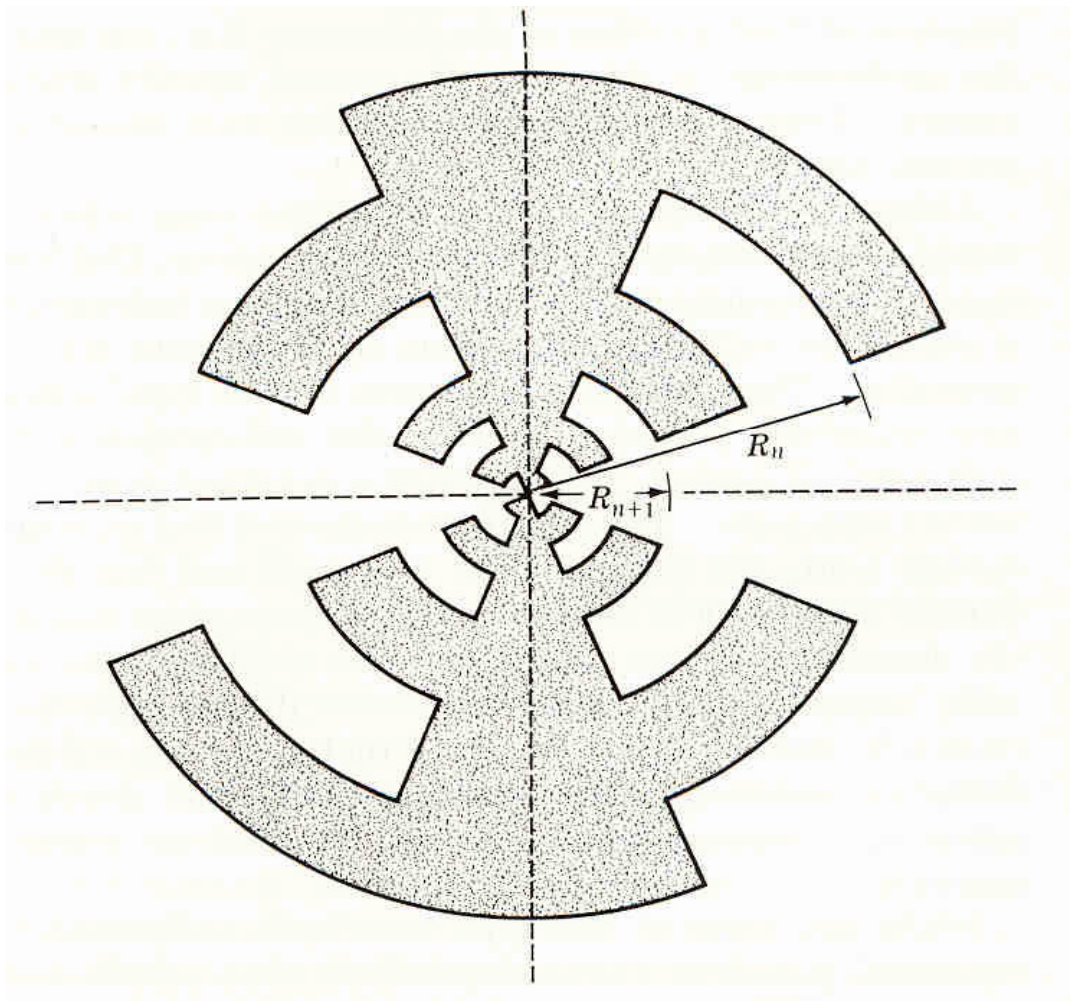


Frekvenčno neodvisne in logaritmično-periodične antene



Mobitel d.d.,
izobraževanje

19. 6. 2009,
predavanje 18

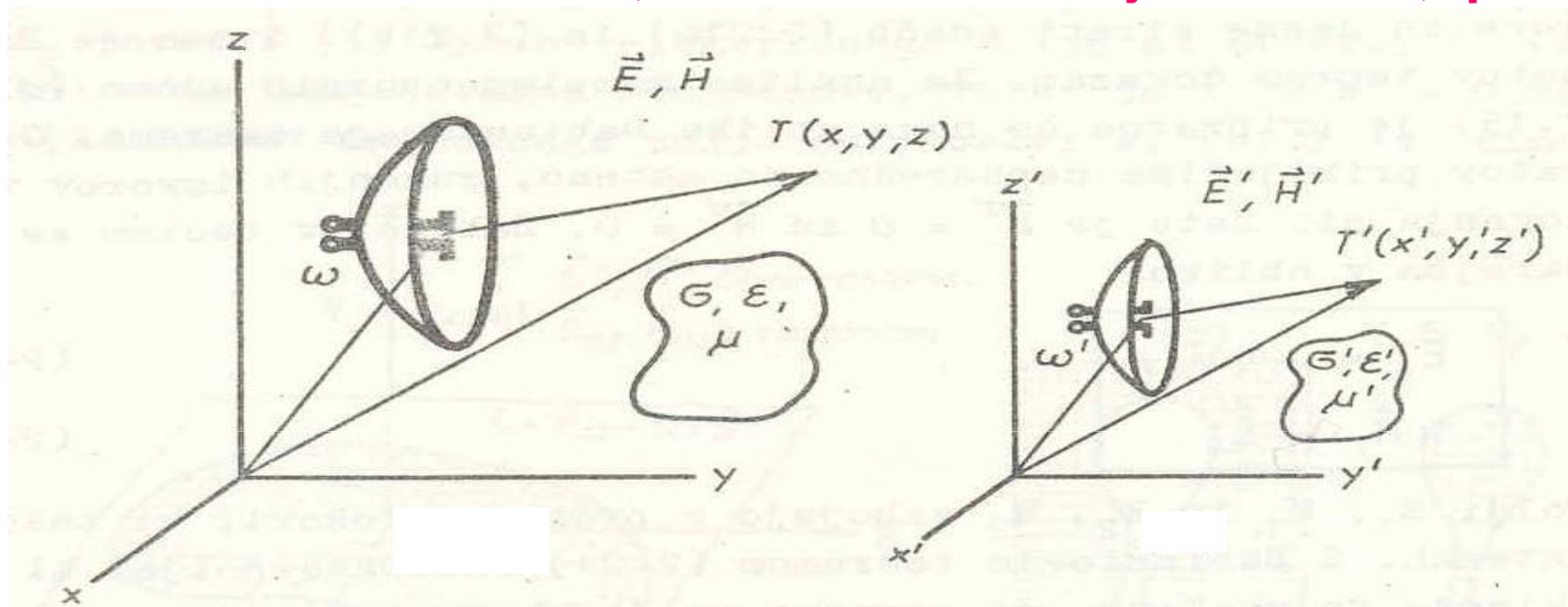
Prof. dr. Jožko
Budin

Vsebina

- Opredelitev frekvenčno neodvisnih anten
- Načelo elmg. podobnosti
- Pomen lastne komplementarnosti
- Logaritmična in aritmetična spirala
- Konična dvovejna in večvejna spirala
- Primeri smernih diagramov
- Logaritmično periodična antena
- Vrste logaritmično periodičnih anten
- Logaritmično periodične dipolske antene (LPDA)
- Karakteristike LPDA
- Izračun LPDA
- Področja uporabe

Načelo elektromagnetne podobnosti

Prvotna antena, izvirnik **Pomanjšan model, p krat**



Model antene s p -krat pomanjšanimi dimenzijami in p -krat povečano prevodnostjo snovi ($\sigma' = p\sigma$) seva na p -krat povišani frekvenci elektromagnetno polje, ki se do konstante natančno ujema s poljem prvotne antene. Pri tem ostanejo dielektričnost ϵ , permeabilnost μ ter impedanca antene Z nespremenjeni ($\epsilon = \epsilon'$, $\mu = \mu'$). (Obstaja tudi različica, kjer se ϵ in μ lahko spremenita.)

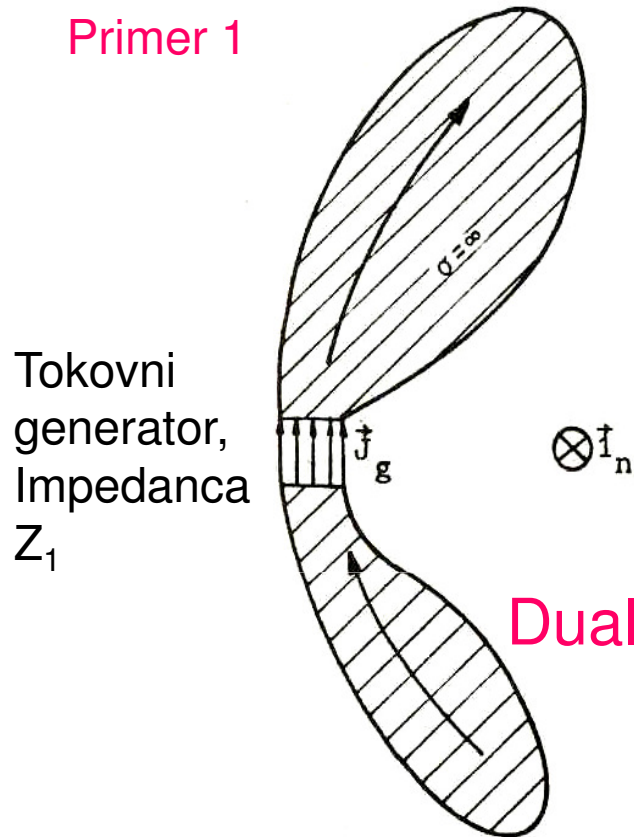
Princip elektromagnetne podobnosti določa pravilo za meritve anten na pomanjšanih modelih.

Pravila modeliranja

Veličina	Antena	Model
Dolžina	l	$l' = l/p$
Čas	t	$t' = t/p$
Prevodnost	σ	$\sigma' = p\sigma$
Dielektričnost	ϵ	$\epsilon' = \epsilon$
Permeabilnost	μ	$\mu' = \mu$
Frekvenca	f	$f' = pf$
Valovna dolžina	λ	$\lambda' = \lambda/p$
Hitrost razširjanja	v	$v' = v$
Upornost	R	$R' = R$
Reaktanca	X	$X' = X$
Impedanca	Z	$Z' = Z$
Kapacitivnost	C	$C' = C/p$
Induktivnost	L	$L' = L/p$
Efektivna površina	A	$A' = A/p^2$
Ojačenje Dobitek	G	$G' = G$

Princip komplementarnosti

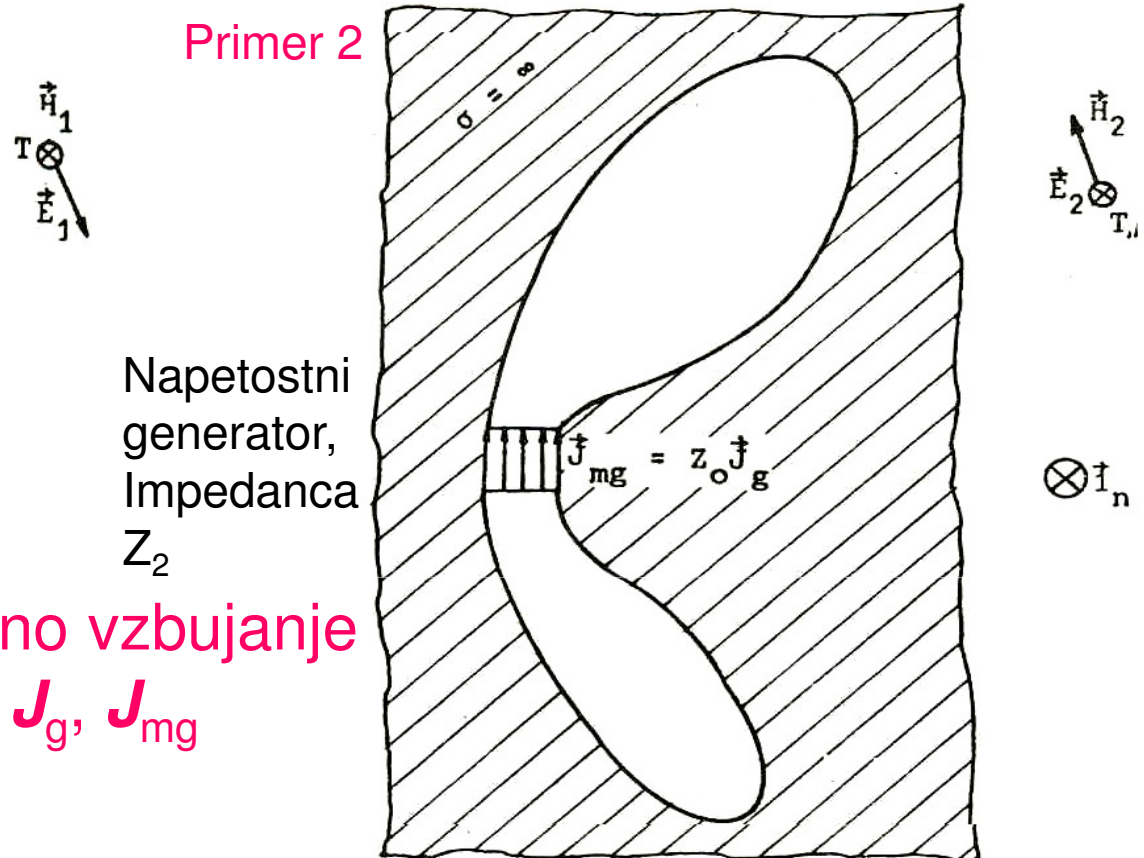
Primer 1



Tokovni generator, Impedanca Z_1

Tokovni generator \vec{J}_g ;

Primer 2



Napetostni generator, Impedanca Z_2

napetostni generator $\vec{J}_{mg} = Z_0 \vec{J}_g$

Dualno vzbujanje

\vec{J}_g, \vec{J}_{mg}

Dualni polji:

$$\vec{E}_1 = -Z_0 \vec{H}_2, \quad \vec{E}_2 = Z_0 \vec{H}_1, \quad Z_0 = 120\pi.$$

Dualna impedanca:

$$Z_1 Z_2 = Z_0^2/4 = (60 \pi)^2.$$

Princip lastne komplementarnosti

Trije primeri lastne komplementarnosti:



Kovinski del planarne strukture je geometrijsko skladen s preostalim delom (režo). Z zavrtitvijo strukture preide kovinski del v nekovinskega in obratno.

Lastna komplementarnost:

$(Z_1 = Z_2 = Z): \quad Z = 60\pi = 188 \text{ ohmov}$

(Frekvenčno neodvisne antene !!!)

Frekvenčno neodvisne in širokopasovne antene

1. Izvedba in značilnosti **frekvenčno neodvisnih spiralnih anten:**
 - Geometrija antene je določena s kotom in ne z dolžinami.
 - Dvovejna in večvejna logaritmična spiralna antena
 - Ravninska in konična logaritmična spiralna antena
 - Širok frekvenčni pas do 1:20 in več; zmeren dobitek in širok glavni snop krožne polarizacije; absorpcijska votlina za sevanje v eno smer.
2. Izvedba in značilnosti **širokopasovnih spiralnih anten:**
 - Aritmetična (Arhimedova) planarna spiralna antena.
3. Izvedba in značilnosti **širokopasovnih logaritmično-periodičnih anten:**
 - Log-periodična planarna in konična antena
 - Log-periodična dipolska antena (LPDA)
 - Izračun LPDA.

Načelo frekvenčne neodvisnosti

- $r = T(\theta, \phi)$ enačba prostorskega telesa antene v krogelnih koordinatah.
- Antena naj ima priključke kolikor mogoče blizu koordinatnega izhodišča. Natančnost geometrije antene r_{\min} okoli njenega izhodišča določa zgornjo frekvenčno mejo f_{\max} .
- Največja dimenzija antene r_{\max} , pri kateri tok zaradi sevanja upade proti nič, določa spodnjo frekvenčno mejo f_{\min} .
- Definicija: Antena je frekvenčno neodvisna, če je p-kratna povečava antene enakovredna zasuku antene po azimutu za kot C, torej

$$pT(\theta, \phi) = T(\theta, \phi + C)$$

- Ta pogoj zadovoljuje prostorsko telo

$$r = T(\theta, \phi) = e^{a(\phi - \phi_0)} t(\theta), \text{ enačba prostorskega vijaka,}$$

kjer je $a = (1/p) dp/dC$ in je $t(\theta)$ poljubna funkcija polarnega kota. Geometrija frekvenčno neodvisne antene je **določena s koti in ne z dimenzijami.**

Frekvenčno neodvisne antene

Smerni diagram:

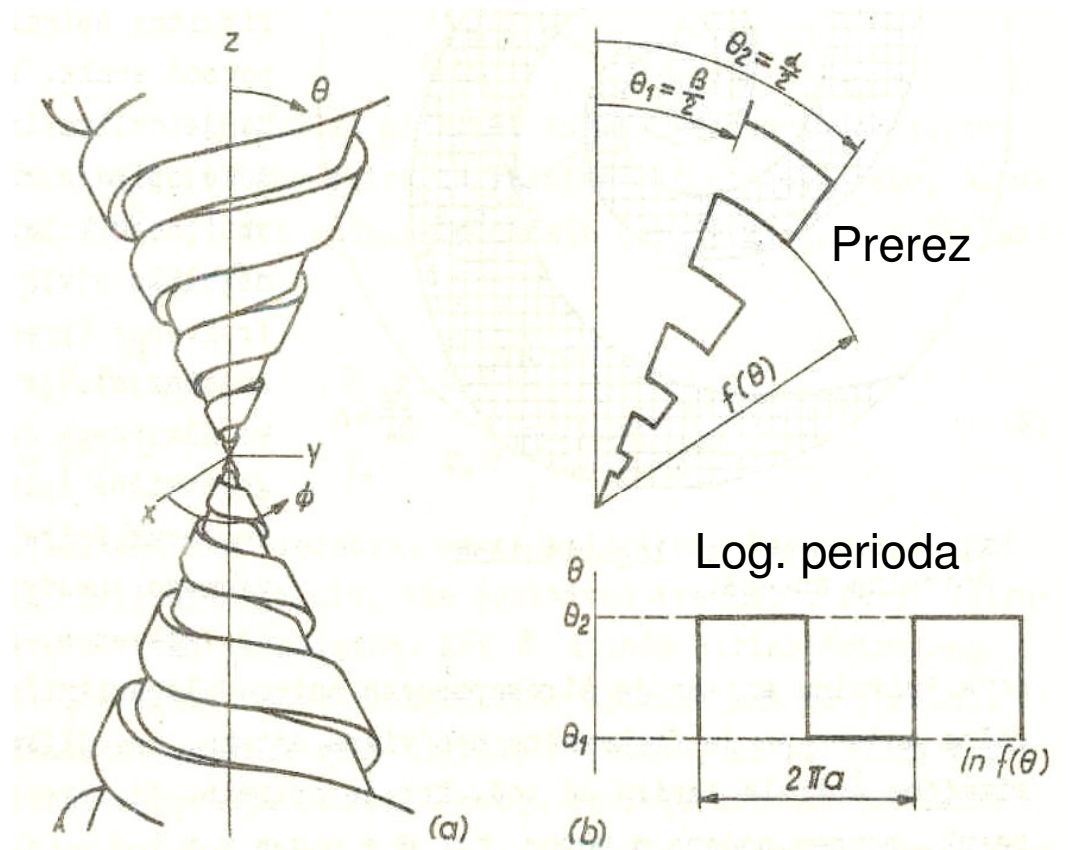
p- kratna povečava strukture ustreza zasuku antene za kot $C = \ln p/a$

$$T(\theta, \phi, f/p) = T(\theta, \phi - (1/a) \ln p, f)$$

Splošne lastnosti v frekvenčnem pasu 1:p so:

- Smerni diagram, ki je osno simetričen, se s frekvenco ohranja.
- Smerni diagram, ki ni osno simetričen, ohranja obliko, vendar se suče okoli osi z.
- Vhodna impedanca je od frekvence neodvisna.

Dvojni konično-logaritmični vijak



- Projekcija vijaka na ravnino $\theta = \pi/2$ daje logaritmično planarno spiralo na ravnini x-y.
- Presek vijaka z ravnino skozi os z daje log-periodično planarno strukturo.

Logarithmic Spiral



By
Graham Steinke
&
Stephanie Kline



Planarne spirale

$$r(\theta = \pi/2) = \rho = A e^{a\phi} = \rho_0 e^{a(\phi - \phi_0)}, \quad A = \rho_0 e^{-a\phi_0}$$

V razmerju z valovno dolžino:

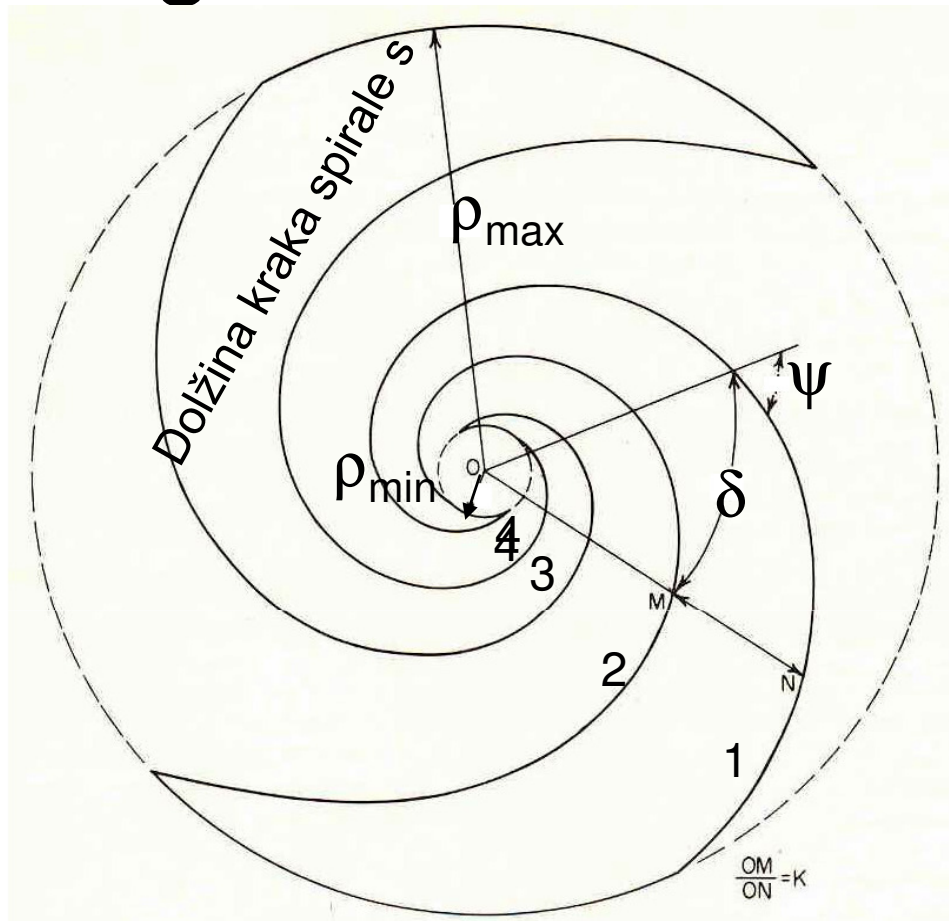
$$\rho_\lambda = \rho/\lambda = (A/\lambda) e^{a\phi} = A e^{a(\phi - \ln\lambda/a)}$$

Sprememba valovne dolžine p-krat je ekvivalentna zavrtitvi za kot $\phi_0 = \ln p/a$.

Dolžina loka na kraku spirale med najkrajšim radijem ρ_1 in najdaljšim radijem ρ_2 je

$$s = (\rho_2 - \rho_1) (1 + (1/a)^2)^{1/2}$$

Logaritmična dvovejna spiralna antena



Desna spirala glede na smer $\mathbf{1}_r$
(os z) pravokotno v ravnino

Frekvenčno neodvisna
enakokotna (ekviangularna,
 $\psi = \text{konst.}$) antenska
struktura, DKP in LKP v
smeri +/- z

Lastno komplementarna;
Enačbe mejnih spiral
kovinskih trakov ($\delta = \pi/2$):

$$\rho_1 = \rho_0 e^{a\phi}, \quad \rho_3 = \rho_0 e^{a(\phi-\pi)},$$

$$\rho_2 = \rho_0 e^{a(\phi-\pi/2)}, \quad \rho_4 = \rho_0 e^{a(\phi-3\pi/2)},$$

$a > 0$, desna spirala

$a < 0$, leva spirala

Najdaljša valovna dolžina
 $\lambda_{\max} = s$ (dolžina loka veje)

Najkrajša valovna dolžina
 $\lambda_{\min} = 8\rho_{\min}$

Izrez spirale v pločevini



Arhimedova dvovejna spiralna antena

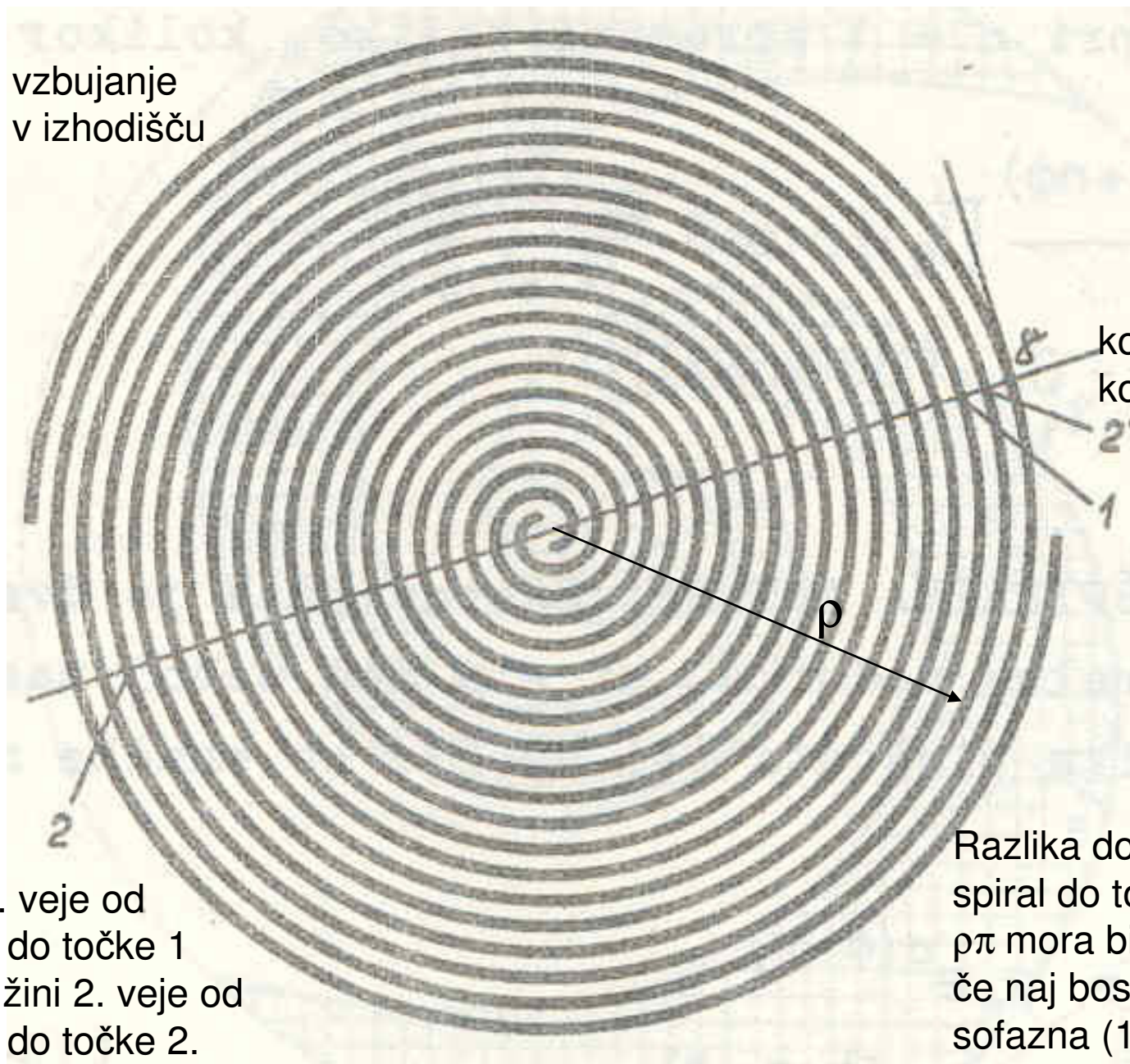
- Širokopasovna antena krožne polarizacije, približno enakokotna
- Leva spirala, $a < 0$, desna spirala, $a > 0$, približno komplementarna
- Potujoči val toka na vejah spirale $I = I_0 e^{-(\alpha + j\beta)s}$, dolžina loka s
 - $\rho_1 = a(\phi - \phi_0)$, prva veja
 - $\rho_2 = a(\phi - \phi_0 - \pi)$ druga veja, vzbujana protifazno
 - $\Delta s = \rho\pi$ razlika dolžin obeh vej do razdalje ρ
- $R_n = n\lambda/2\pi$ polmer n -tega kroga, kjer je razlika poti $n\lambda/2$
- $n = 1$ prvi (glavni) krog sofaznega toka, kjer nekaj sosednjih vodnikov učinkujejo kot zančna antena (aktivni kolobar spiralne antene)
- Protifazno vzbujana dvovejna antena se samodejno razvije iz dvovodniške linije v anteno (kolobar približno sofaznih vodnikov s tokom $I = I_0 e^{-jn\phi}$). Sevano polje n -tega kolobarja je

$$\vec{E} = -j^n \frac{\beta \eta a I_0}{4} \frac{e^{-j(\beta r + n\phi)}}{r} \left[\vec{i}_\theta j 2n \cos\theta \frac{J_n(\beta a \sin\theta)}{\beta a \sin\theta} + \vec{i}_\phi (J_{n-1}(\beta a \sin\theta) - J_{n+1}(\beta a \sin\theta)) \right]$$

Polje 1. kolobarja
 $n = 1$, $a = R_1 = \lambda/2\pi$
 Max. na osi z

Arhimedova spirala, prvi kolobar

Protifazno vzbujanje
vej spirale v izhodišču



kot približno
konstanten

Dolžina 1. veje od
izhodišča do točke 1
enaka dolžini 2. veje od
izhodišča do točke 2.

Razlika dolžin obeh
spiral do točk 2' in 1
 $\rho\pi$ mora biti enaka $\lambda/2$,
če naj bosta tokova
sofazna (1. kolobar)

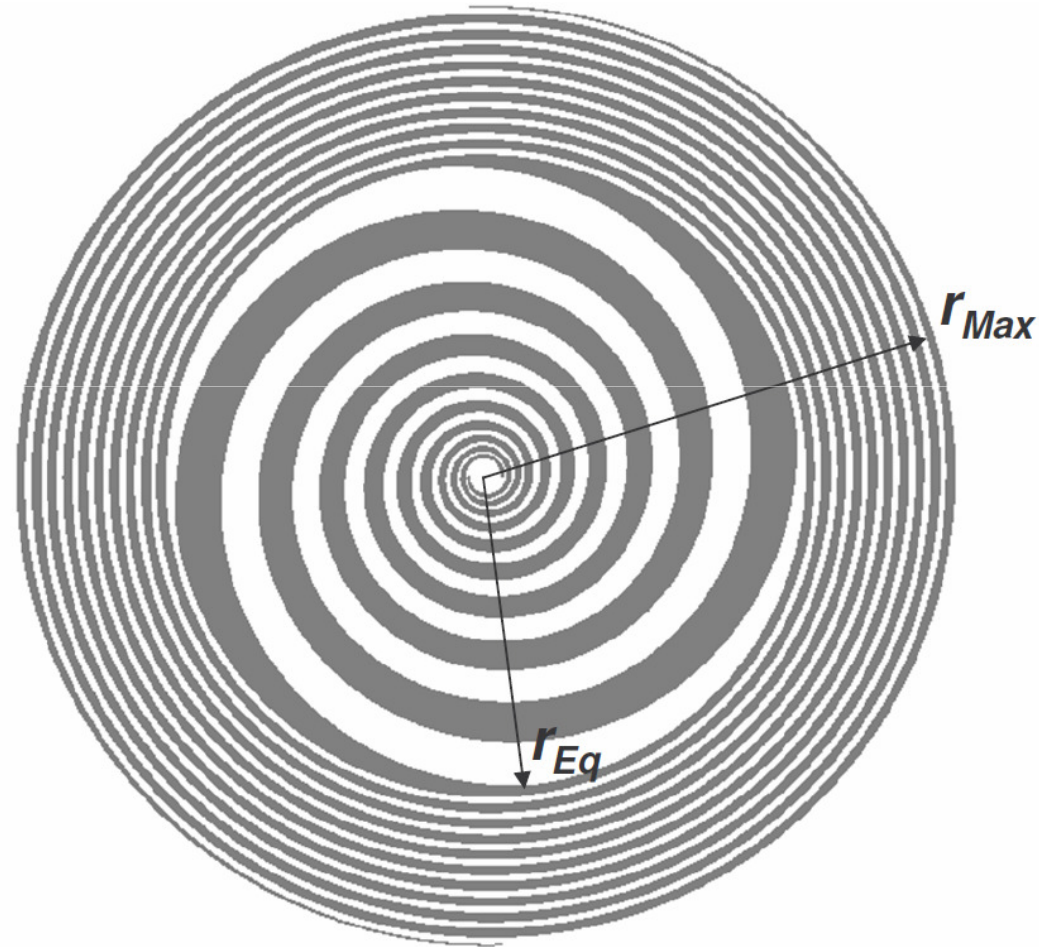
Ravninska logaritmična spirala

Značilnosti:

- $df/d\theta = A\delta(\pi/2 - \theta)$: ravnina $\theta_0 = \pi/2$.
- Enačba $r = \rho = \rho_0 e^{a(\phi - \phi_0)}$, enakokotna (ekviangularna) spirala (radialni žarek seka tangento na spiralo pod enakim kotom ψ).
- Predstavlja konturne enačbe spiralnih trakov za primer lastno komplementarne (enake širine trakov in rež) dvovejne antene.
- Dolžina trakov λ ali več (število ovojev 1,25 do 1,5 ali več).
- Potujoči val toka z upadajočo fazo se zaradi sevanja oslabi pred koncem traku.
- Širok glavni snop dvosmernega diagrama spirale v smeri +/- z.
- Resonatorski prostor za spiralo polnjen z absorberjem, ki izniči sevanje nazaj.
- Impedanca lastno komplementarne spirale okoli 60π ohmov.

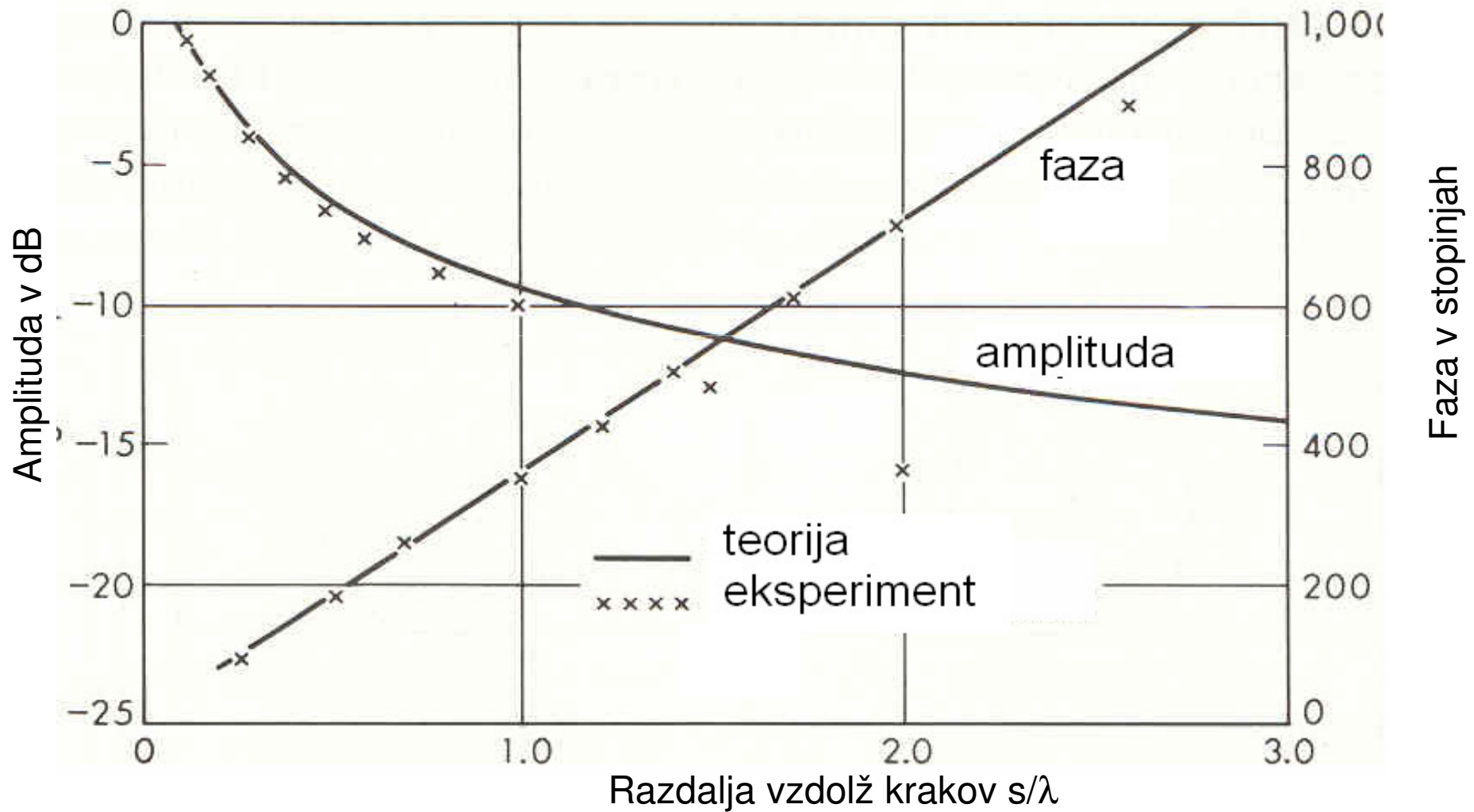
Kombinirana planarna spiralna antena

- Večovojna logaritmična spirala se nadaljuje v večovojni Arhimedovi spirali.



Potek toka na planarni spirali

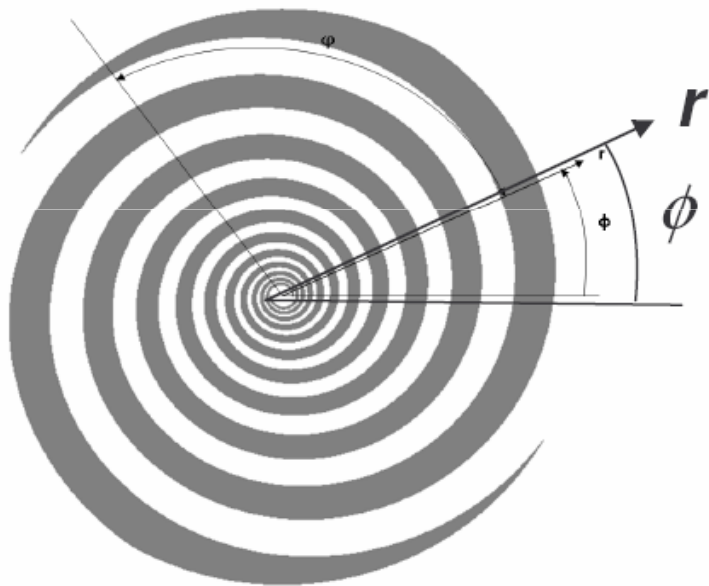
Amplituda in faza potujočega vala toka vzdolž krakov logaritmične spiralne antene



Planarne spirale

Frekvenčno neodvisna
logaritmična spirala

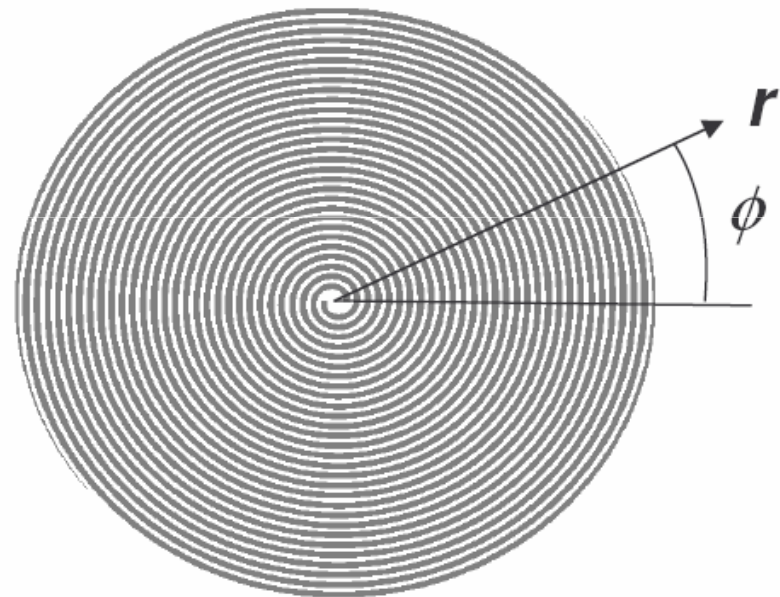
$$r = r_0 e^{a(\phi - \phi_0)}$$



Lastno komplementarna

Širokopasovna
Arhimedova spirala

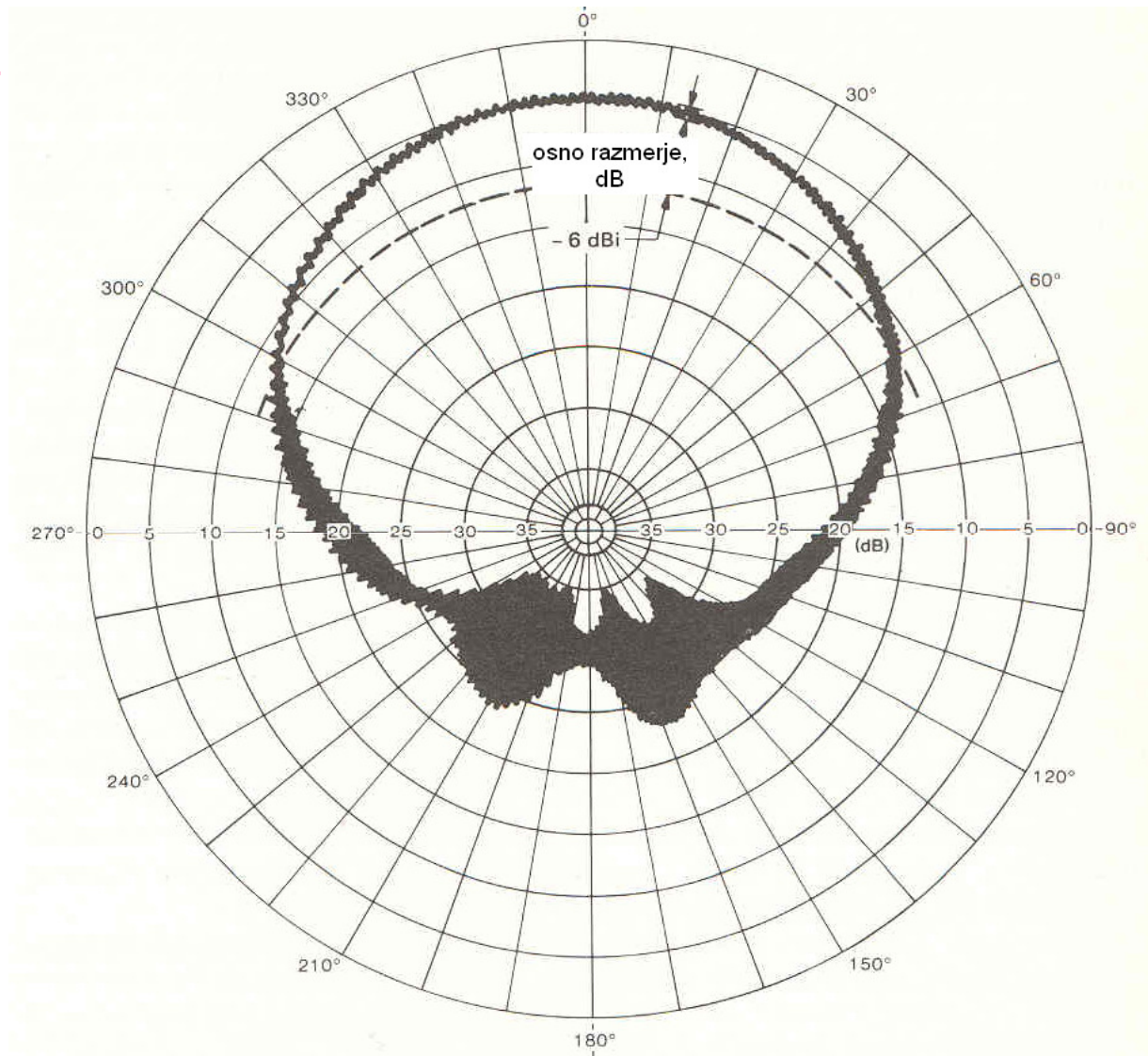
$$r = r_0 (\phi - \phi_0)$$



Lastno komplementarna
(v približku)

Smerni diagram in osno razmerje

- Logaritmična planarna antena



Oсно razmerje polarizacijske antene, merjeno z rotirajočo sondo, je predstavljen₂ z debelino črte v dB (0 dB idealna krožna polarizacija).

Primer smernih diagramov s frekvenco

Logaritmična
planarna
spiralna
antena;

Krogi -3, -10,
-20, -30 dB;
Dinamika 40 dB

H – horizontalni
V - vertikalni sek

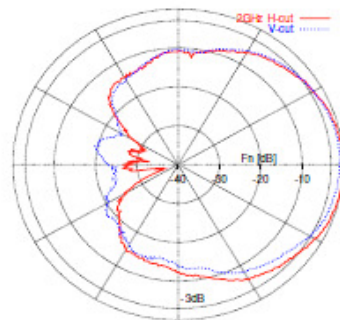


Fig. 5: 2GHz

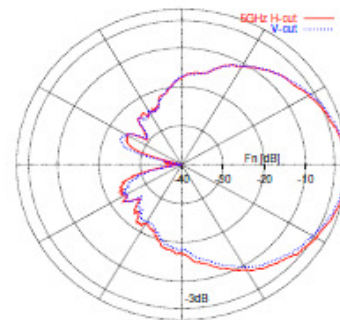


Fig. 6: 5GHz

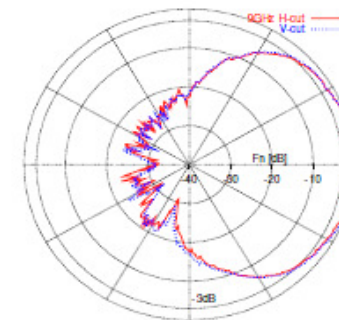


Fig. 7: 9GHz

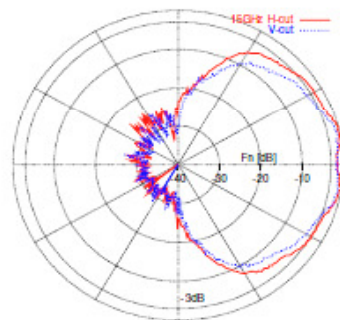


Fig. 8: 15GHz

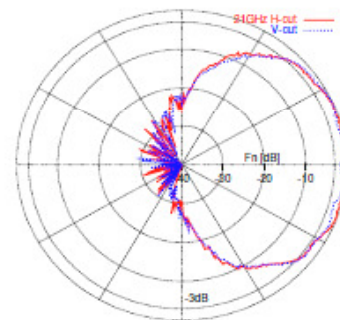


Fig. 9: 21GHz

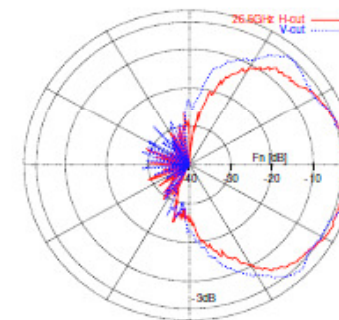


Fig. 10: 26.5GHz

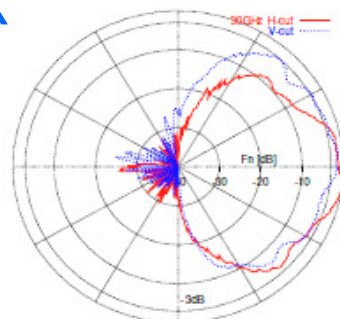


Fig. 11: 30GHz

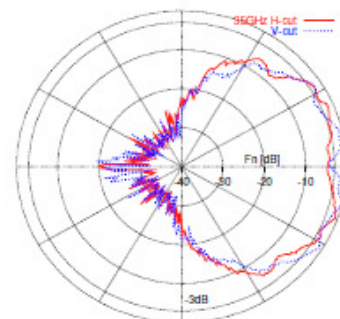


Fig. 12: 35GHz

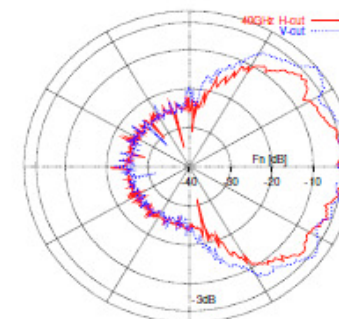
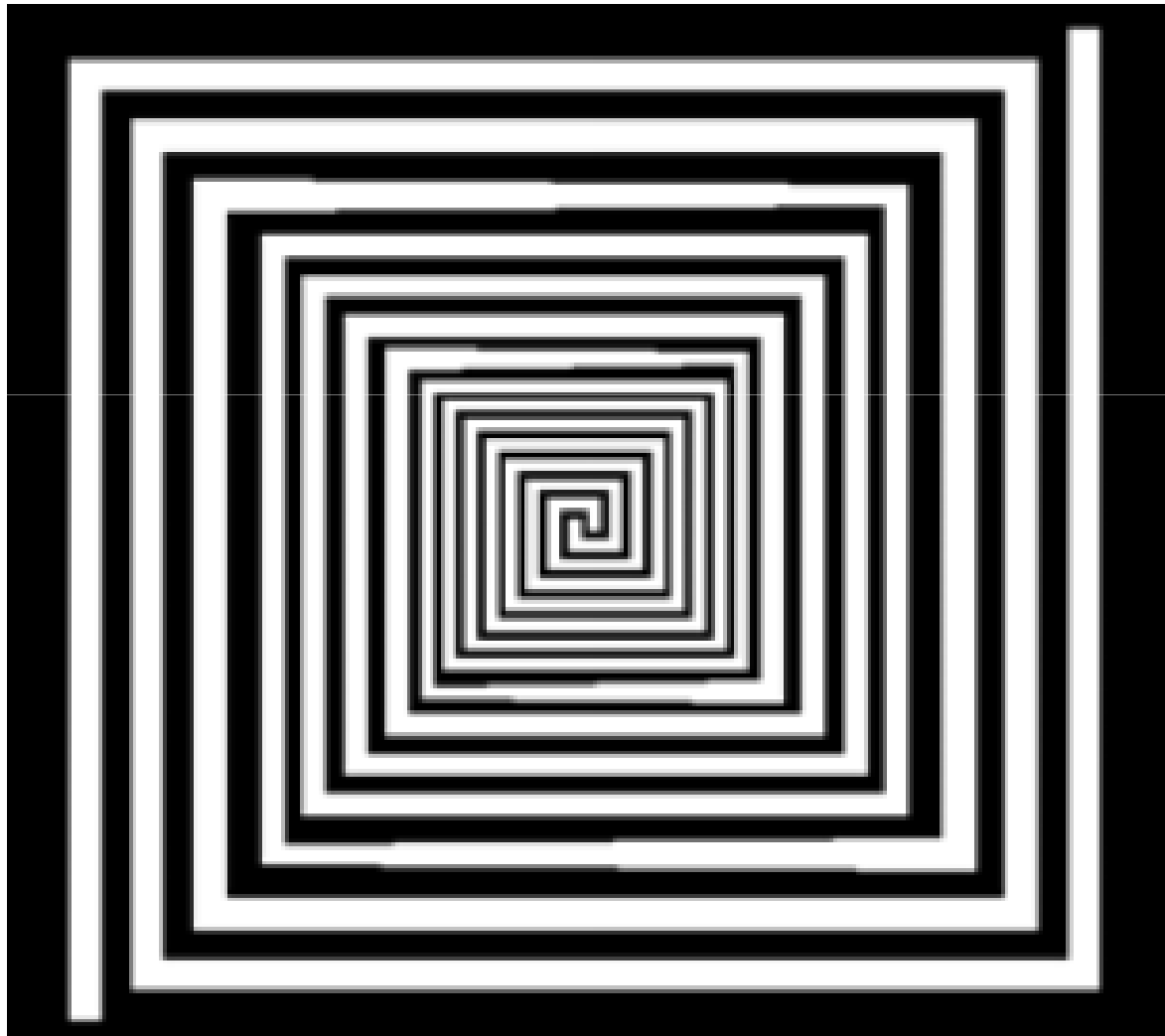


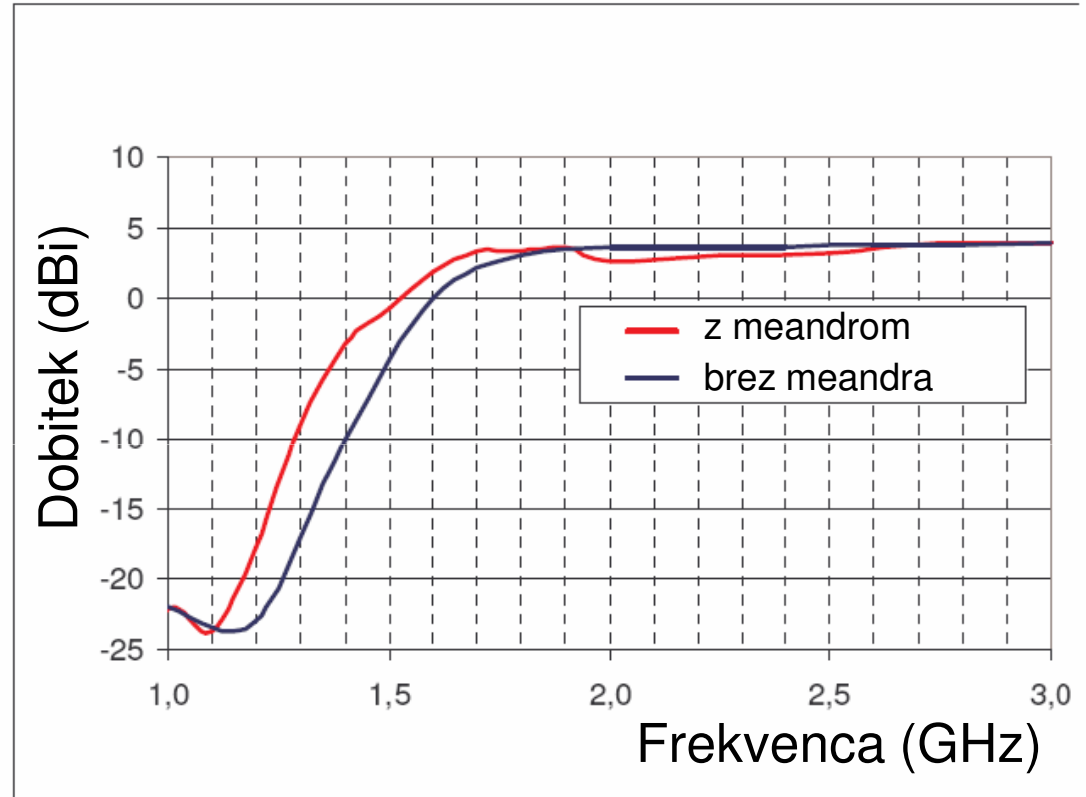
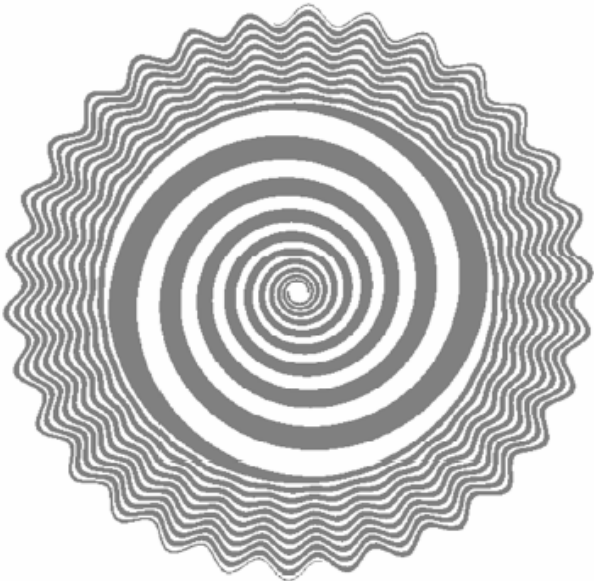
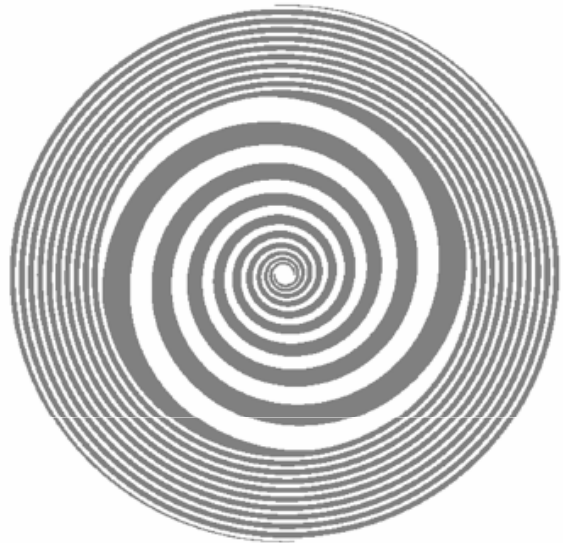
Fig. 13: 40GHz

Kvadratna spiralna antena



Logaritmična spirala z meandrom

Arhimedove spirale



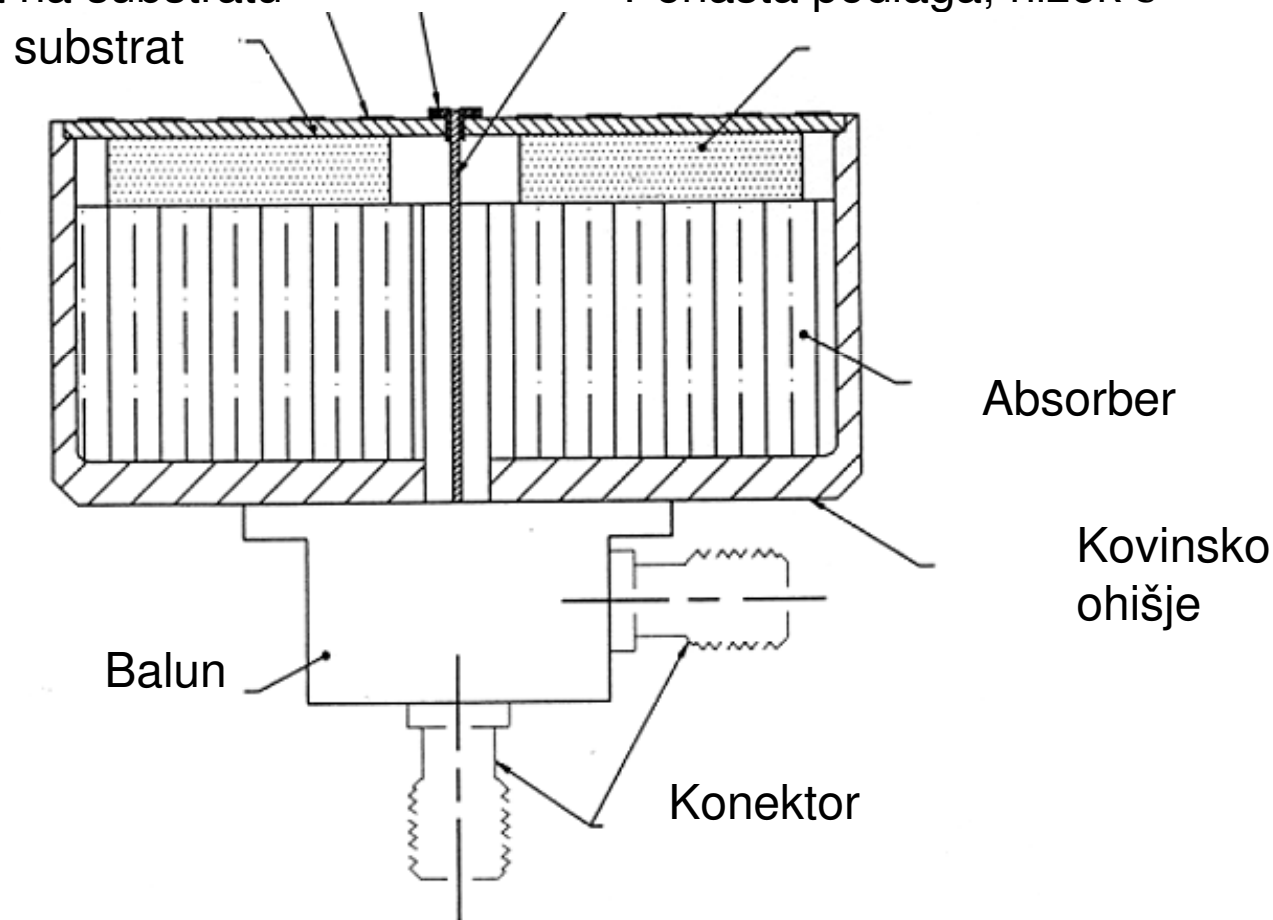
Meander razširja frekvenčni pas na spodnji meji.

Absorpcijska votlina spirale

Polnilo je absorpcijski dielektrik, ki absorbira polje, sevano v smeri nazaj.

Tiskana spirala na substratu

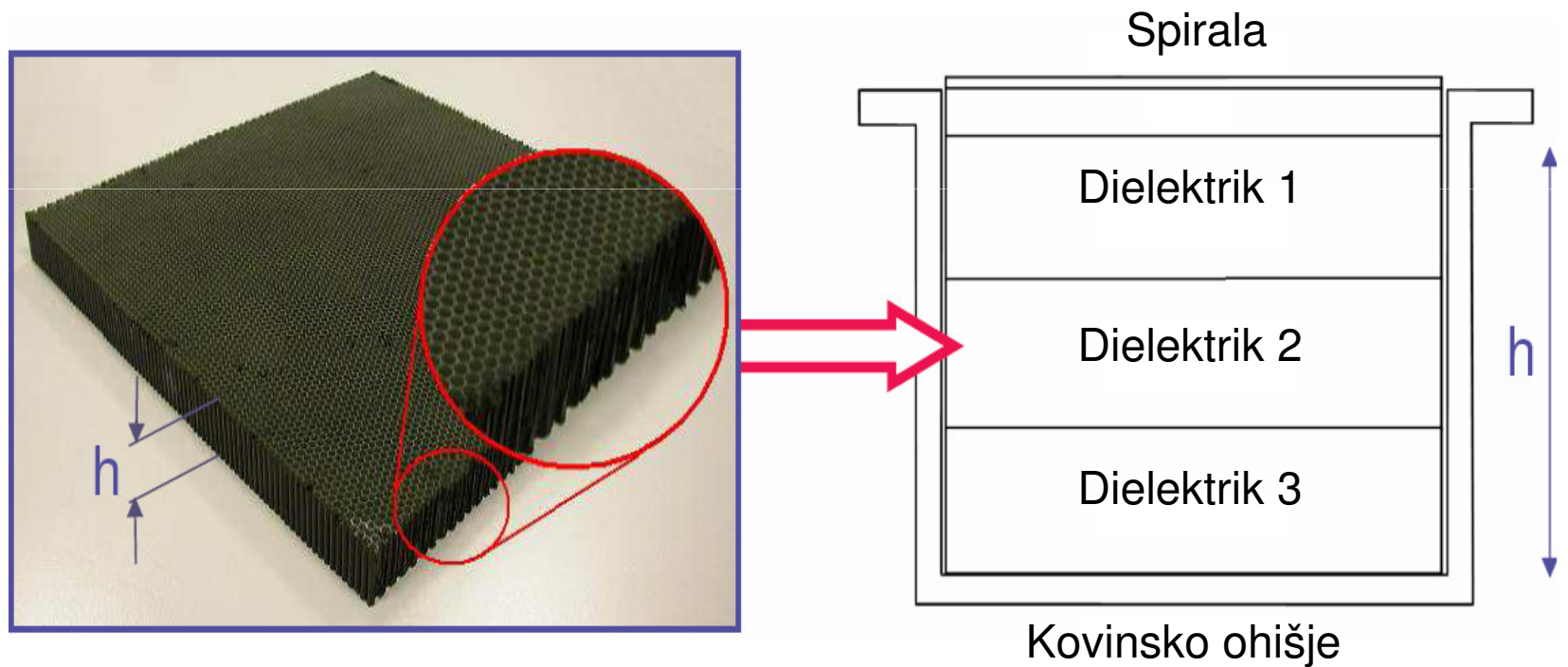
Penasta podlaga, nizek ϵ



Antena seva približno polovico dovajane moči. Dobitek se zmanjša za cca. 3^{25} dB.

Absorpcijsko polnilo

Polnilo so dielektriki različnih snovnih parametrov.

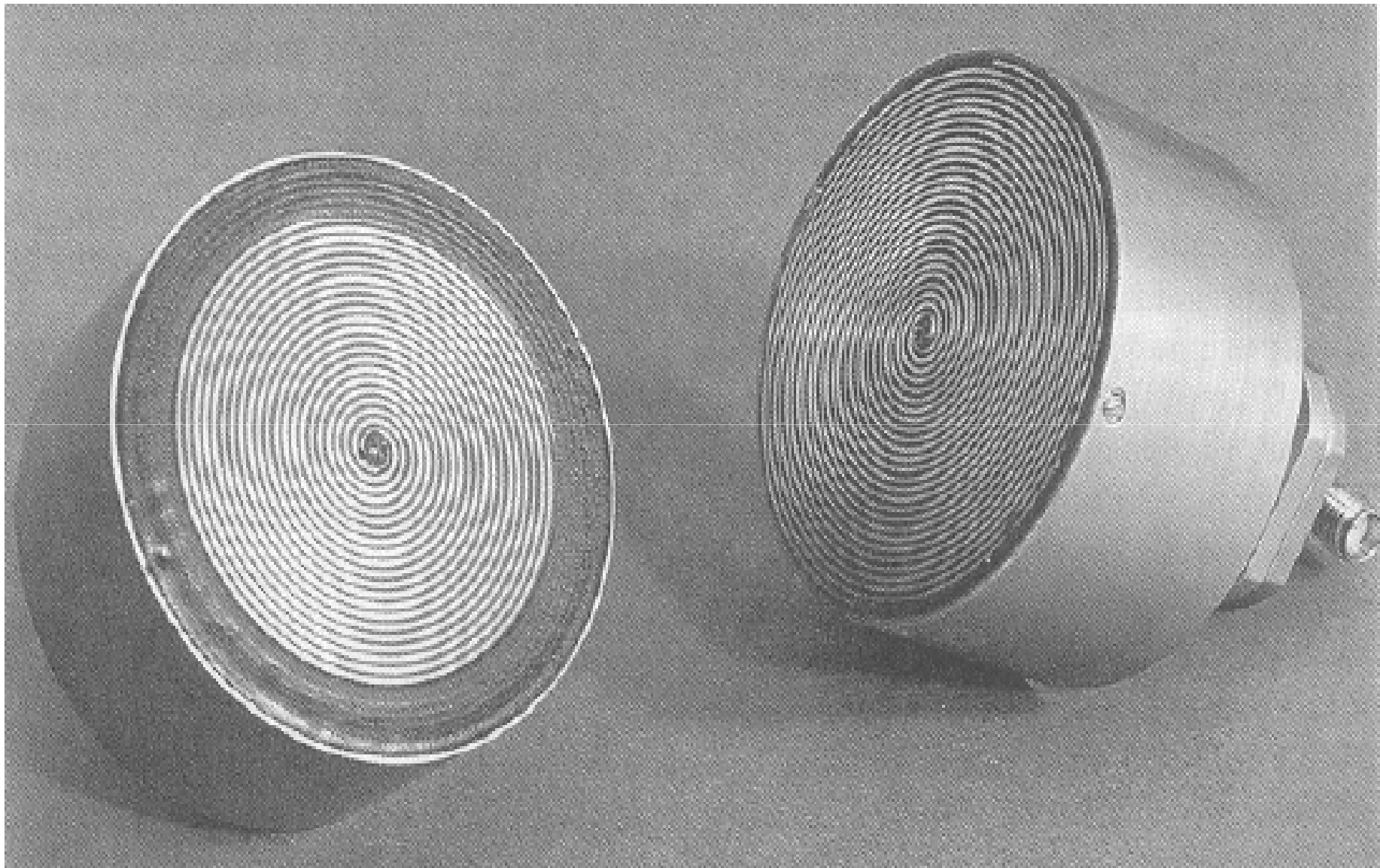


Logaritmična spiralna antena



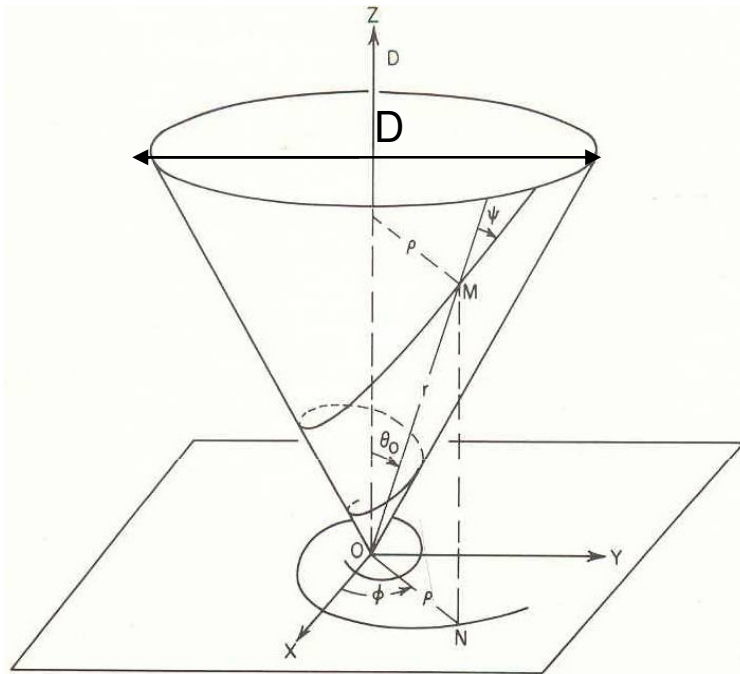
Logaritmična spirala se končuje v Arhimedovi spirali z meandrom

Arhimedova planarna spiralna antena



Približno lastno komplementarna antena. Zunanji ovoji na levi anteni so absorpcijski, na desni so zaključeni s 100-ohmskim uporom..

Konična logaritmična spirala



Spirala navita na stožcu
 D premer osnovnice
 d premer vrha presekanega
 stožca

- $dt/d\theta = A\delta(\theta_0 - \theta)$: stožec $\theta = \theta_0$, $0 < \theta_0 < \pi$

Enačba spirale $r = r_0 e^{a \sin\theta_0 (\phi - \phi_0)}$

Zveza med parametri $\sin \theta_0 = a \operatorname{tg} \psi$

Dolžina loka $s = r/\cos\psi$

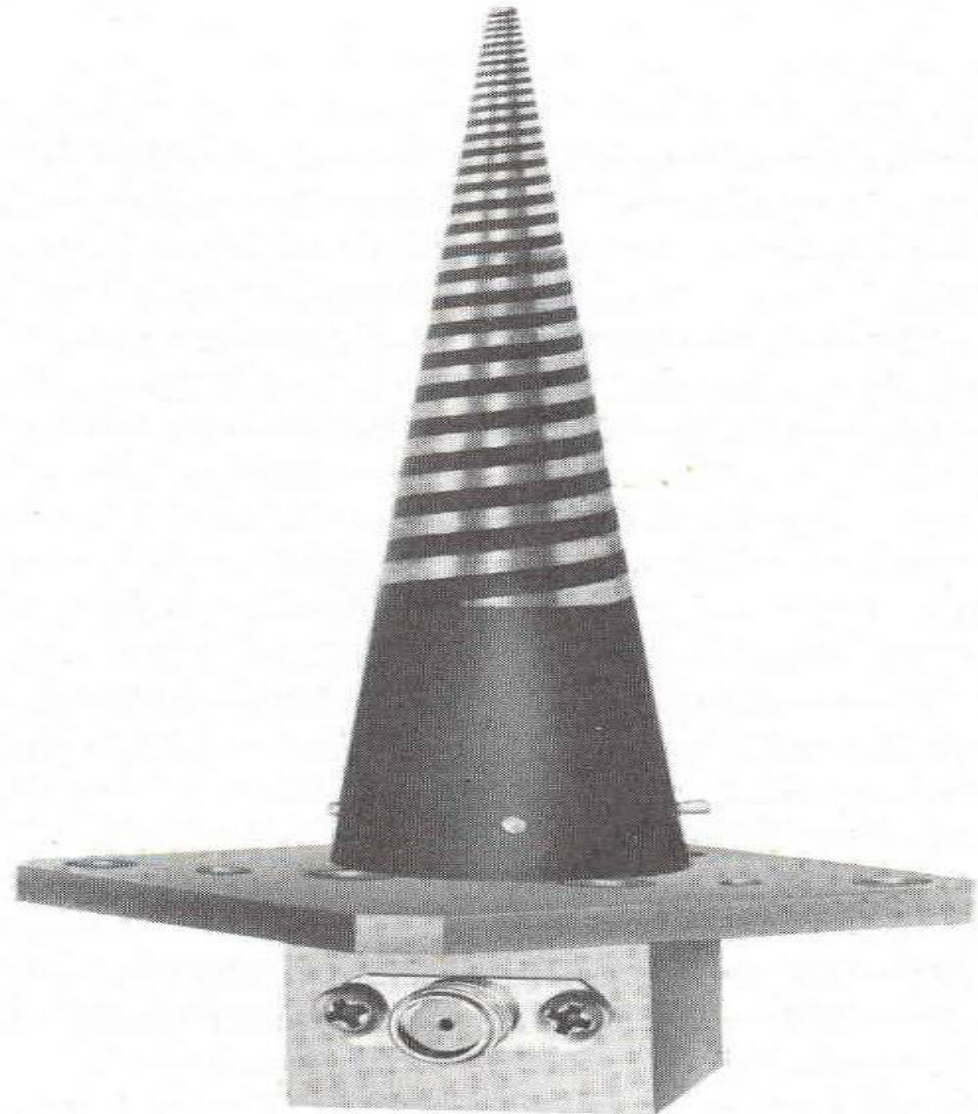
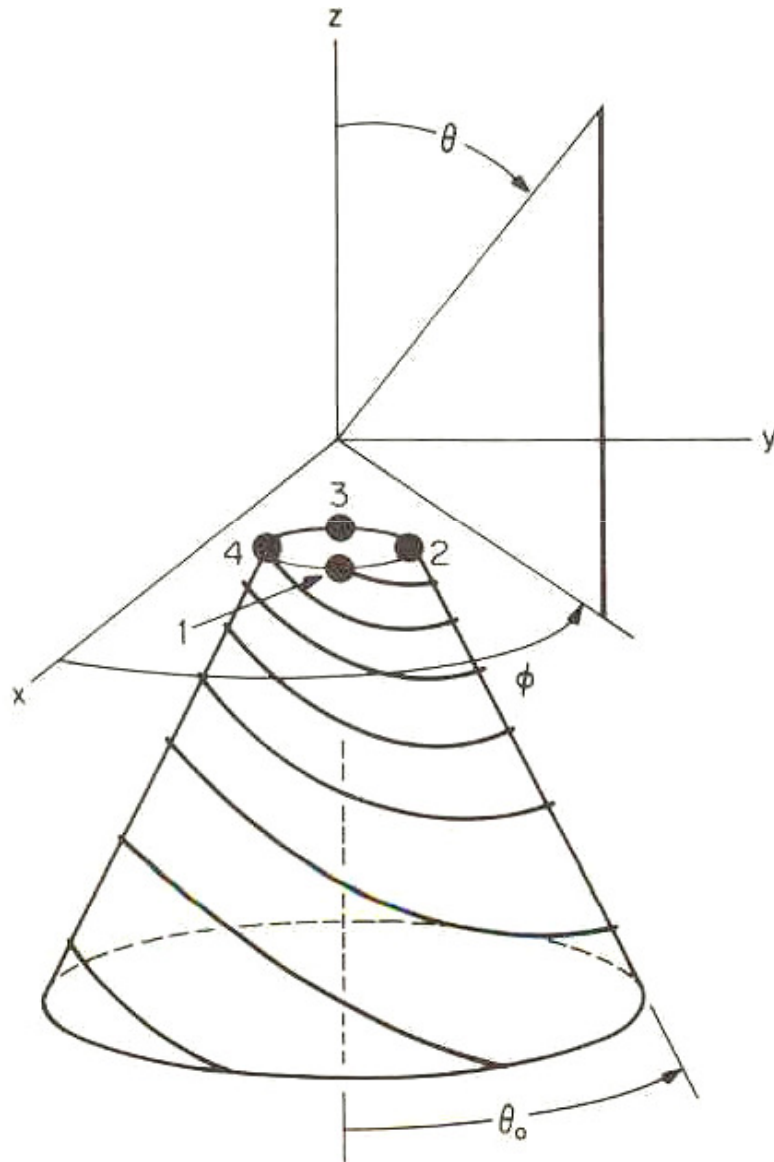
Nastane kot projekcija ravninske logaritmične spirale na plašč stožca z vršnim kotom $2\theta_0$.

- Seva širok snop krožne polarizacije v smeri vrha stožca.
- Najdaljša valovna dolžina $\lambda_{\max} = 8D/3$
 Najkrajša valovna dolžina $\lambda_{\min} = 4d$

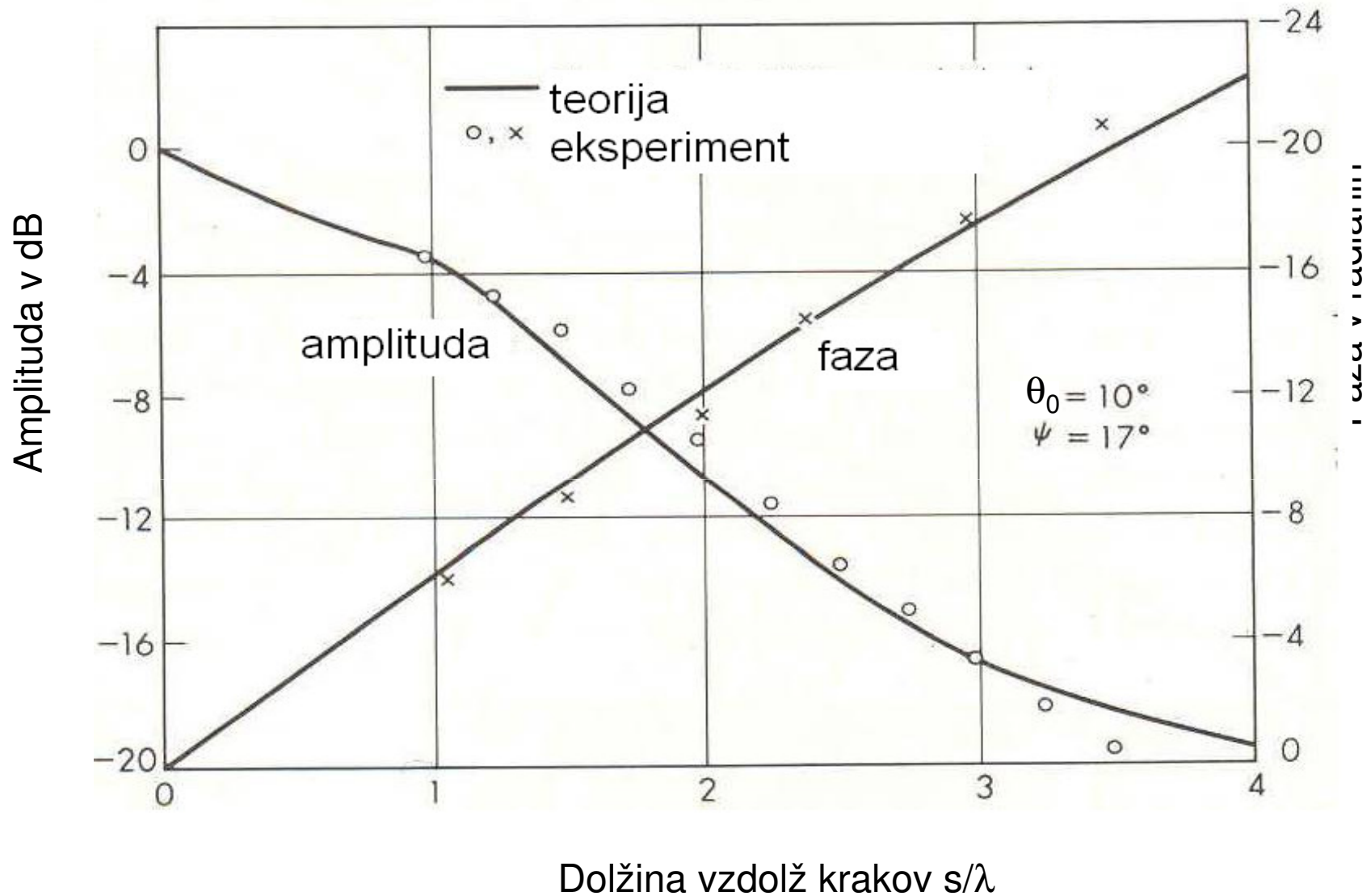
Konična logaritmična spirala

- Stožec $\theta = \theta_0 < 25^\circ$, polovični vršni kot za enosmerni diagram.
- Enačba $r = r_0 e^{a \sin \theta_0 \phi}$, enakokotna spirala na stožcu se vzpenja pod kotom ψ glede na radij iz vrha.
- Konturne enačbe spiralnih trakov za primer lastno komplementarne (enake širine trakov in rež) dvovejne antene.
- Potujoči val toka, ki se zaradi sevanja oslabi pred koncem traku.
- En sam glavni snop (enosmernega) diagrama v smeri osi +z vrha stožca dvovejne spirale. Leva ali desna krožna polarizacija polja (LKP, DKP).
- Štirivejna konična spirala omogoča oblikovanje Σ/Δ diagrama za uporabo pri radarjih.

Štirivejna konična spirala



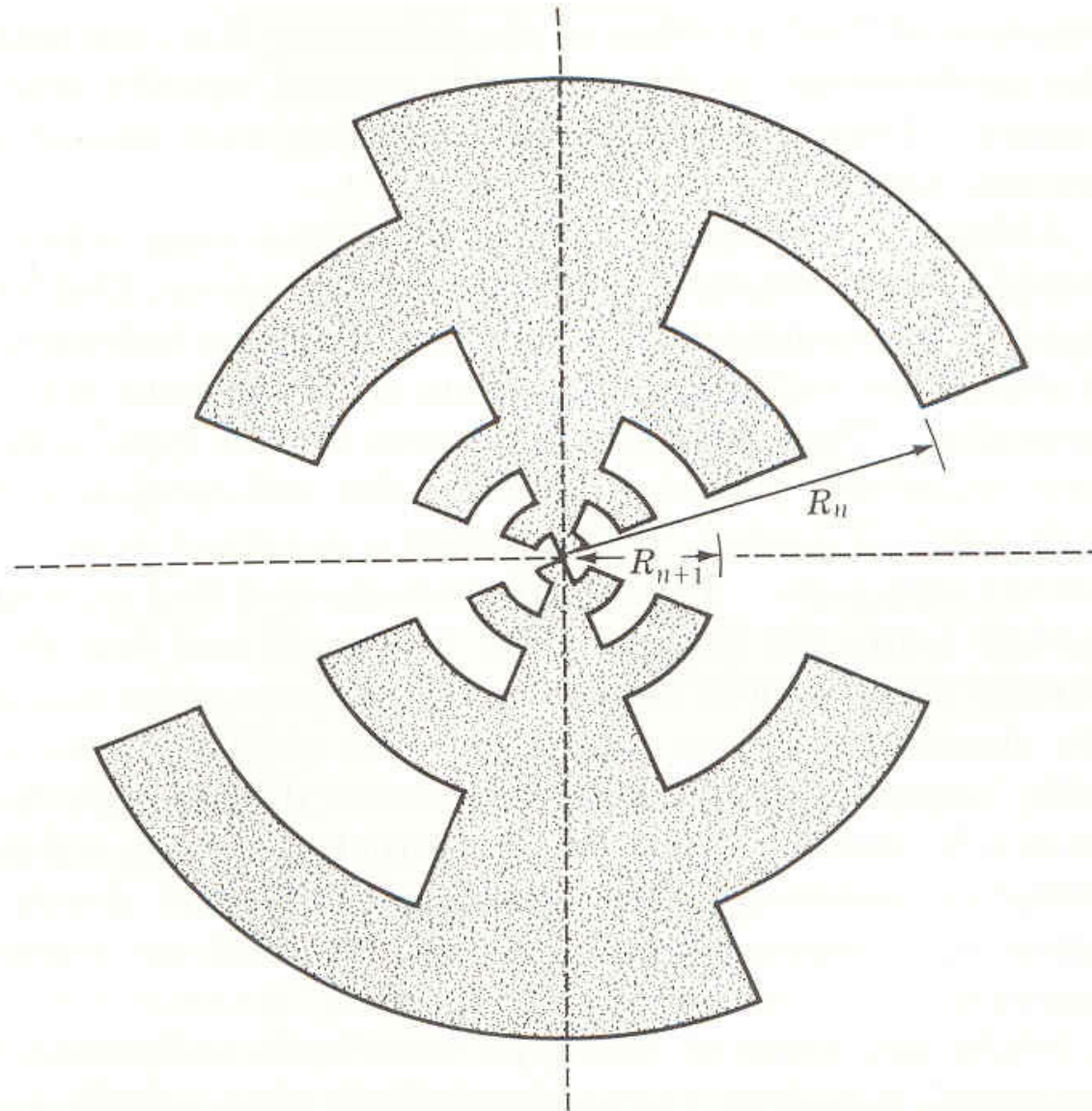
Potek toka na konični spirali



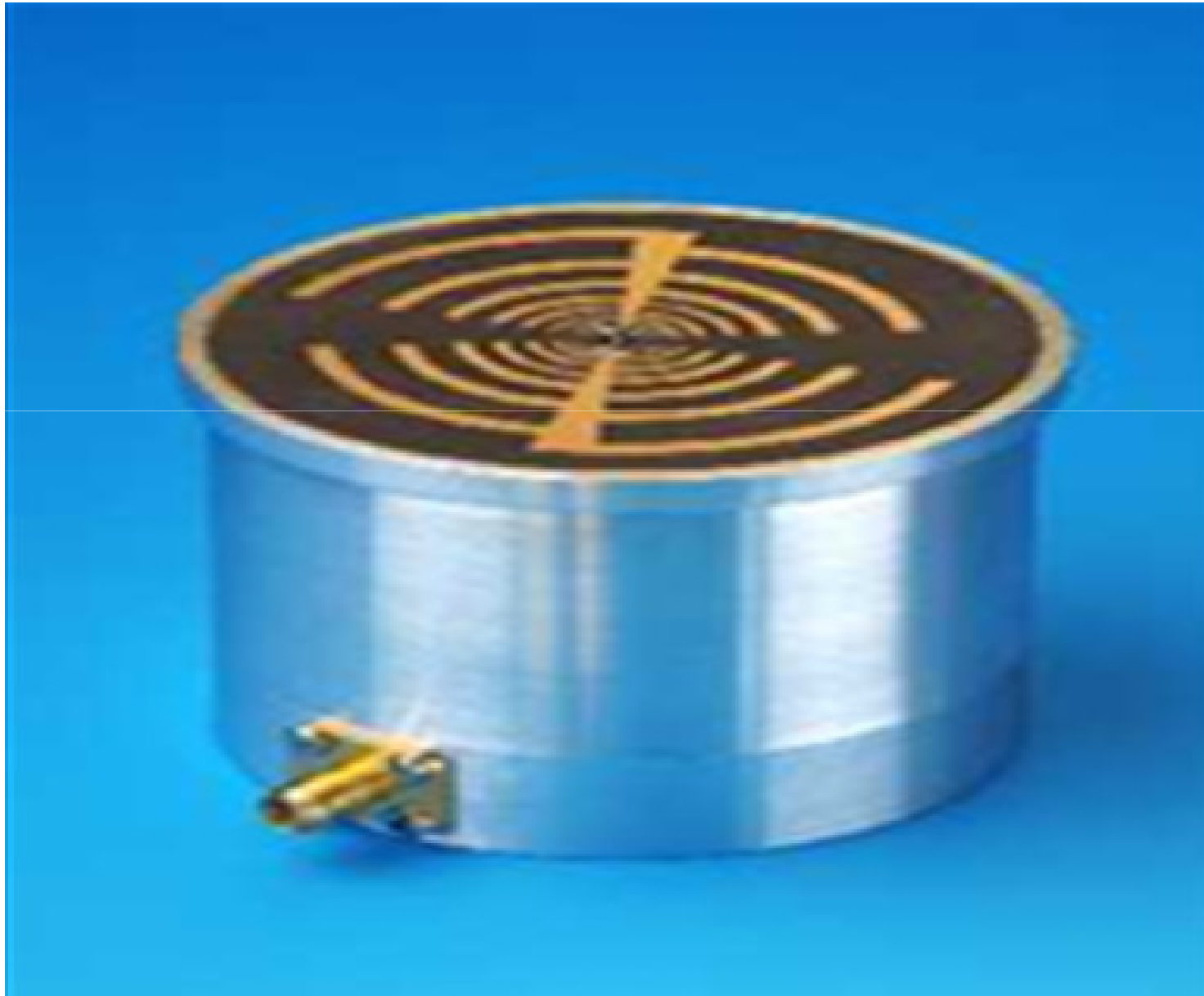
Potek toka na konični spirali je podoben poteku toka na planarni spirali. 32

Log-periodična planarna struktura

Lastnosti lastno komplementarne strukture se ponavljajo z logaritmom frekvence.



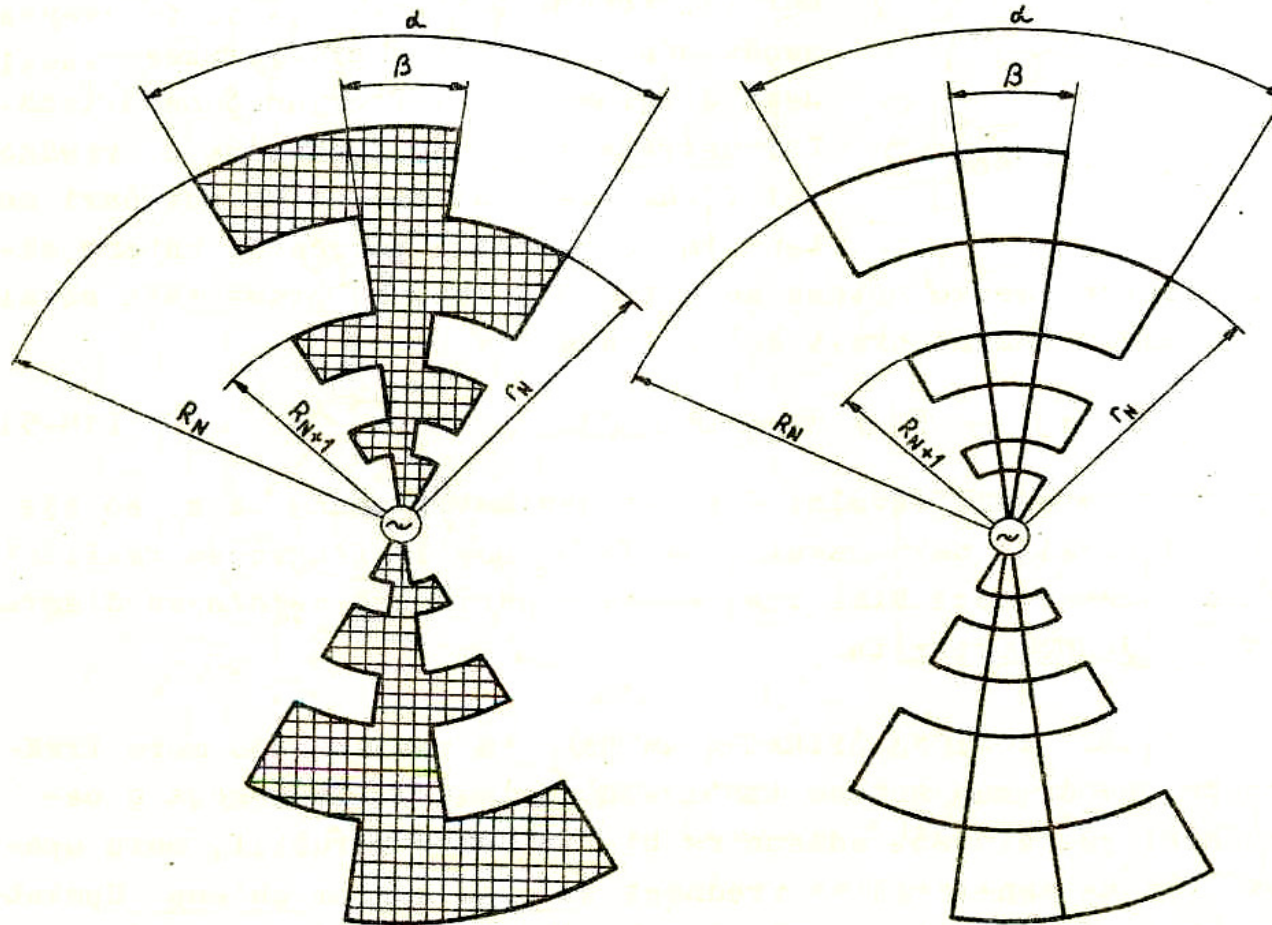
Log-periodična planarna antena



Log-periodične planarne strukture

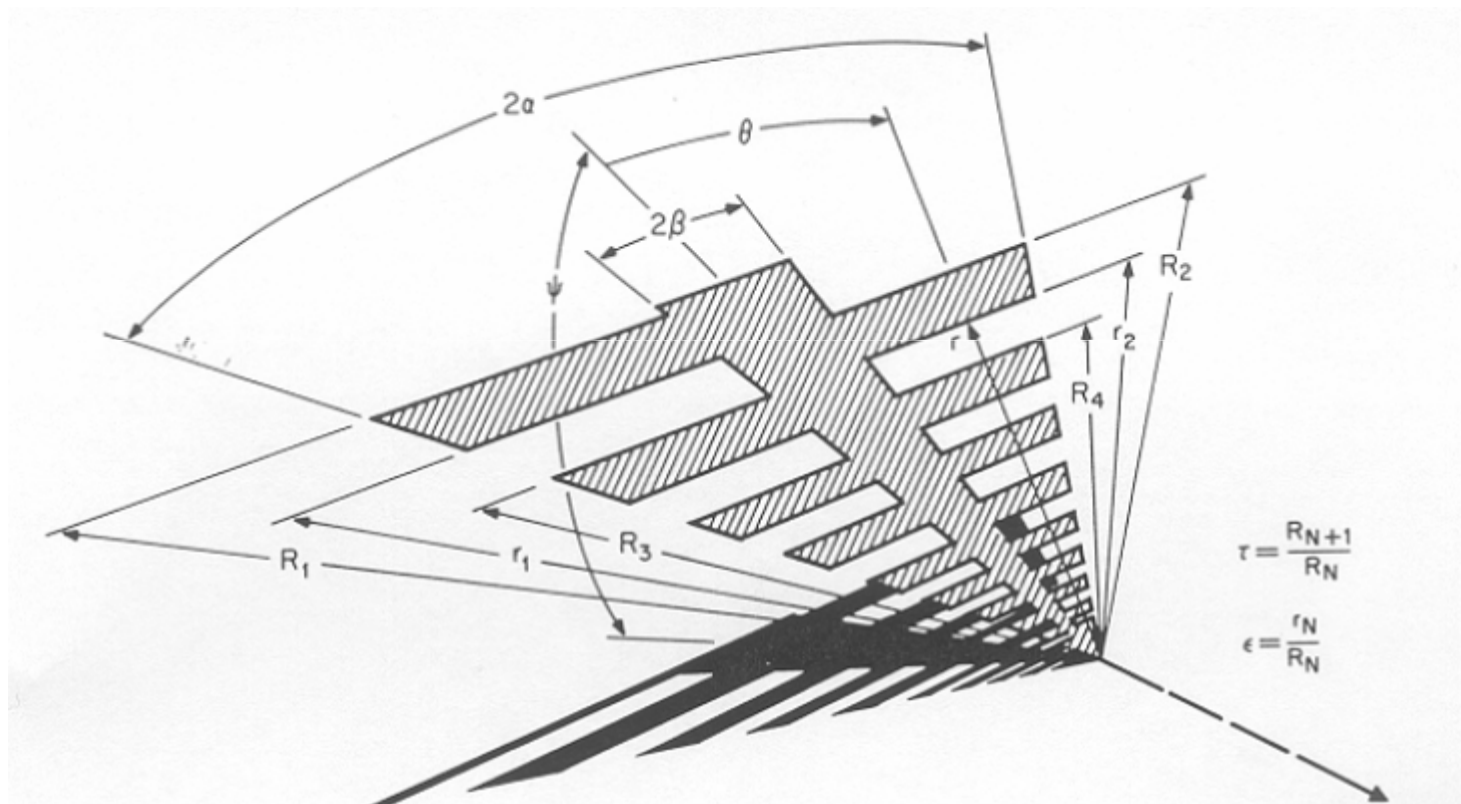
Ploščata izvedba

Žična konturna izvedba



Dvosmerno sevanje v smeri +/- z

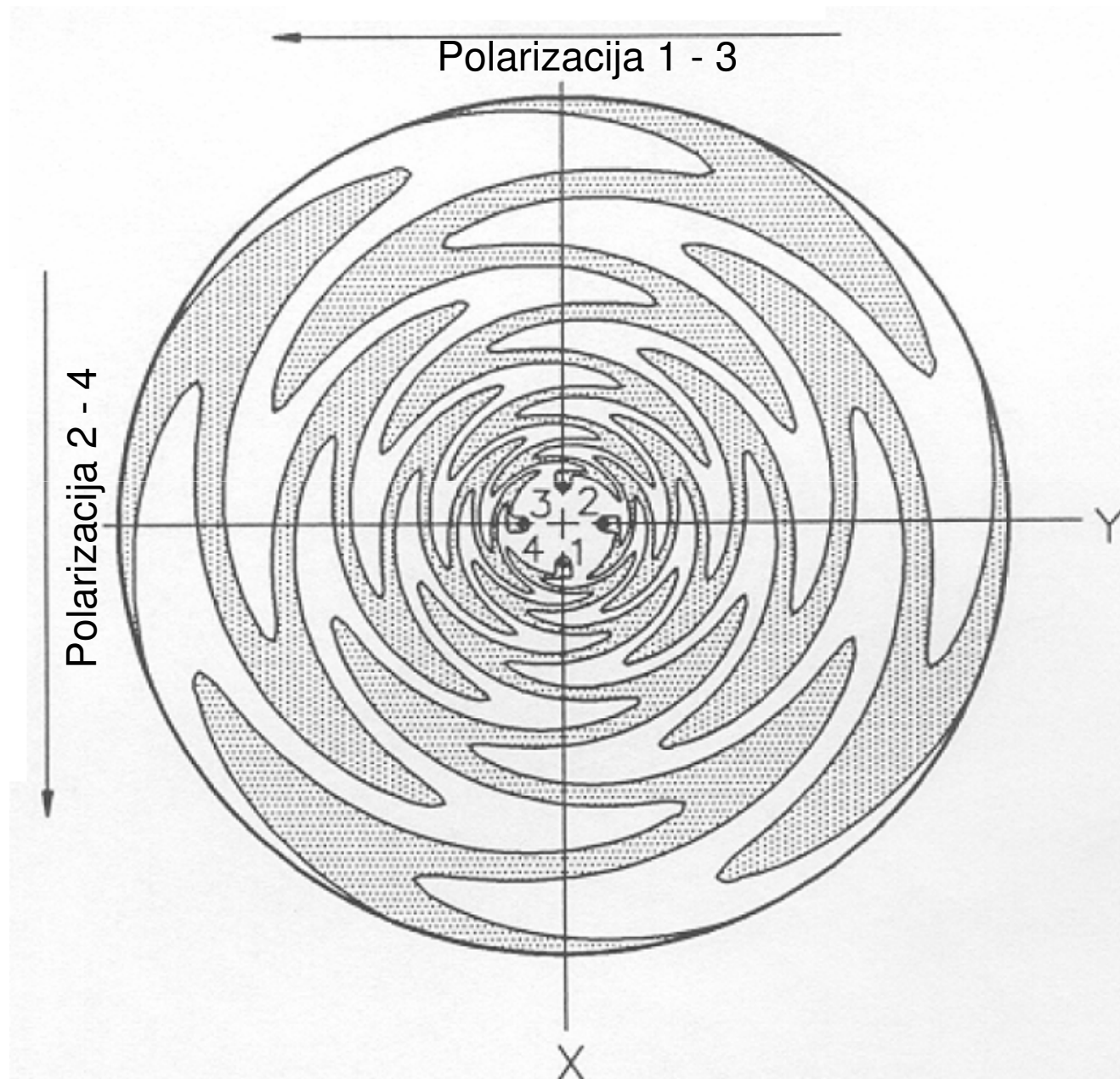
Log-periodična prostorska skupina



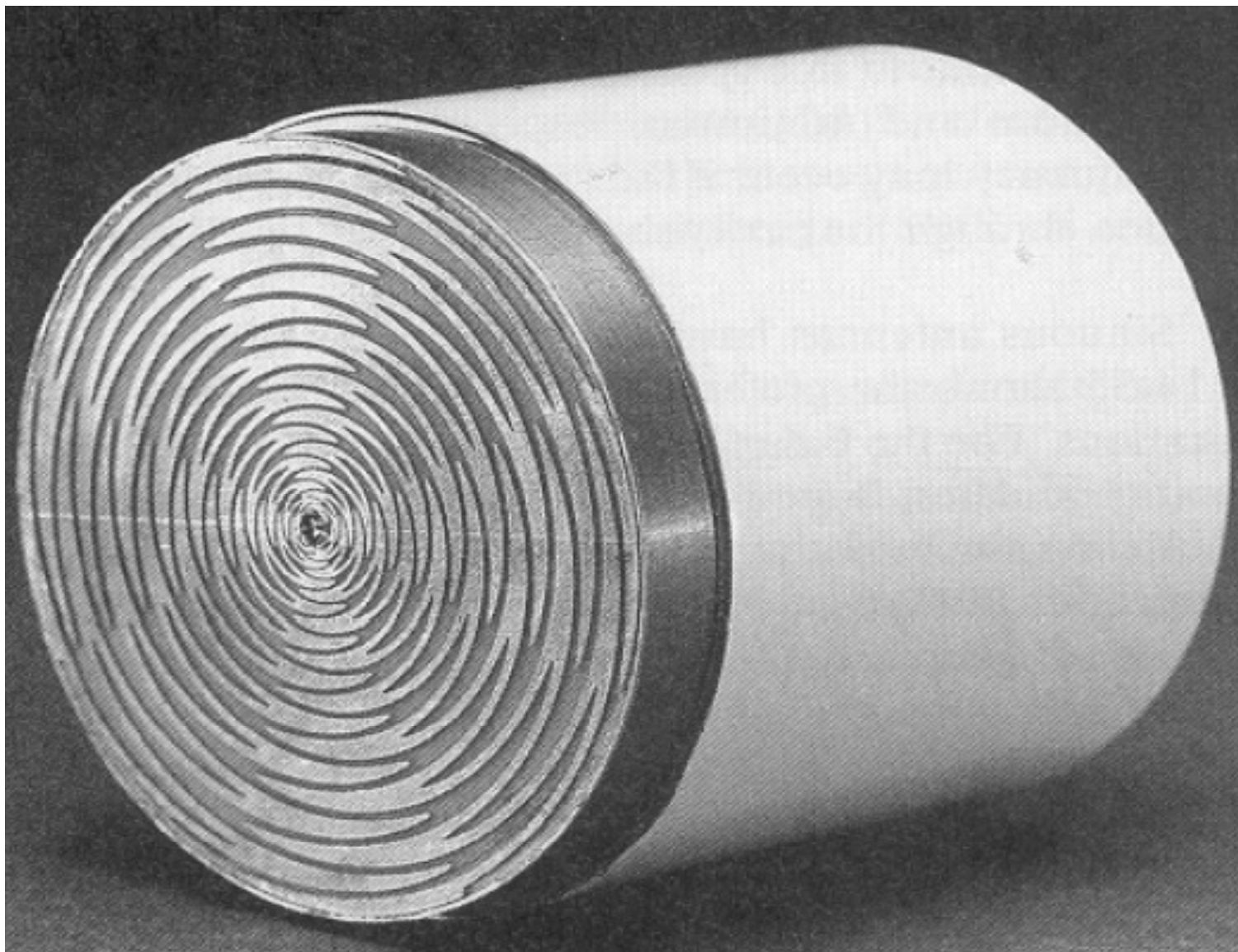
Smer glavnega
snopa

Sevanje trapezoidne log-periodične antene v smeri konice antene.

Štirivejna vijugasta log-periodična antena



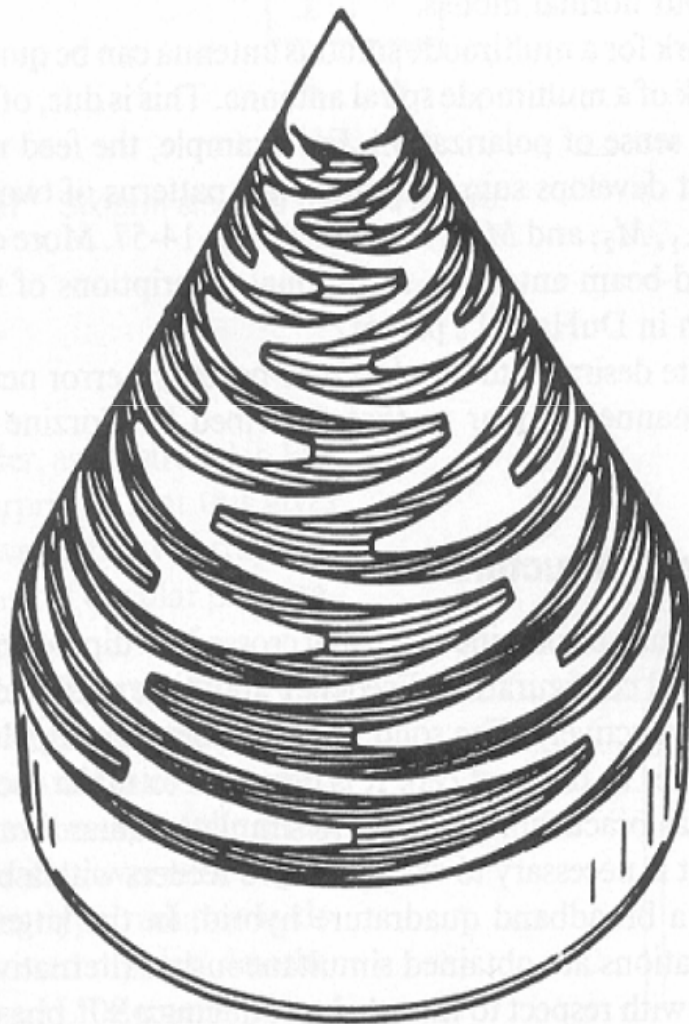
Vijugasta štirivejna log-periodična antena



Štirivejna vijugasta log-periodična antena



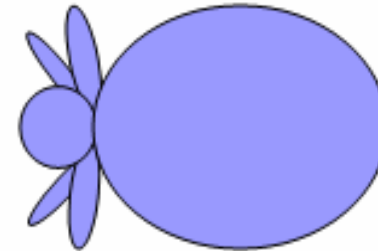
Vijugasta štirivejna konična log-periodična antena



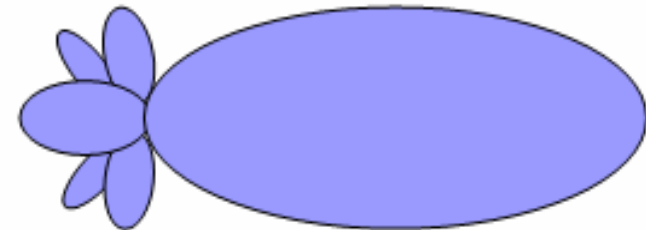
Log-periodična dipolska antena (LPDA)



EI (diagram skupine)



Az (diagram skupine x

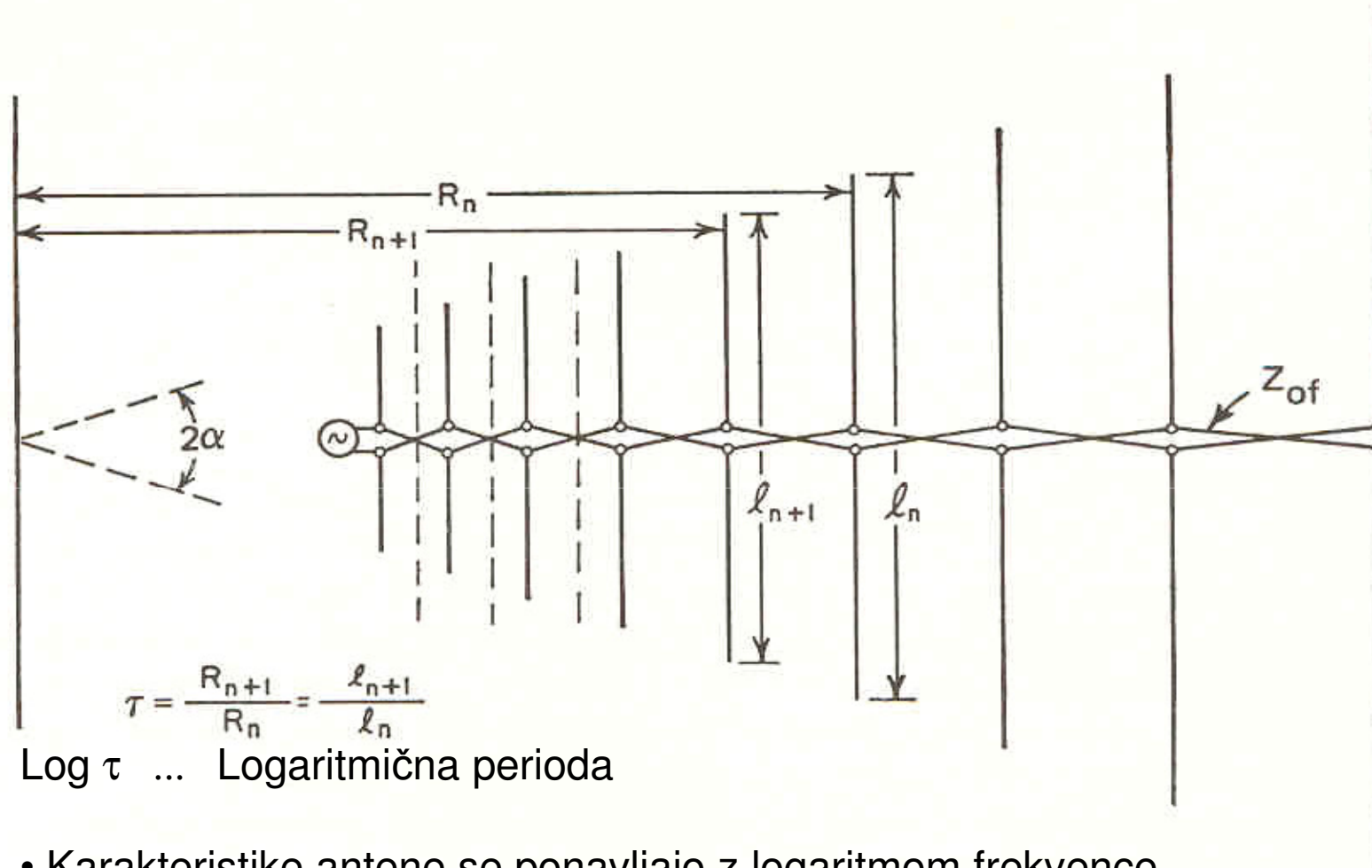


x diagram aktivnega dipola)

Okvirni podatki:

- Polarizacija V/H
- Širina snopa po elevaciji 80°
- Širina snopa po azimutu 60°
- Frekvenčno razmerje 10:1
- Dobitek 5 – 8 dBi

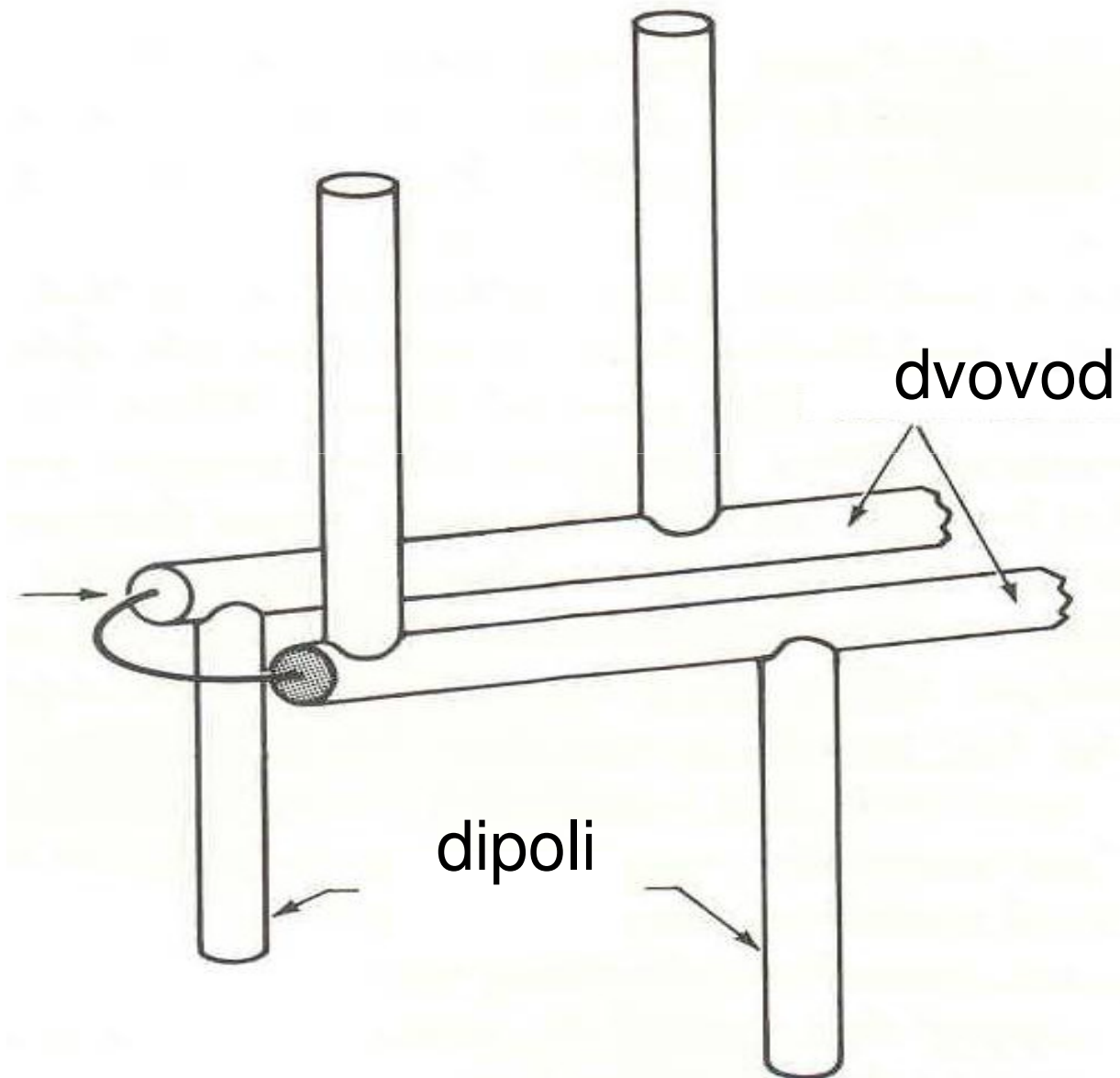
Log-periodična dipolska antena (LPDA)



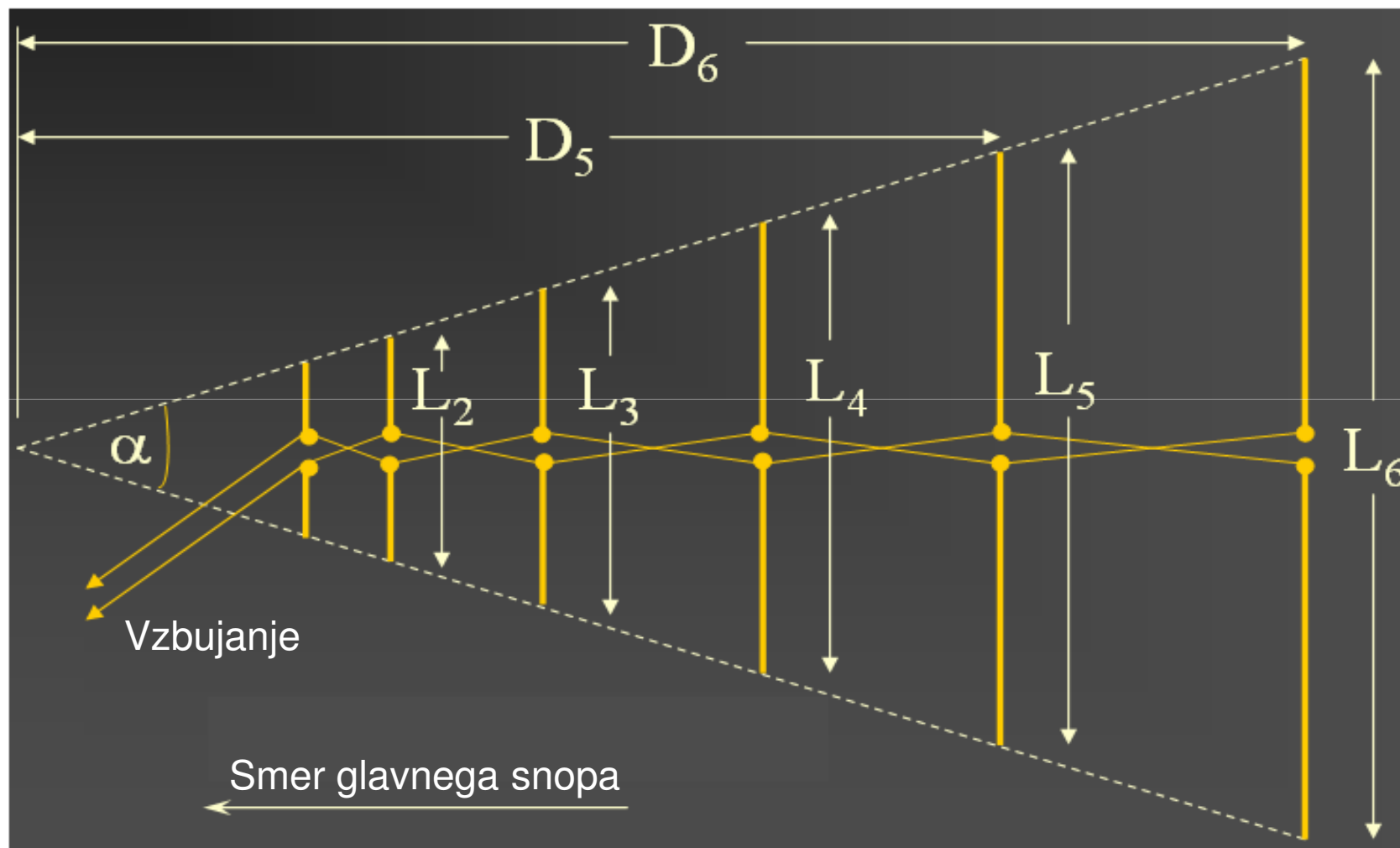
Log τ ... Logaritmična perioda

- Karakteristike antene se ponavljajo z logaritmom frekvence.
- Protifazno vzbujanje sosednjih dipolov zadosti pogoju za sevanje nazaj proti navideznemu vrhu skupine; v tej smeri je sevanje najmanj moteno spričo kratke dolžine dipolov.
- Aktivni dipoli so okoli dipola dolžine $\lambda/2$.

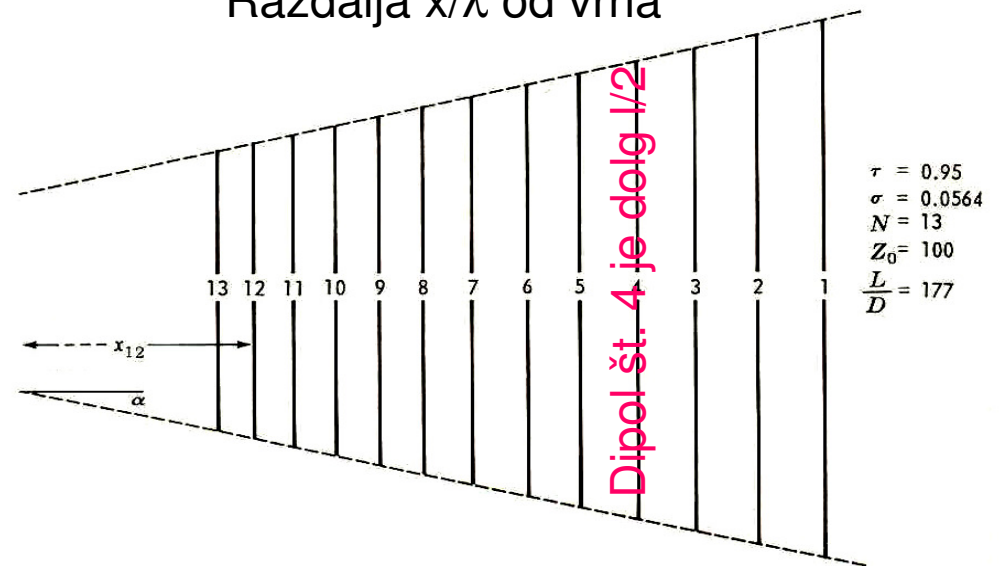
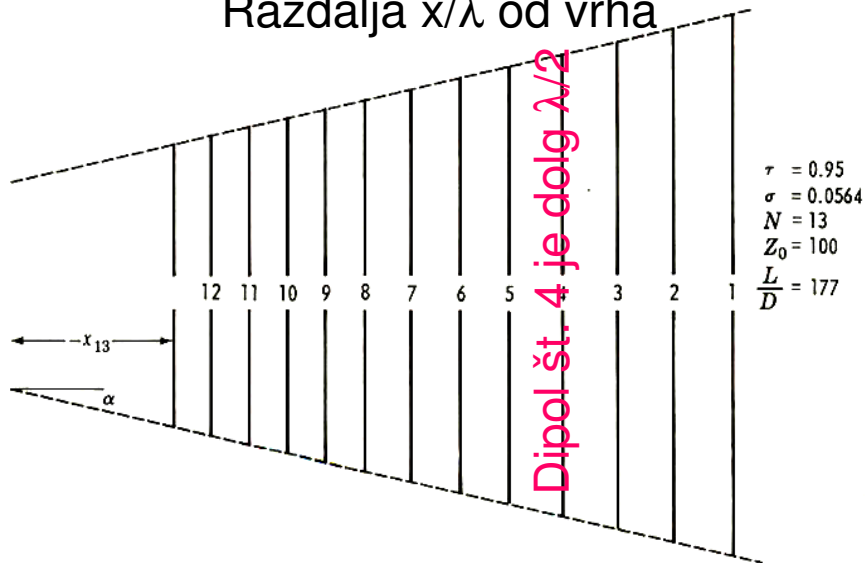
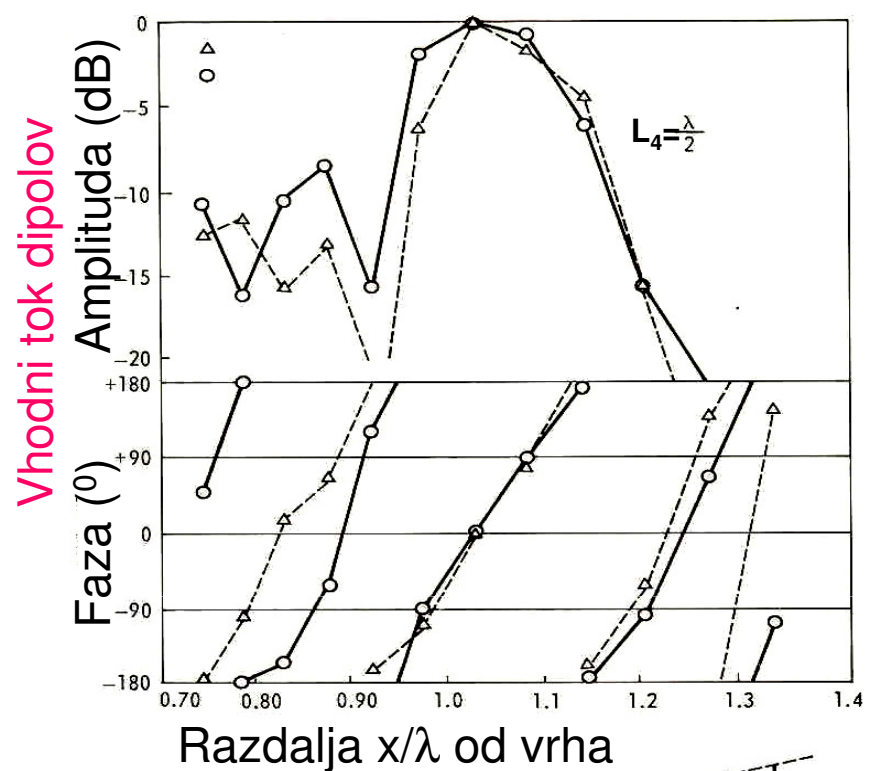
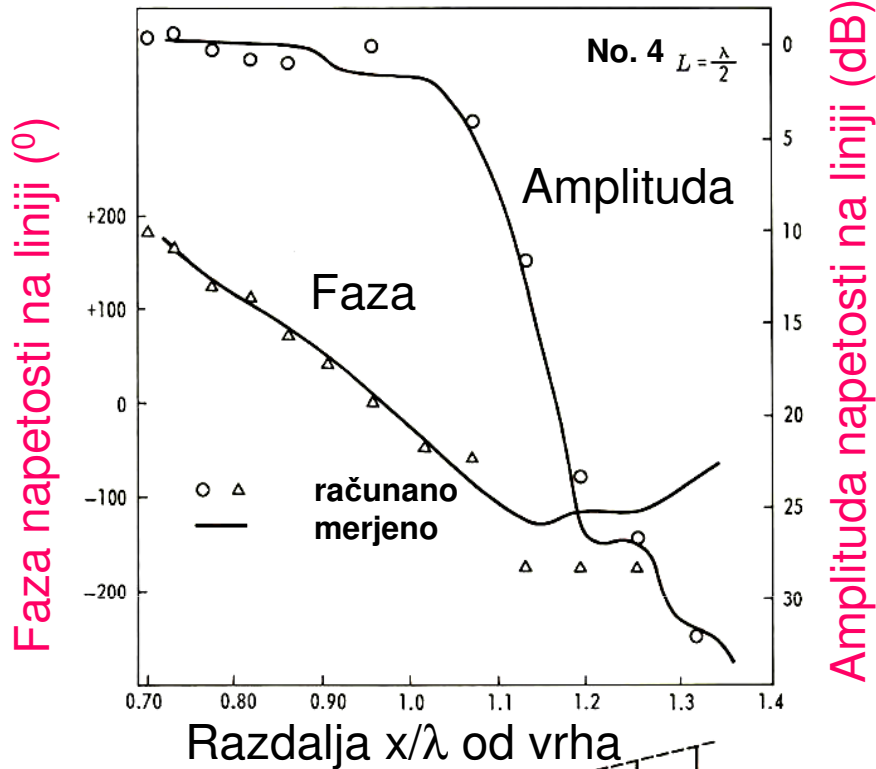
Detajl protifaznega vzbujanja



Vzbujanje LPDA



LPDA – potek napetosti in toka

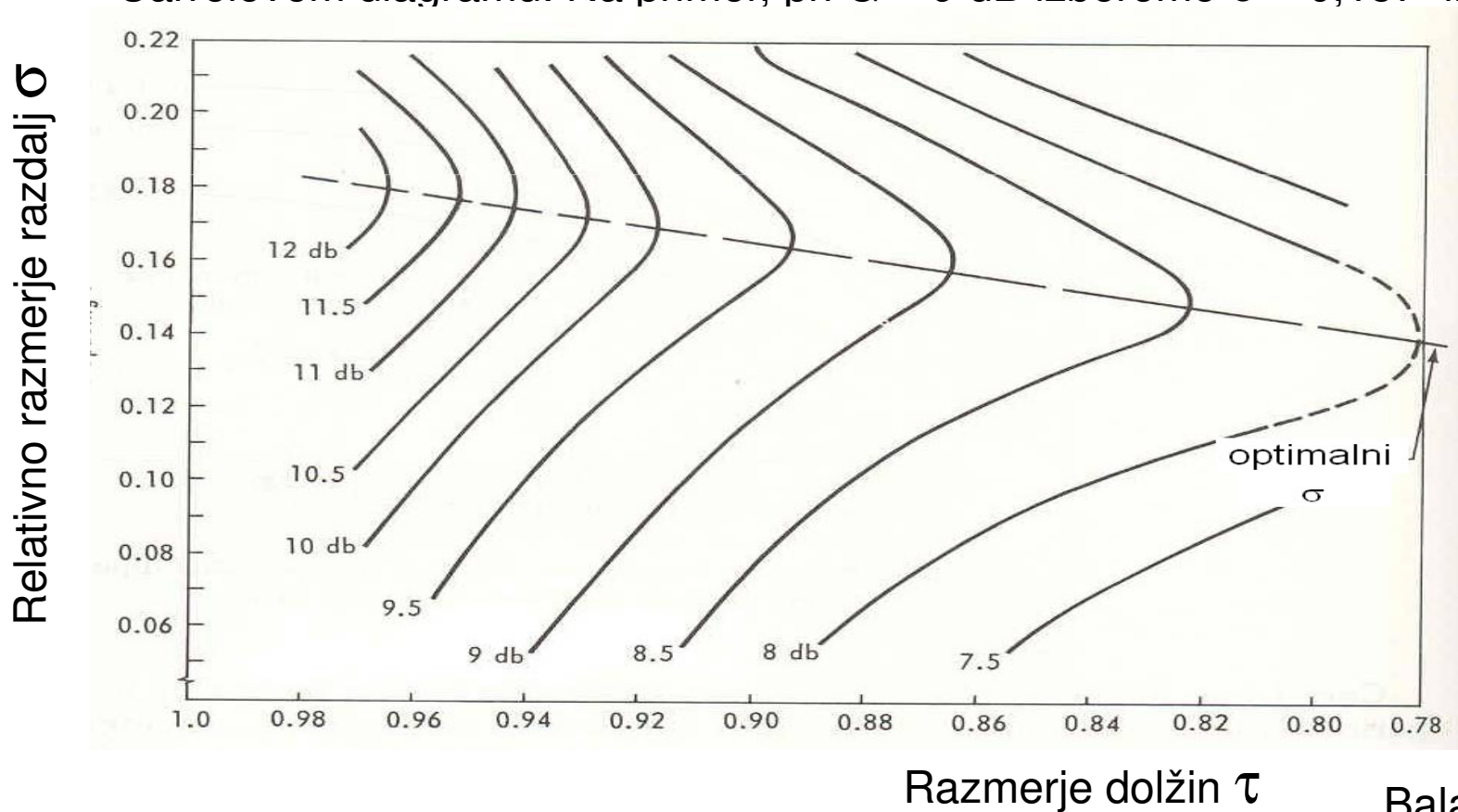


Dimenzioniranje LPDA 1/3

Podatki:

f_{\min} , f_{\max} , G_{dB} (pri vrednostih 8 – 12 dB), vhodna impedanca R_{vh} , premer cevi najdaljšega dipola d_{\max} , premer cevi d napajalnega dvovoda

1. Izbira σ in τ . Pri danem G_{dB} določimo optimalna parametra τ in σ po Carrelovem diagramu. Na primer, pri $G = 9$ dB izberemo $\sigma = 0,157$ in $\tau = 0,865$.



Dimenzioniranje LPDA 2/3

2. Vršni kot antene 2α pri vrednostih τ in σ

$$2\alpha = 2 \arctg ((1 - \tau)/4\sigma) = 24,26^\circ$$

3. Razširjeni frekvenčni pas B pri $f_{\min} = 54$ in $f_{\max} = 216$ MHz

$$B = (f_{\max}/f_{\min})(1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \operatorname{ctg} \alpha) = 7,01 \quad \text{pri } f_{\max}/f_{\min} = 4$$

4. Dolžina antene L pri $\lambda_{\max} = 5,556$ m

$$L = (\lambda_{\max}/4)(1 - 1/B) \operatorname{ctg} \alpha = 5,541 \text{ m}$$

5. Število dipolov N

$$N = 1 - \ln B / \ln \tau = 14,43 \quad (15)$$

6. Dolžina najdaljšega dipola l_{\max}

$$l_{\max} = \lambda_{\max}/2 = 2,778 \text{ m}$$

7. Karakteristična impedanca dipolov Z_d

$$Z_d = 120 (\ln(l_{\max}/d_{\max}) - 2,25) = 327,88 \text{ ohmov}$$

Dimenzioniranje LPDA 3/3

8. Razmerje Z_d/R_{vh}

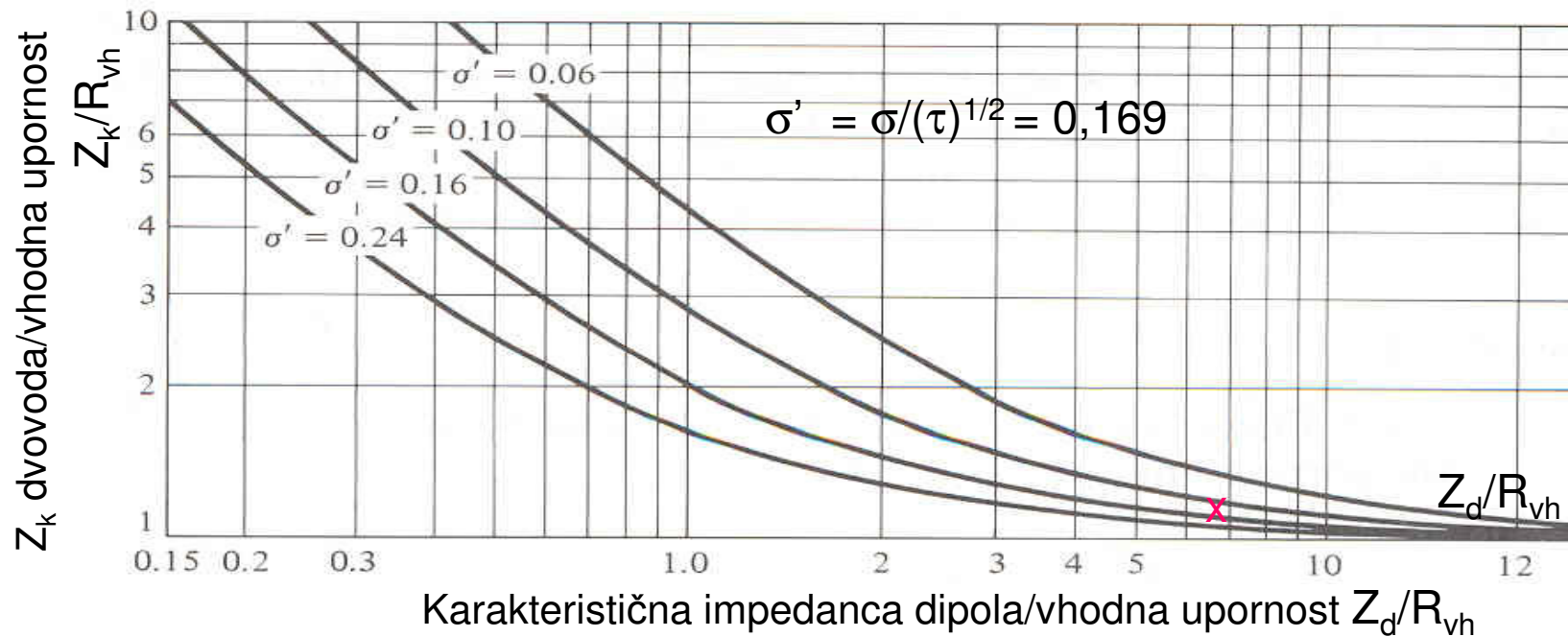
$$Z_d/R_{vh} = 6,558$$

9. Karakteristična impedanca napajalnega dvovoda Z_k

Iz slike dobimo $Z_k = 1,2 R_{vh} = 60$ ohmov

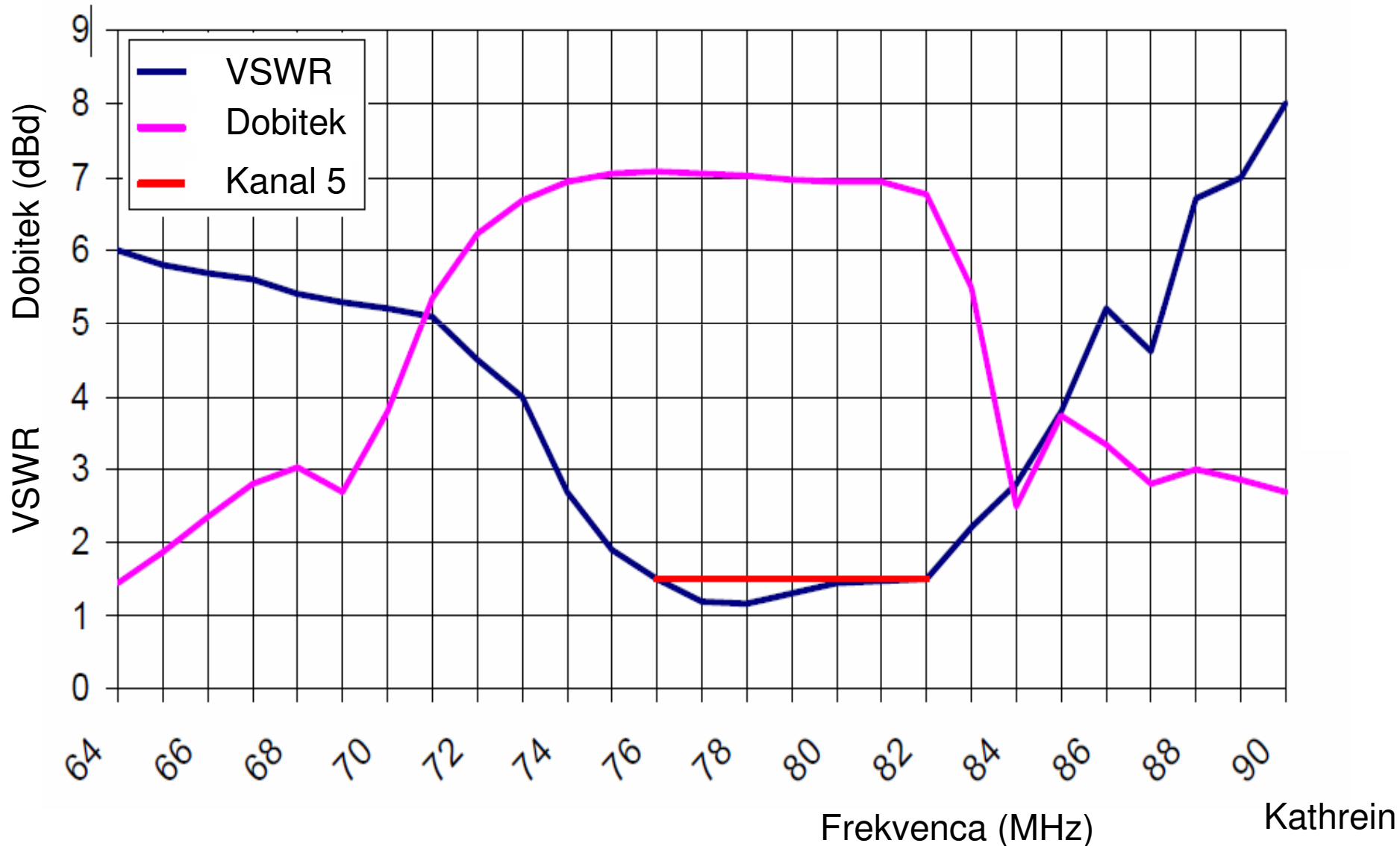
10. Osnova razdalja s med cevema napajalnega dvovoda premera d

$$s = d \operatorname{ch}(Z_k/120)$$



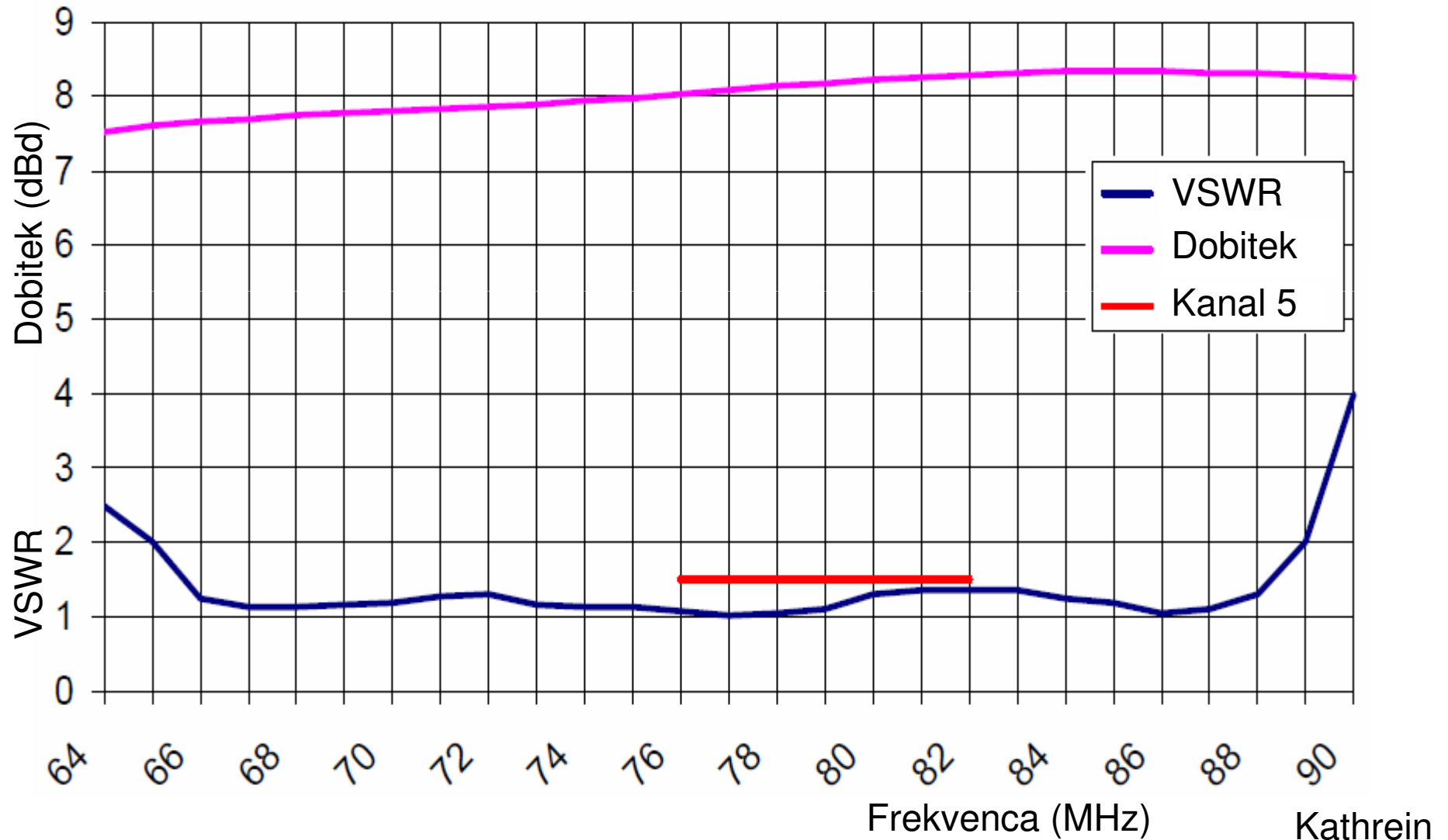
Primerjava Yagi-Uda in LPDA, 1/2

.5- elementna Yagi-Uda za kanal 5

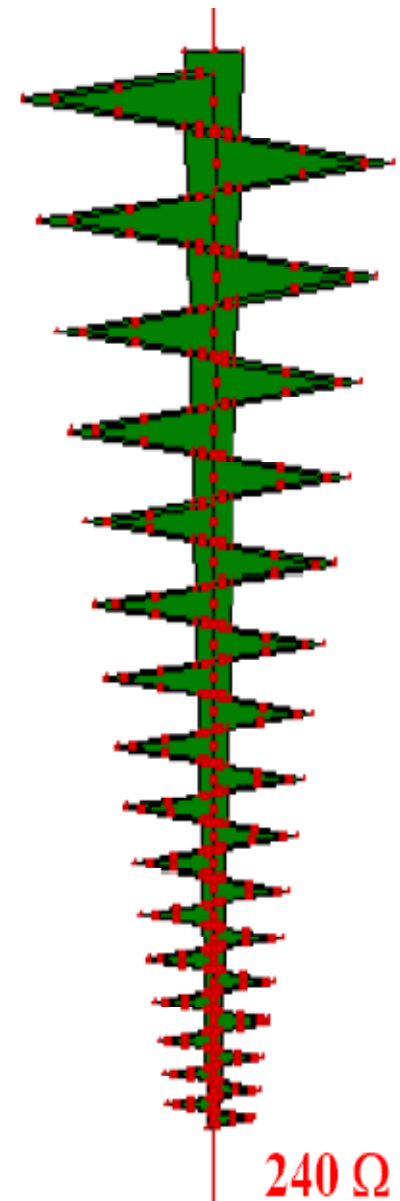
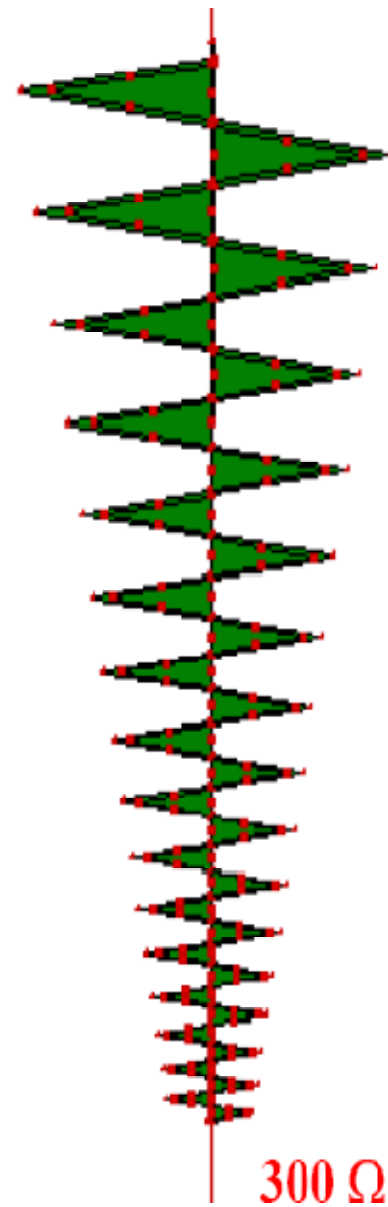
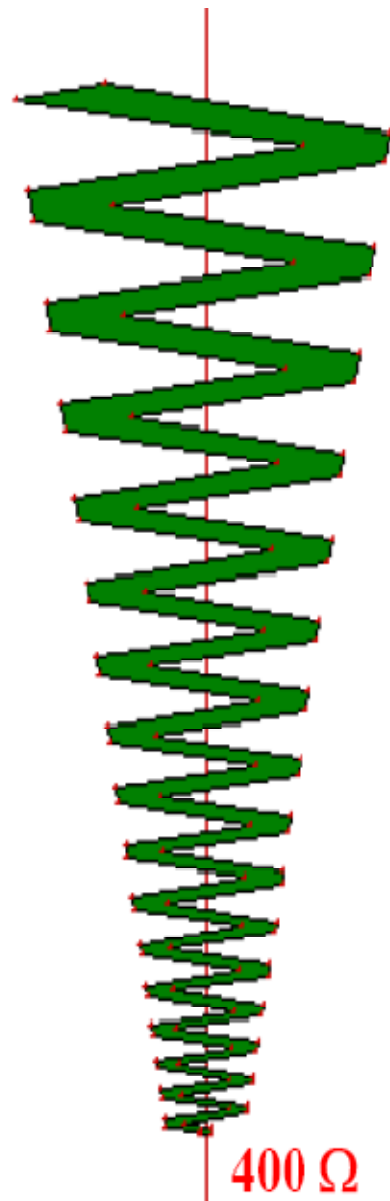
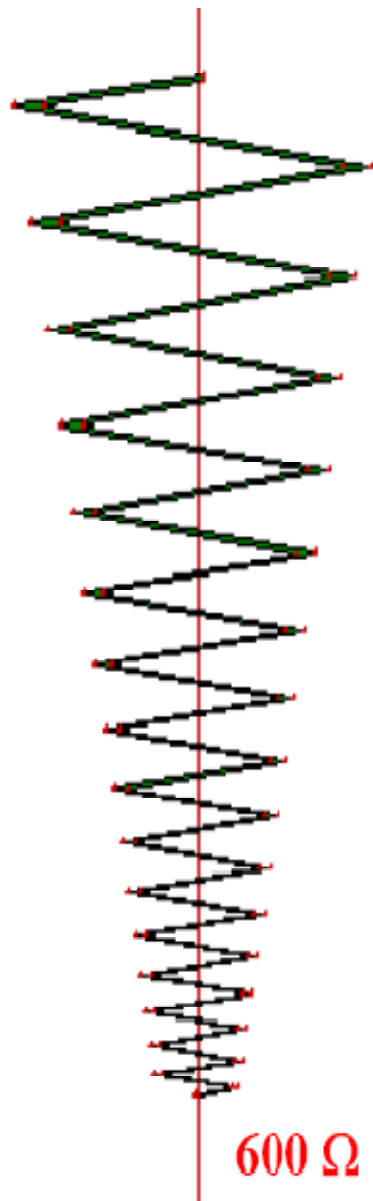


Primerjava Yagi-Uda in LPDA, 2/2

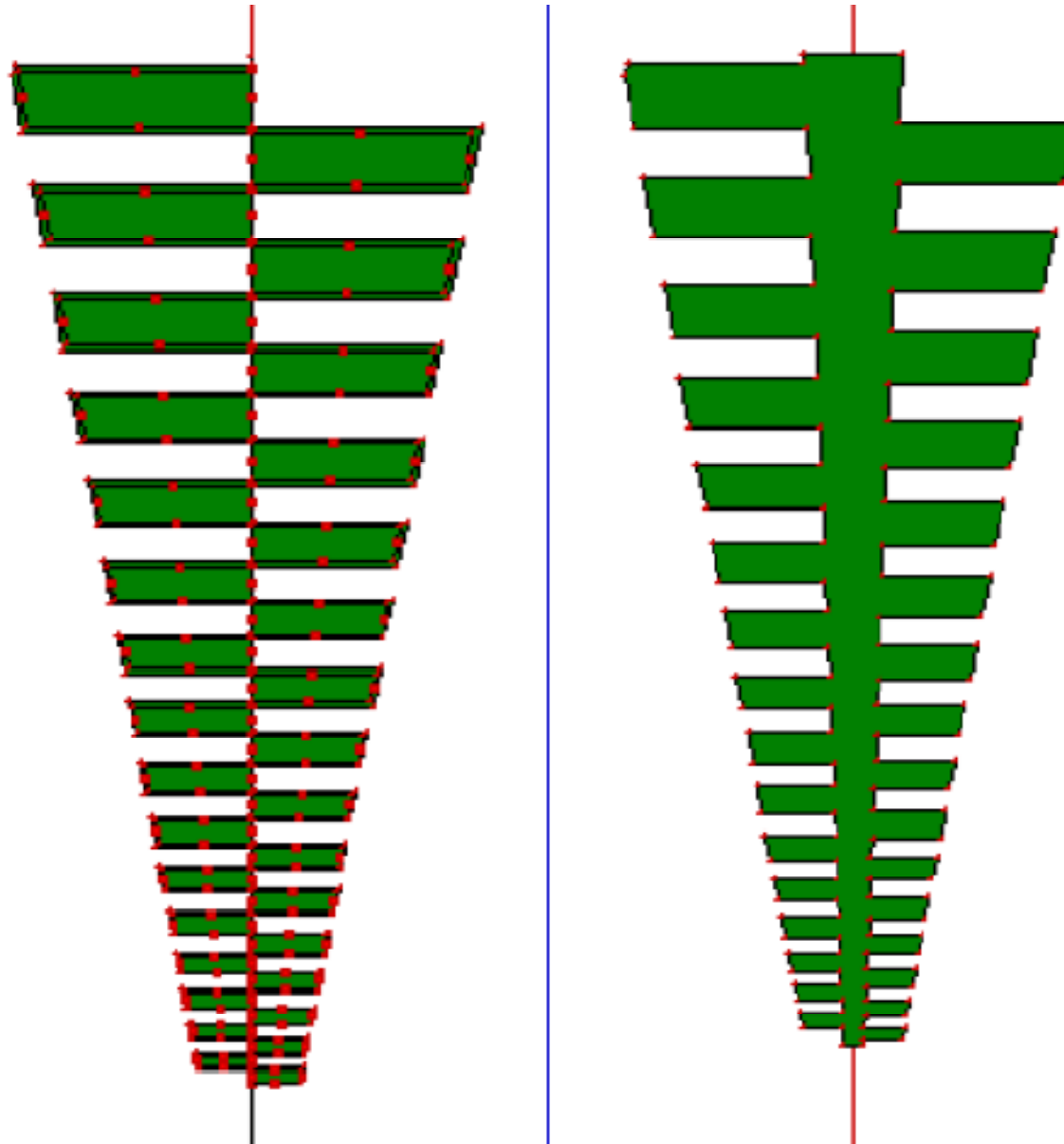
- 6- elementna log-periodična antena za kanale 4 - 6



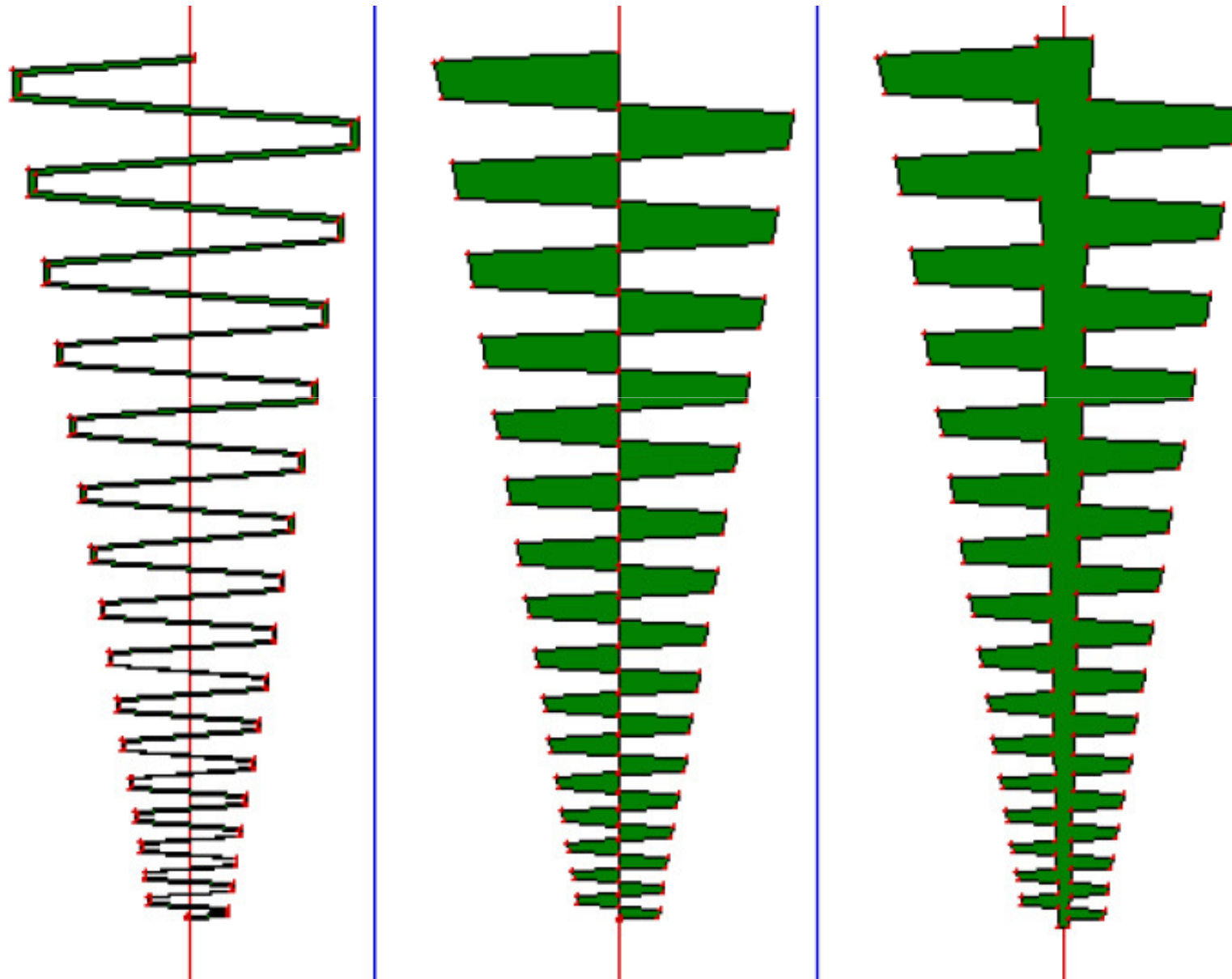
LPDA – trikotna oblika dipolov 1/3



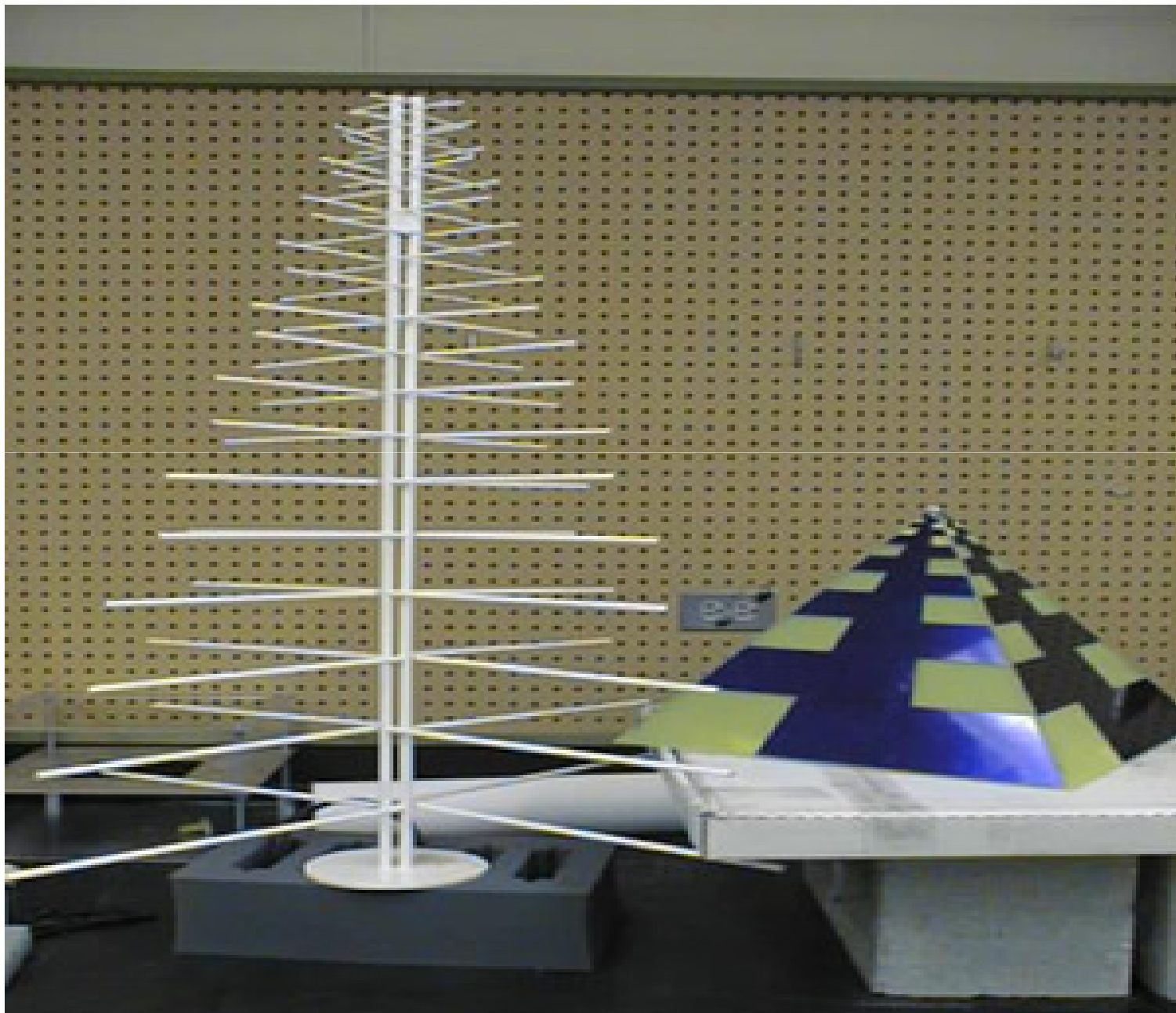
LPDA–pravokotna oblika dipolov 2/3



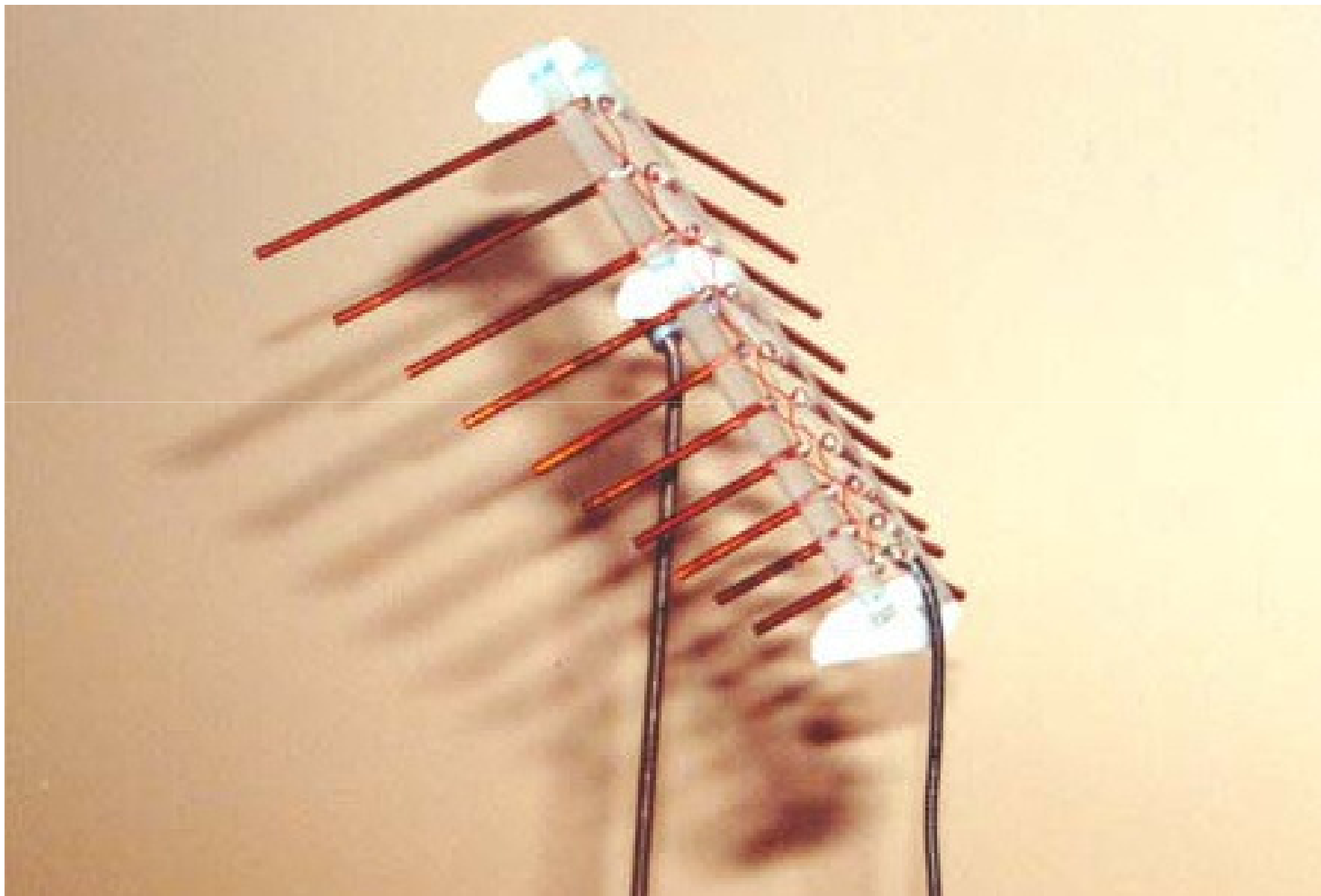
LPDA – trapezna oblika dipolov 3/3



Križna log-per in skupina anten

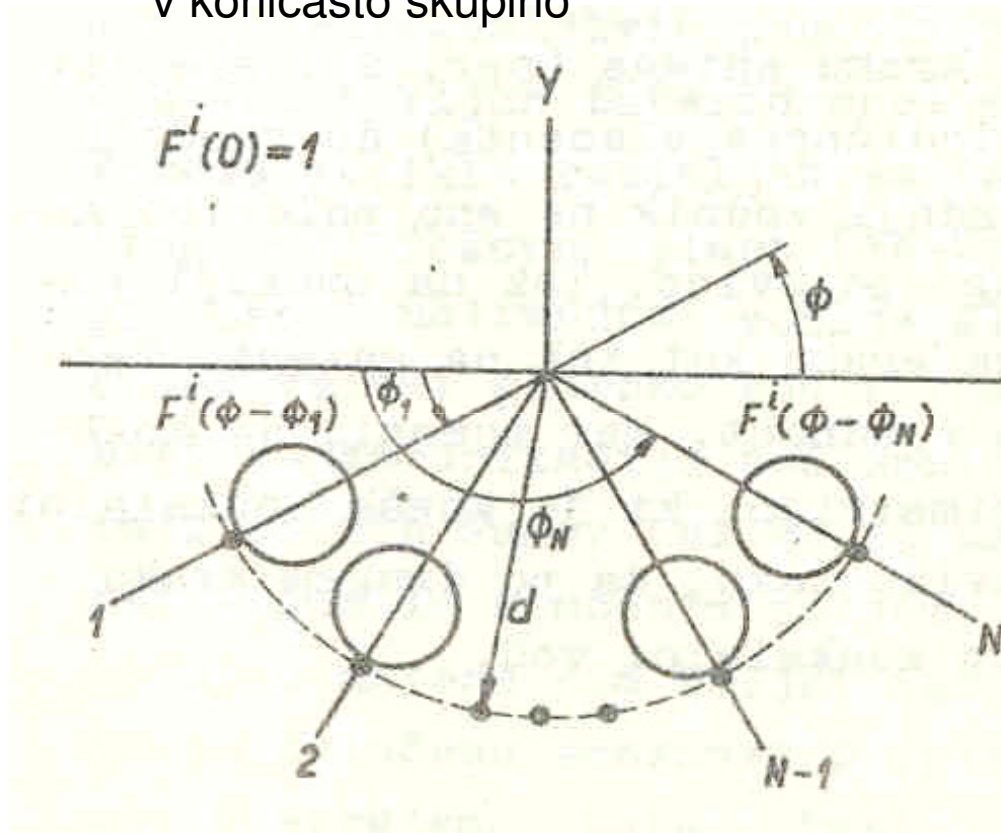


LPDA z V dipoli

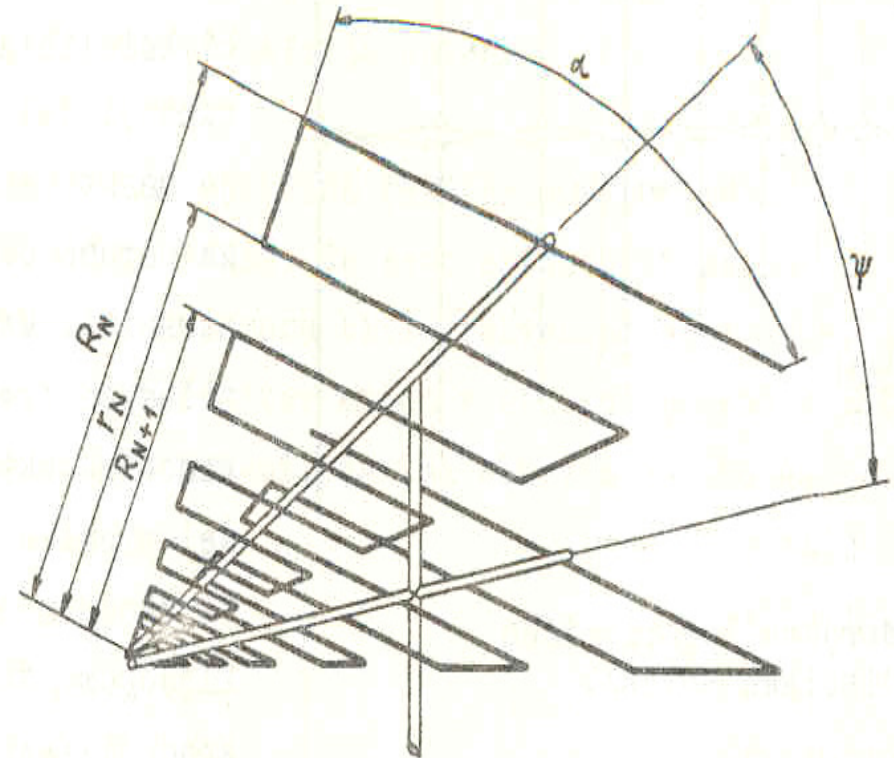


Skupine log-periodičnih anten

Razvrstitev log-periodičnih anten
v koničasto skupino



Koničasta skupina dveh log-per.
konturnih žičnih anten



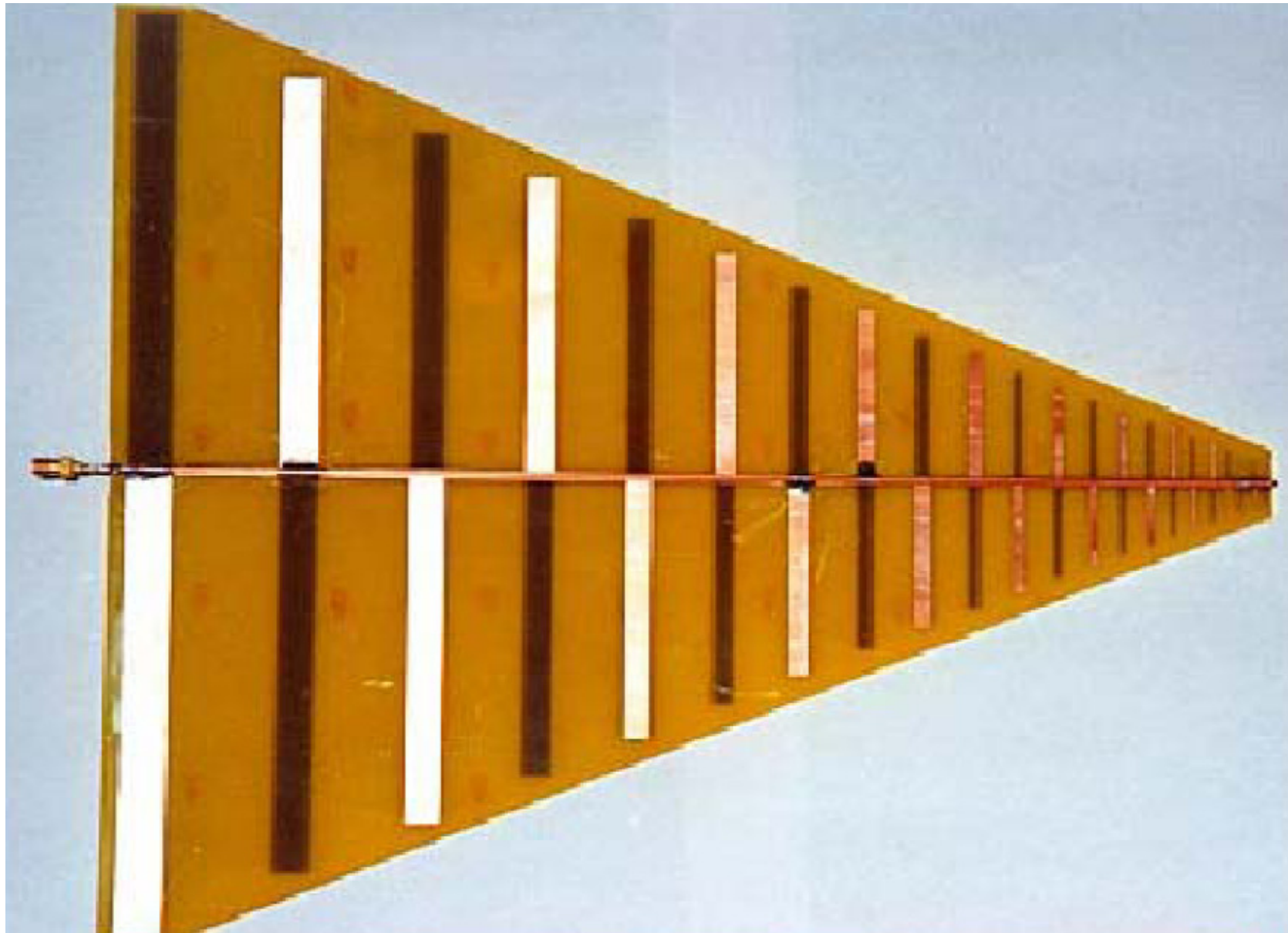
Log-periodične skupine

Dvojna
polarizacija

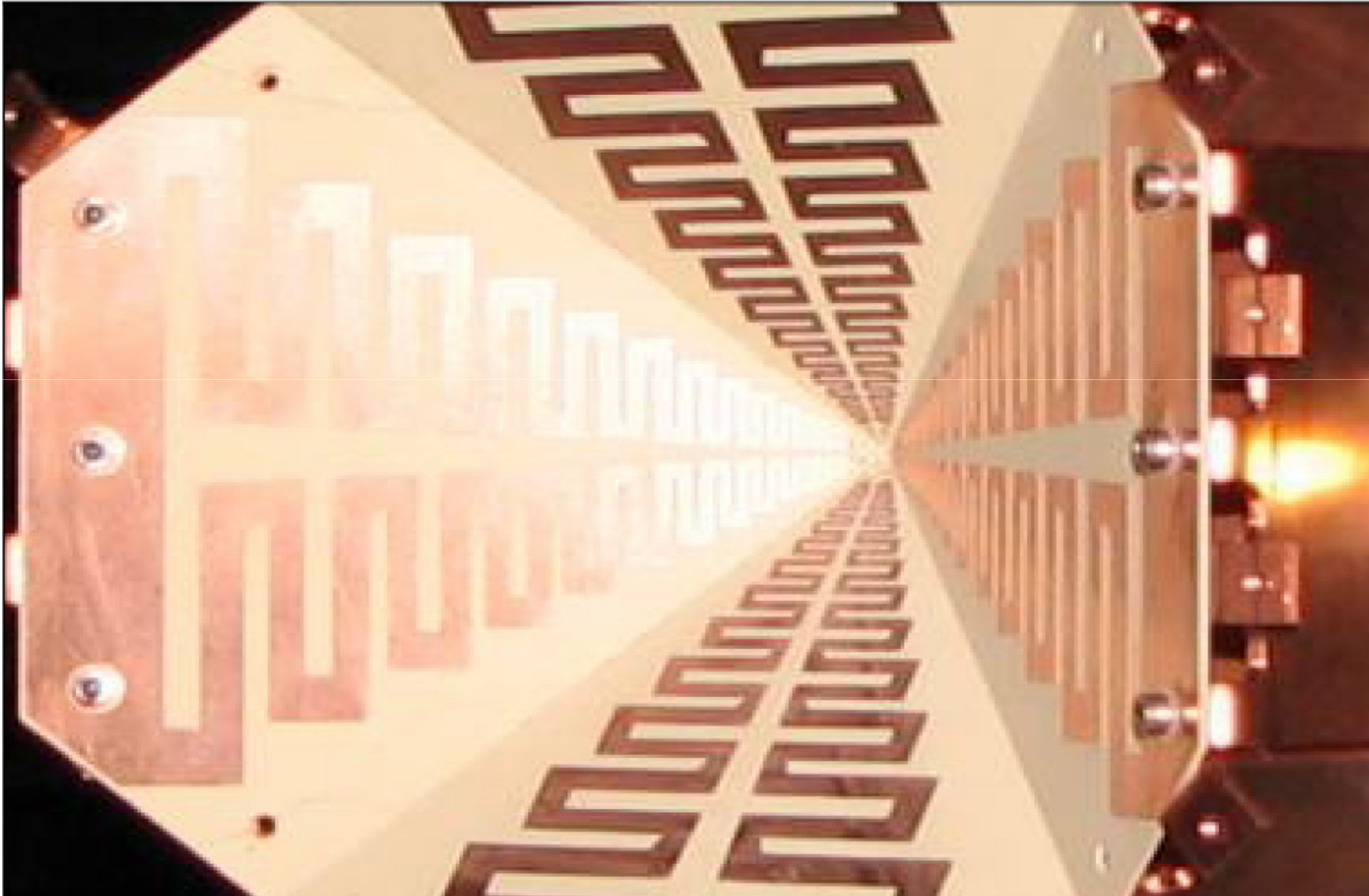
0,5 – 11,2 GHz



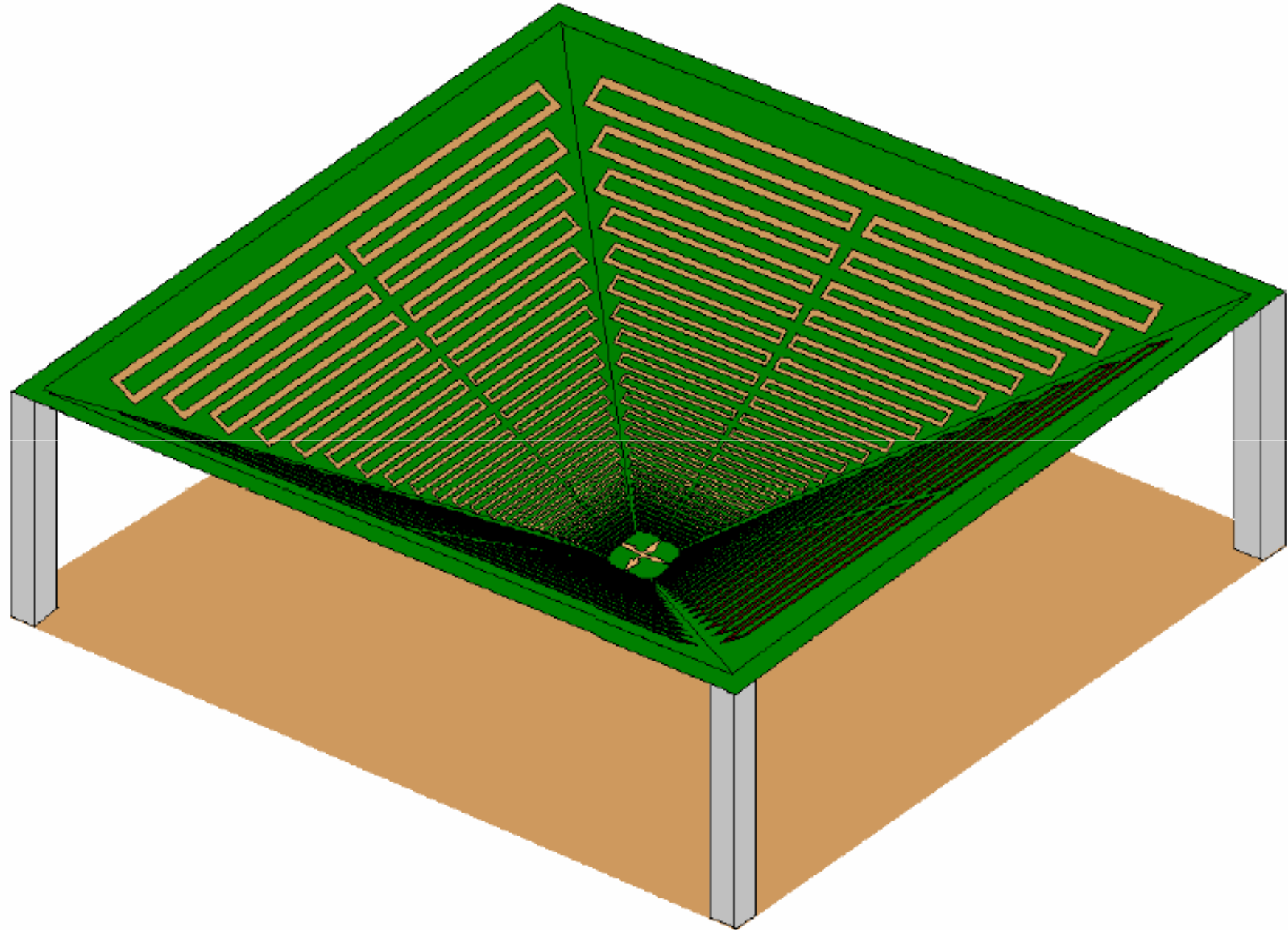
LPDA na laminatu



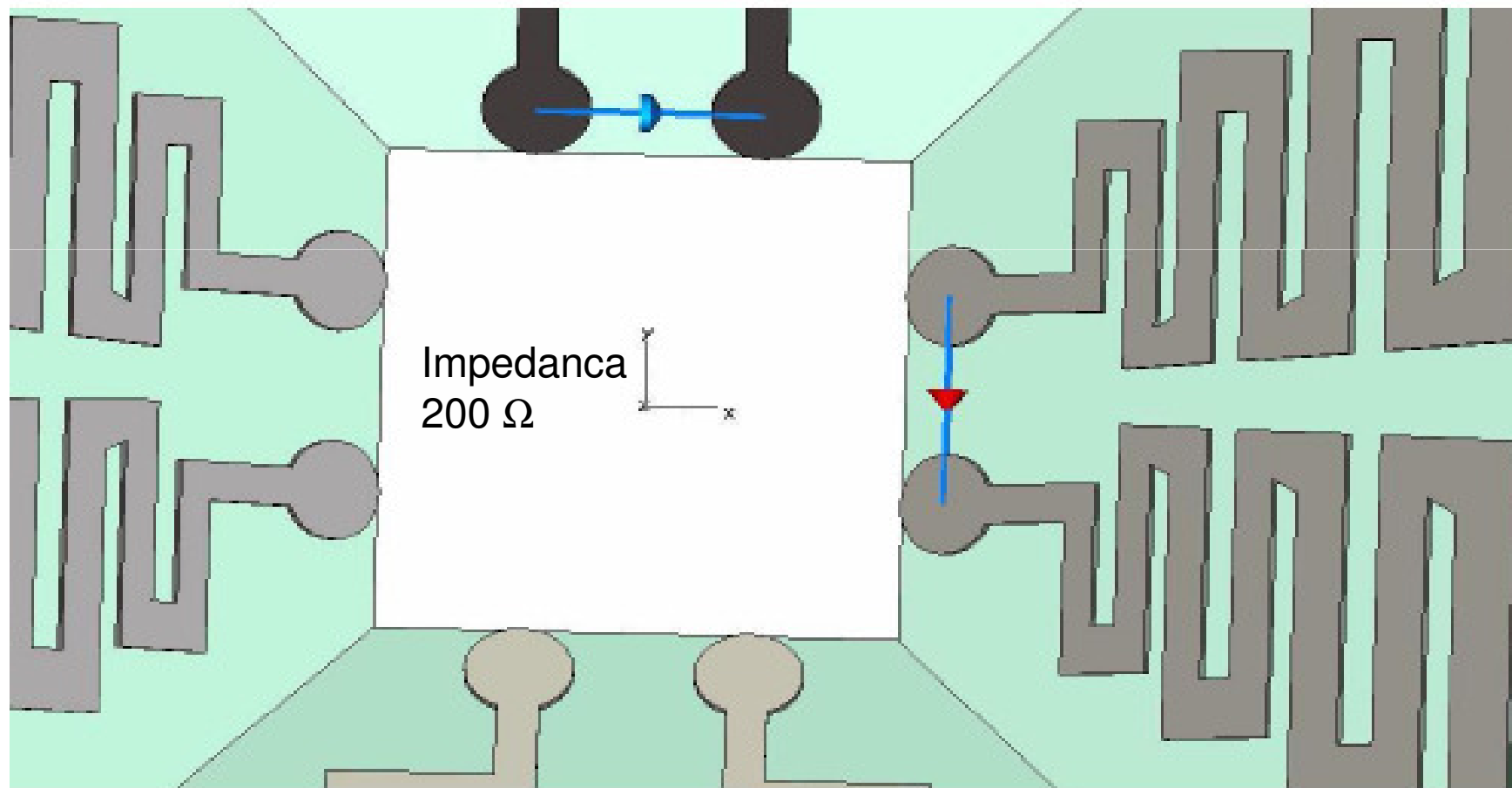
LPDA skupina – zganjeni dipoli



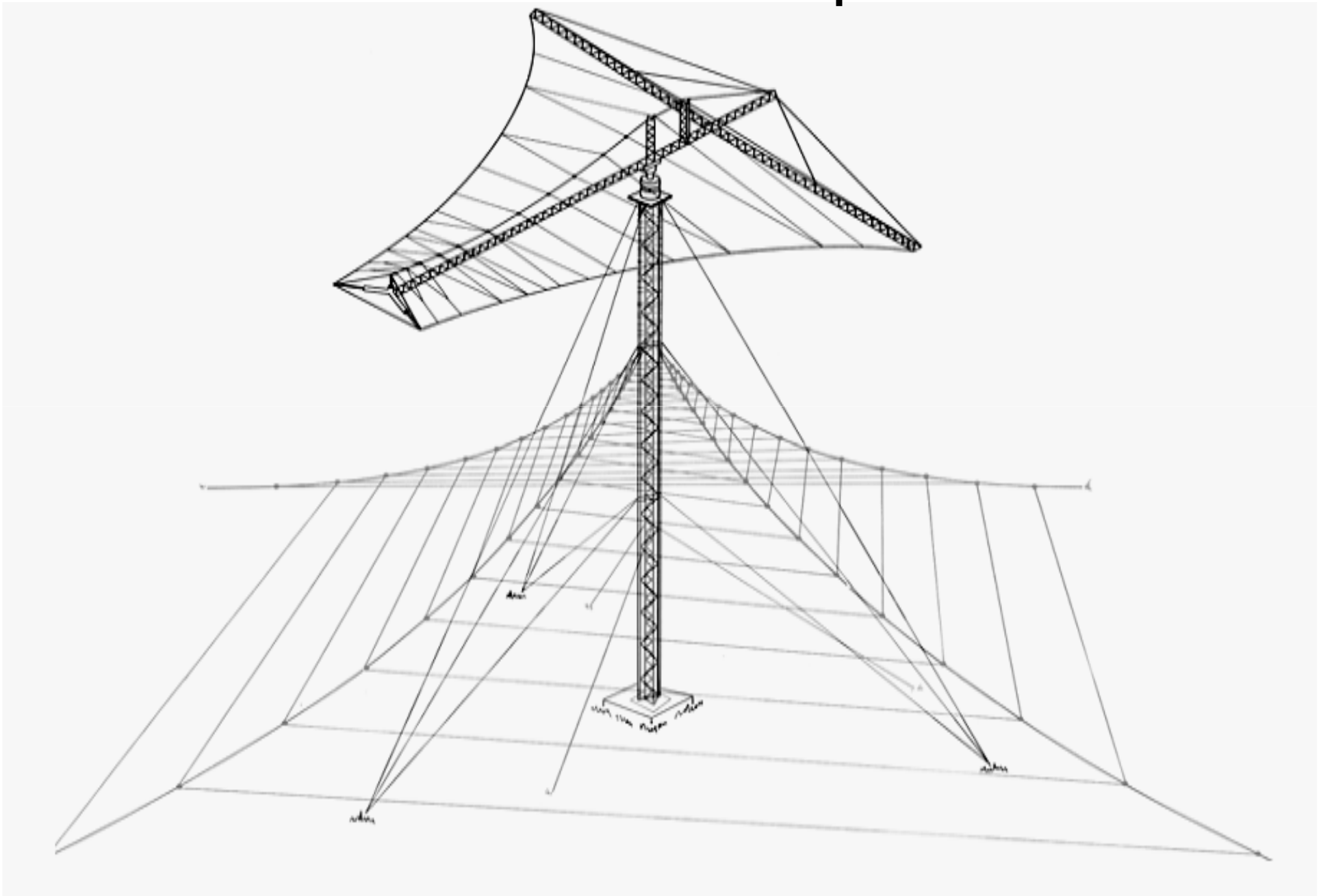
LPDA skupina – zganjeni dipoli



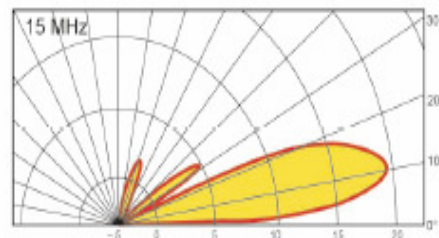
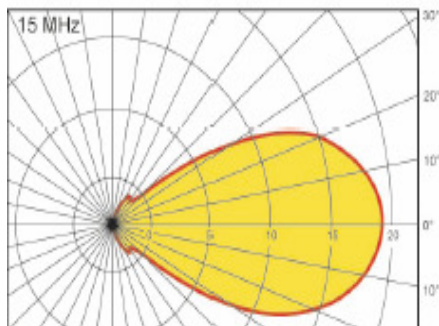
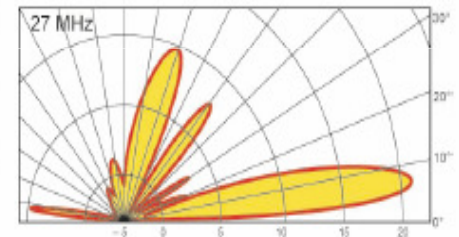
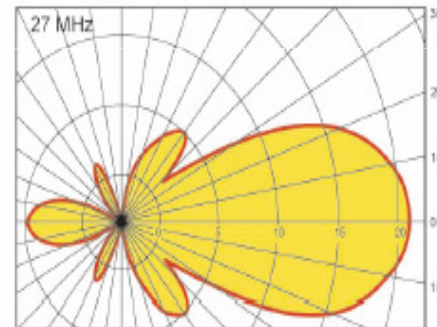
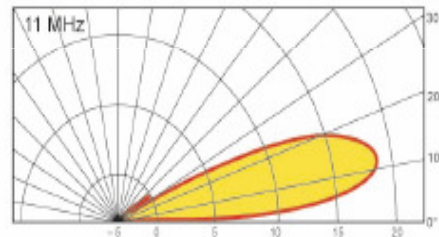
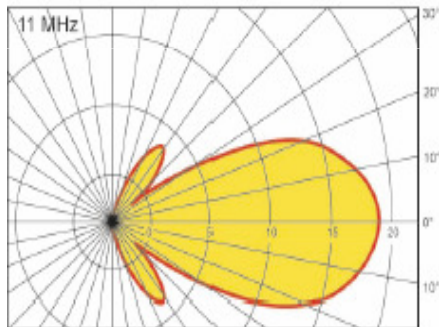
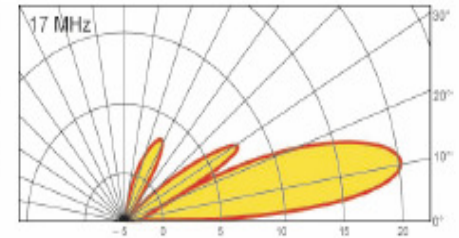
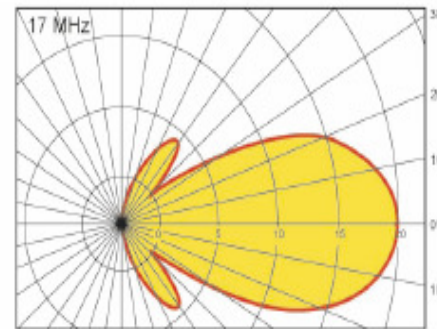
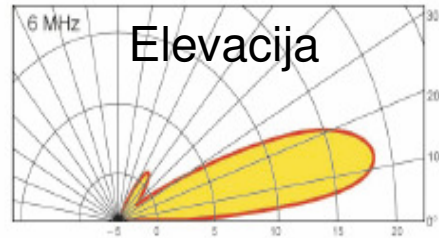
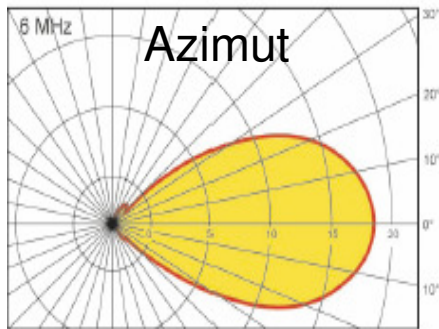
Proključki skupine



Kratkovalovna LPDA in spiralna antena

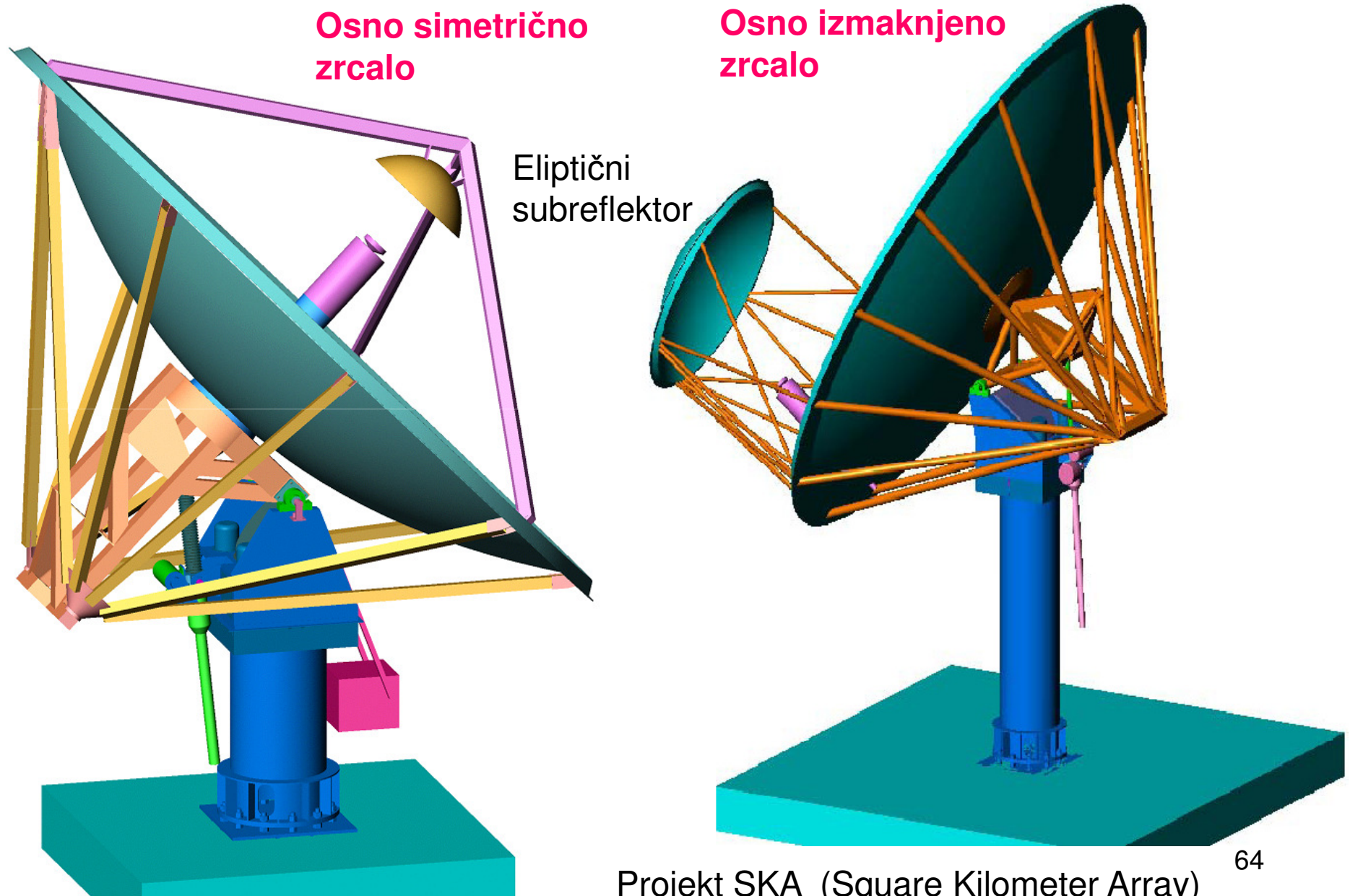


Smerni diagrami po azimutu in elevaciji



Odboj od tal (antena in zrcalna slika) usmerja diagram navzgor.

Log-periodična antena kot primarni vir



SKA – square kilometer array



Simbol rasti

