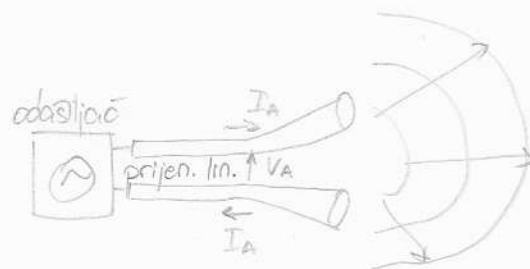


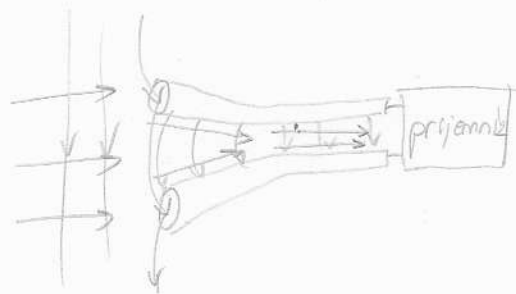
① Definicija antene

Antena je sredstvo (ili naprava) za odašiljanje i primanje radijskih valova.

Odašiljačka antena pretvara jednodimenzionalni EM val iz prijenosne linije u trodimenzionalni EM val u slobodnom prostoru



Prijemna antena pretvara 3D EM val iz slobodnog prostora u 1D val u prijenosnoj liniji



- za niže frekvencije ($< 1\text{GHz}$) koristimo linearne (ravni vodič, žičane antene), a za više frekv. ($> 1\text{GHz}$) površinske antene.
- frekv. opseg antene definiran je širinom frekv. pojasa unutar kojeg se parametri antene nerazumno mijenjaju
 - rezonantne (uskopojasne)
 - širokopojasne
- razlikujemo:
 - pasivne (recipročne) - jednaka svojstva pri odašiljanju i primanju
 - aktivne (nerecipročne) - integrirane s aktivnim komponentama i sklopovima

② Mehanizam zračenja EM energije

- Opisuje se Maxwellovim jednačbama

- Zračenje nastaje ubrzanjem naboja koji proizvodi dodatna električna i magnetska polja koja se rasprostiru po dalje od naboja

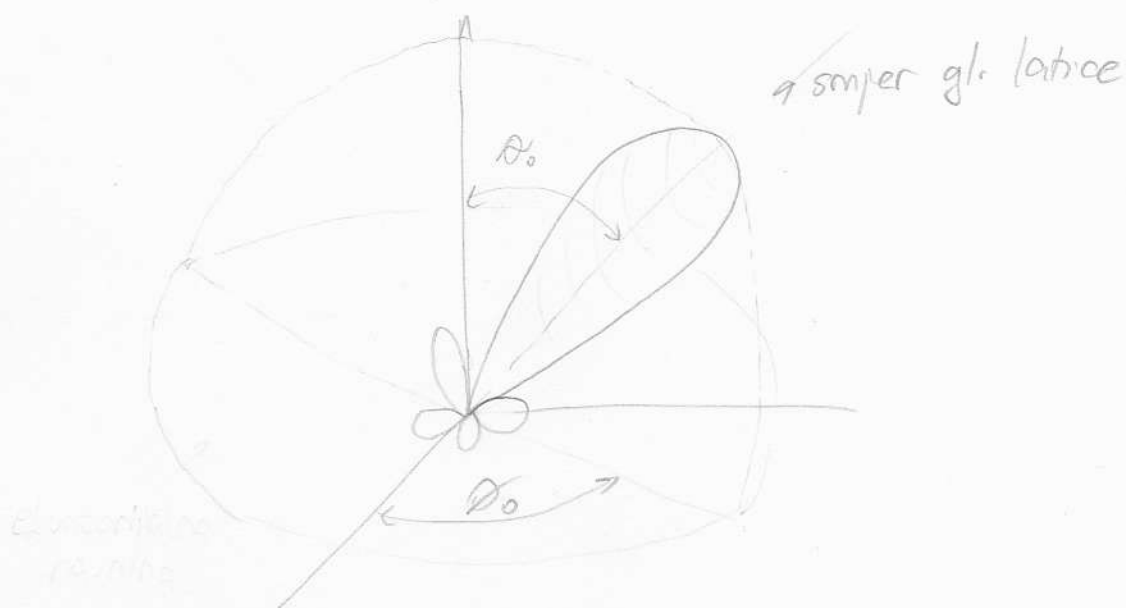
- Za generiranje valova potrebno je rastaviti vrhove dipola da bi on zračio, te se polje u daljini zbraja

3. Definicija polarizacije antene

- Polarizacija vala je krivulja koja opisuje vrh vektora električnog polja u fronti ravnog vala.
- Polarizacija antene odgovara polarizaciji vala koji antena zrači
- Razlikujemo:
 - linearnu
 - lijevu i desnu kružnu
 - lijevu i desnu eliptičnu
- Polarizaciju možemo definirati pomoću:
 - aksijalnog odnosa (omjer velike i male osi elipse u eliptične polarizacije)
 - smjer vrtnje el. polja (lijeva ili desna)
 - orijentacija velike osi elipse u prostoru
- Polarizacija se poglavito definira u smjeru maksimalnog zračenja antene

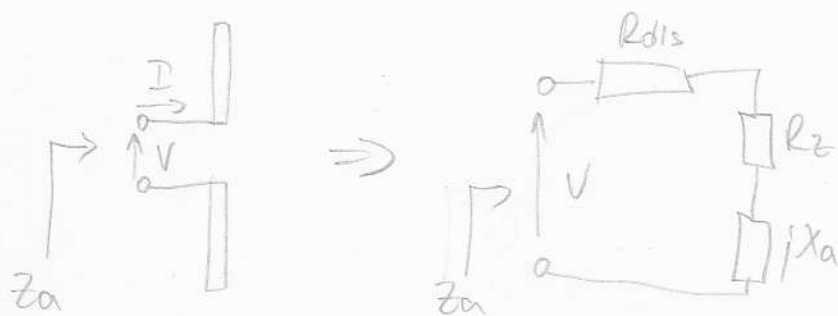
④ Dijagram zračenja i njegovi bitni parametri

- Dijagram zračenja je grafički prikaz razdobe gustode snage
- prikazuje se u polarnom koordinatnom sustavu i jednak je za prijemnu i odašiljačku antenu
- obično se definiraju 2 dijagrama zračenja u ravnini električnog polja (horizontalna ravnina) i magnetskog polja (vertikalna ravnina)
- kut u horizontalnoj ravnini zovemo azimutnim kutem i/ili kut azimuta, a u vertikalnoj kut elevacije
- antena redovito ima 1 glavni snop (glavna latica) i veći broj znatno manjih sekundarnih latica



⑤ Definicija impedancije antene

- Ako se antena nalazi posve sama u slobodnom prostoru, onda impedanciju na priključnicama antene nazivamo vlastita impedancija antene
- omjer razora napona i struje na priključnicama jednak je impedanciji
- snagu koju antena izrađi u prostor, odasiljač dovodi pa ga kao gubitak snage kojemu je razmjerni otpor zračenja R_z
- slično se i gubici u vodičima i dielektričnim dielektima antene odnose na otporom R_{dis}



$$Z_a = R_z + R_{dis} + jX_a$$

6. Definicija dobitka i usmjerenosti antene, te njihova povezanost

USMJERENOST je omjer gustoće snage zračenja u smjeru maksimalnog zračenja i srednje gustoće snage na istoj udaljenosti od antene

$$D = \frac{P_{r,max}}{P_{r,sr}} = \frac{4\pi r^2 P_{r,max}}{W_z}$$

$$P_{r,sr} = \frac{W_z}{4\pi r^2}$$

W_z - izračena snaga

Def: Usmjerenost je broj koji nam kazuje koliko puta W_z izotropnog radijatora mora biti veća od W_z promatrane antene da bi na jednakoj udaljenosti gustoća snage iz izotropnog radijatora bila jednaka gustoći snage koju usmjereni antena zrači u smjeru max. zračenja

- D za izotropni radijator je 1

Def:

DOBITAK je broj koji nam kazuje koliko puta mora biti veća izračena snaga izotropnog radijatora u odnosu na privedenu snagu promatrane antene, da bi se na jednakoj udaljenosti dobila ista gustoća snage koju usmjereni antena zrači u smjeru maksimalnog zračenja.

Veza između G i D:

$$G = k_2 D$$

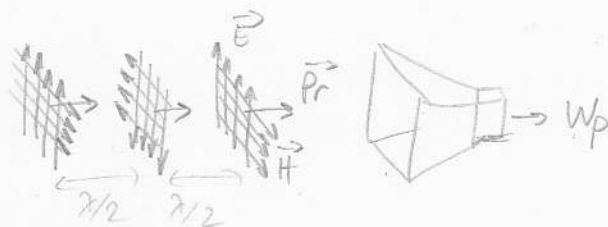
k_2 - faktor korisćeg antene

7. Definicija efektivne površine i dužine antene

Efektivna površina antene A_{ef} definira se kao omjer između snage apsorbirane na prilagođenom teretu W_p priključenom na antenu i gustode snage $P_r = E_{eff} H_{eff}$ upadnog EM vala

$$A_{ef} = \frac{W_p}{P_r}$$

- pretpostavke:
- teret prilagođen za max prijem snage
 - antena nema gubitke
 - ima jednaku polarizaciju kao i upadni val
 - max gl. laticice usmjeren prema izvoru EM vala



Za prijemnu antenu, efektivna dužina l_{ef} jednaka je omjeru napona V_a na otvorenim priključnicama antene i jakosti el. polja E na mjestu antene

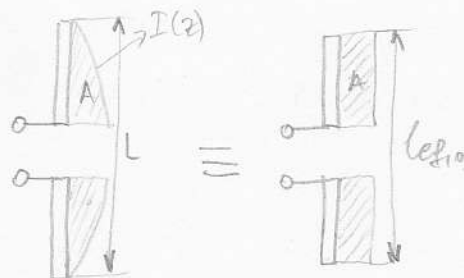
$$l_{ef} = \frac{V_a}{E}$$

- pretpostavke:
- ista polarizacija kao i upadni val
 - max glavne laticice usmjeren prema izvoru zračenja

Za odašiljačku antenu, efektivna dužina $l_{ef,0}$ jednaka je dužini nadomjesne linearne antene koja po cijeloj svojoj dužini ima konstantnu razdlobu struje čija je jakost jednaka struji $I_0 = I(z=0)$ na priključnicama izvorne antene.

L-stvarna dužina antene
z-koordinata u smjeru
dužine antene

$$l_{ef,0} = \frac{1}{I_0} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} I(z) dz$$



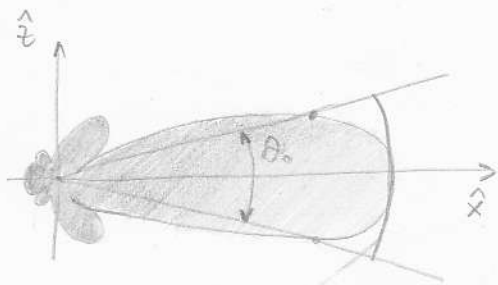
⑧ Približna veza između usmjerenosti i kutova usmjerenosti

- za antenu s jednom uskom glavnom laticom
- približna vrijednost

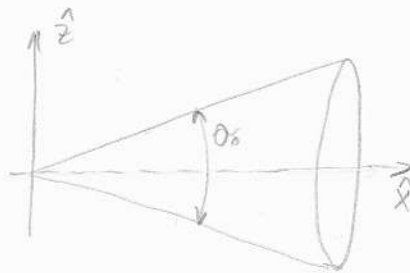
$$D = \frac{4\pi}{\Omega_s \Omega_0}$$

ili

$$D = \frac{41253}{\Omega_s^\circ \cdot \Omega_0^\circ}$$



cjelokupna snaga
 prolazi kroz konus \Omega_s



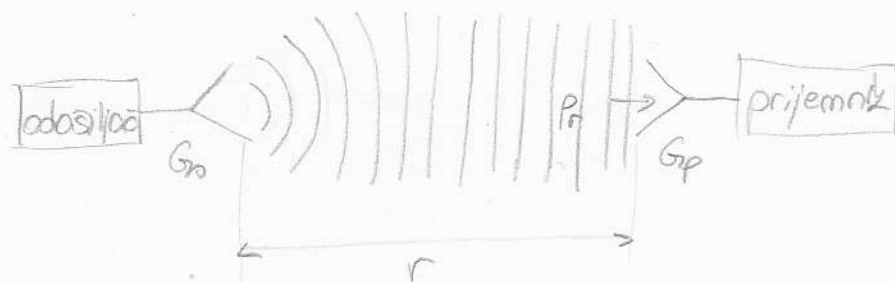
9. Veza između usmjerenosti i efektivne površine

- veza:

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

- posve općenita relacija i vrijedi za sve vrste antena uključujući antenske nizove
- za površinske ili otvor-antene, efektivna površina je uvijek manja od geometrijske ili fizičke površine otvora

10. Friisova prijenosna formula



- pretpostavke:
 - nema prepreka koje bi izazvali refleksije
 - antene gledaju jedna prema drugoj u smjeru maksimalnog zračenja
 - međusobno se nalaze u dalekoj zoni

- gustoća snage na mjestu prijemne antene:

$$P_r = \frac{W_0 G_0}{4\pi r^2} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

- prijemna snaga:

$$W_p = A_{ef,p} \cdot P_r = \frac{G_0 W_0 A_{ef,p}}{4\pi r^2}$$

- Friisova prijemna formula:

$$W_p = G_p G_0 W_0 \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \text{ [W]}$$

- s uključenim gubincima:

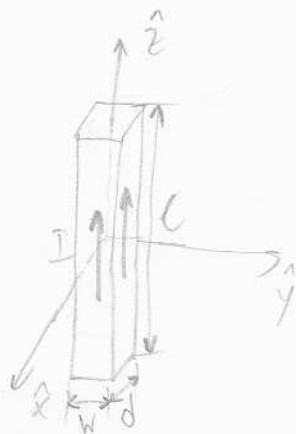
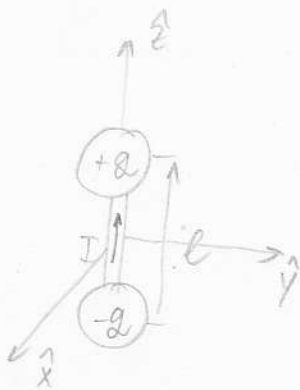
$$W_p = G_p G_0 W_0 \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 (1 - |\Gamma_0|^2) (1 - |\Gamma_p|^2) K_{pd} \text{ [W]}$$

- u dB:

$$W_p \text{ [dBm]} = W_0 \text{ [dBm]} + g_0 \text{ [dB]} + g_p \text{ [dB]} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)$$

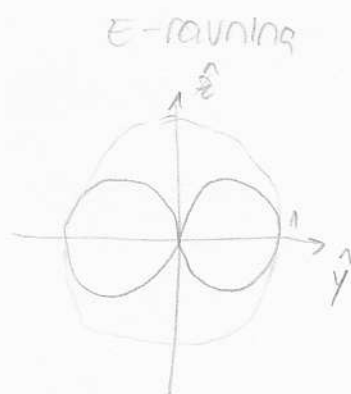
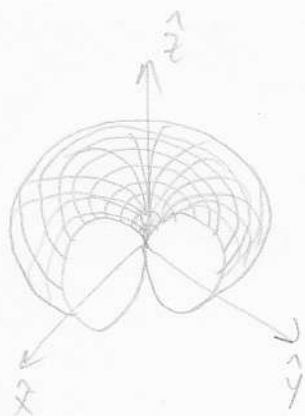
11. Hertzov (elementarni električni) dipol

- najjednostavniji izvor EM zračenja
- sastoji se od 2 rezervoara naboja u kojima pri svakom ubrzavanju i usporavanju naboja dolazi do zračenja EM energije u prostoru
- zanemarljivo male duljine s efektivnom strujom I koja je po cijeloj duljini konstantna



12. Diagram zračenja, otpor zračenja i usmjerenost elementarnog električnog dipola

DIAGRAM ZRAČENJA



OTPOR ZRAČENJA

- realni dio impedancije zračenja

$$R_z = \frac{W_z}{\frac{1}{2}|I|^2} = \frac{\mu}{6\pi}(bc)^2$$

u vakuumu

$$R_z = 80\pi^2 \left(\frac{e}{\lambda}\right)^2$$

USMJERENOST

$$D = \frac{4r^2\pi \cdot P_{r,max}}{W_z}$$

- omjer gustode zračene snage antene u smjeru max. zračenja i snage koju bi izradio izotropni radiator

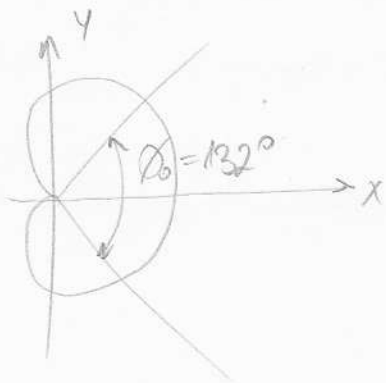
$$D = \frac{3}{2}$$

13) Definiranje elementarnog električnog i magnetskog polja za elementarnu površinu

- zračenje elementarne površine može se odrediti iz zračenja 2 ortogonalna elementarna dipola, pri čemu u jednom teče elektroni, a u drugom magnetska struja

? ? ?

(14.) Elementarna površina (oblik dijagrama zračenja, kut usmjerenosti i usmjerenost)



$D=3$ - duplo veća usmjerenost od elementarnog dipola

$$A_{ef} = \frac{3}{4\pi} \lambda^2$$

15. Daleka zona antene

- područje gdje dijagram zračenja praktički ne ovisi o udaljenosti
- u tom se području polja ponašaju kao u ravnom valu
- ako je $d \gg \lambda$, onda se može uzeti:

d - max dimenzija antene

$$\boxed{R_{gg} = \frac{2d^2}{\lambda}} \quad \text{— granica daleke zone}$$

- za $r > R_{gg}$ je daleka ili Fraunhoferova zona

16. Otpor zraćenja, efektivna dužina i usmjerenost poluvalnog dipola

OTPOR ZRAĆENJA

- za $L = \lambda/2$ uz otpor zraćenja, beskonačno tanak poluvalni dipol pokazuje induktivnu reaktanciju $42,5 \Omega$ koja je posljedica zračne vrijednosti pohranjene energije u polima oko dipola

- vlastita impedancija poluvalnog dipola: $Z_A = 73,13 + j42,5 \Omega$

↑ ↑
otpor zraćenja reaktancija dipola

- na rezonantnoj frekvenciji prevladava energija pohranjena u magnetskom polju (+ vrijednost reaktancije)

EFEKTIVNA DUŽINA

- primjenom definicije za efektivnu dužinu odasiljačke antene

$$l_{ef} = \frac{1}{I(0)} \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} I(z) dz \quad \text{uz } I(0) = I_m$$

dobijemo $\boxed{l_{ef} = \frac{\lambda}{\pi}} \approx \frac{\lambda}{3}$

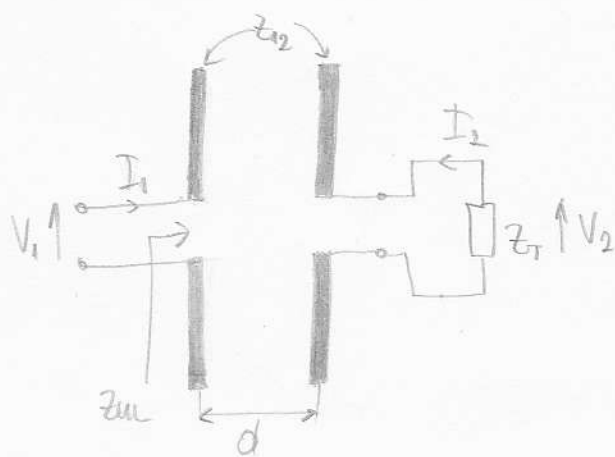
USMJERENOST

- primjenom veze $D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{ef}$ izravno izlazi

$$\boxed{D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{ef} = \frac{4\pi}{\lambda^2} 0,13\lambda^2 \approx 1,64 = 2,15 \text{ dB}}$$

$$A_{ef} = \eta \frac{l_{ef}^2}{4R_z} = 376,7 \frac{\lambda^2}{\pi^2 4 \cdot 73,13} = 0,13\lambda^2$$

17. Međuimpedancija između dvaju poduvalnih dipola



- 2 identična paralelna $\lambda/2$ dipola na razmaku d , beskonačno tanki

- MEĐUIMPEDANCIJA je promjena ulazne impedancije zbog međudjelovanja blisko postavljених antena

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1}$$

$$V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2$$

$$V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2$$

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} + Z_{12} \frac{I_2}{I_1}$$

- vlastita impedancija antene

$$Z_A = 73 + j42.5 \Omega$$

- za recipročne mreže vrijedi $Z_{12} = Z_{21}$

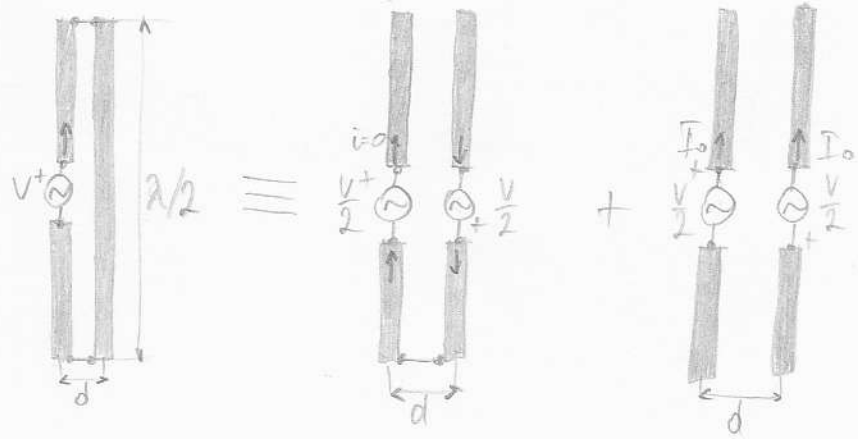
- za simetričan četverpol vrijedi $Z_{11} = Z_{22}$

- Z_{12} se isčitava iz grafa

18. Savijeni poluvoltni dipol

- dobije se superpozicijom dvaju modova

izvorna antena



$$Z_d = \frac{V/2}{2I_0} = \frac{Z_{sd}}{4}$$

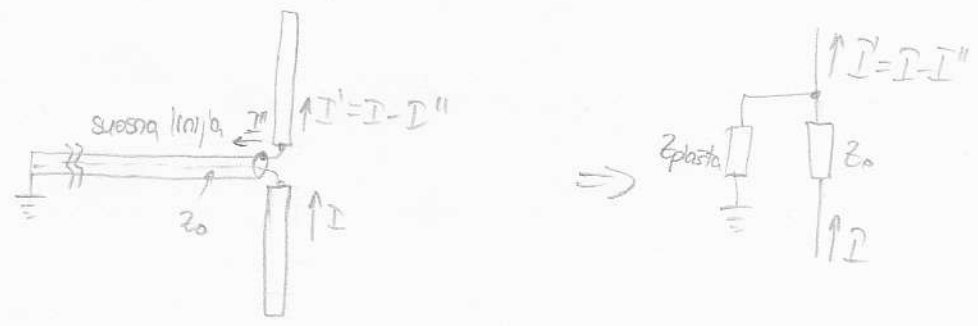
$$Z_{sd} = 4Z_d$$

$$Z_{sd} = 4 \cdot 73 = 192 \Omega$$

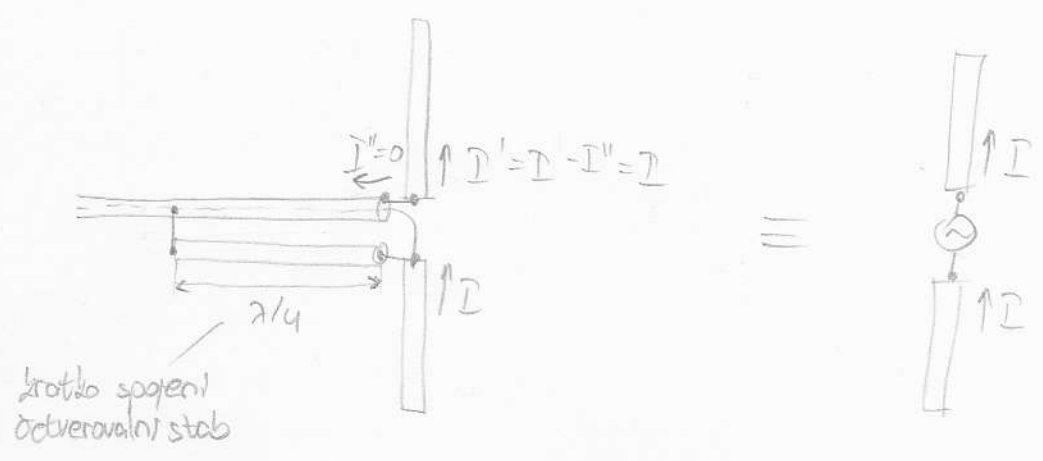
19. Mogući načini priključivanja dipola na koaksijalnu liniju

IZRAVNA POBUĐA SUOSNIM KABLOM

- do pojave teče vanjskim dijelom plašta → neravnoteža, nesimetrija dijagrama zračenja, loša polarizacija i impedancijska odbojnost antene



TRANSFORMACIJA SIMETRIČNOG DIPOLA NA NESIMETRIČNU SUOSNU LINIJU



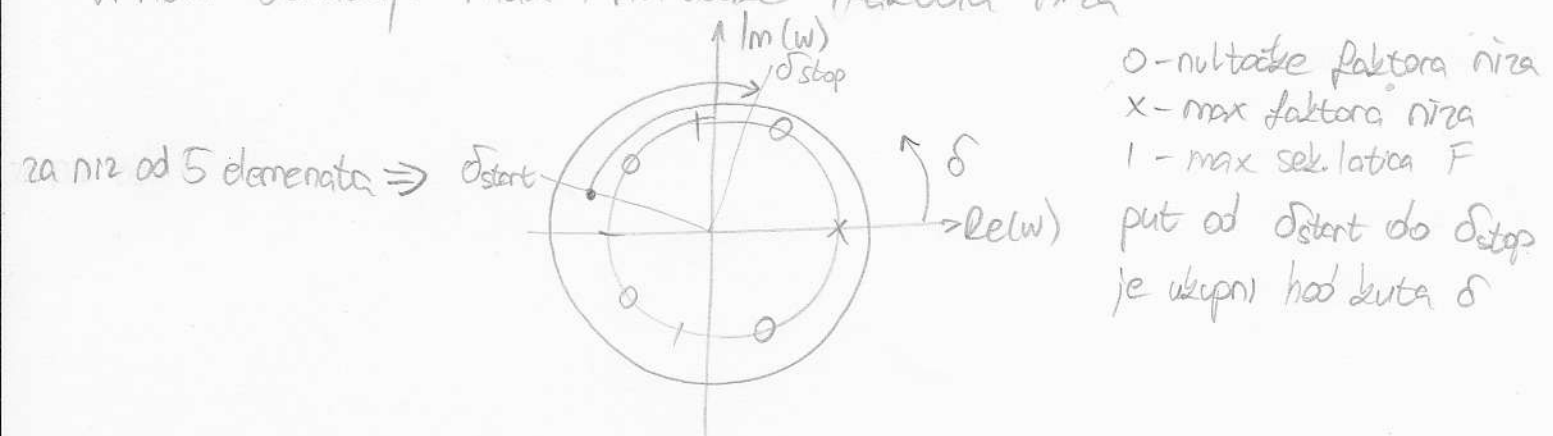
20. Faktor niza predstavljen s pomoću nultočaka na jediničnoj kružnici u kompleksnoj ravnini

- u analizi osnovne izvore zračenja zamjenjujemo izotropnim radijatorima u faznim središtima ili dijagram zračenja (F) zovemo faktor niza
- faktor niza jednak je zbroju doprinosa svih izotropnih radijatora

$$\bar{F} = \sum_{n=0}^N A_n e^{j n \delta}$$

- ako uvedemo varijablu $w = e^{j\delta}$ imamo $F(w) = \sum_{n=0}^N A_n w^n$, gdje je $\delta = \beta d \cos \varphi + \alpha$ ukupni fazni pomak u polima susjednih elemenata zračenja

- varijablu w prikazujemo na jediničnoj kružnici, te ovisno o broju elemenata niza $(N+1)$ imamo $N+1$ -ti polinom na kružnici čiji vrhovi označuju max i nultčke faktora niza

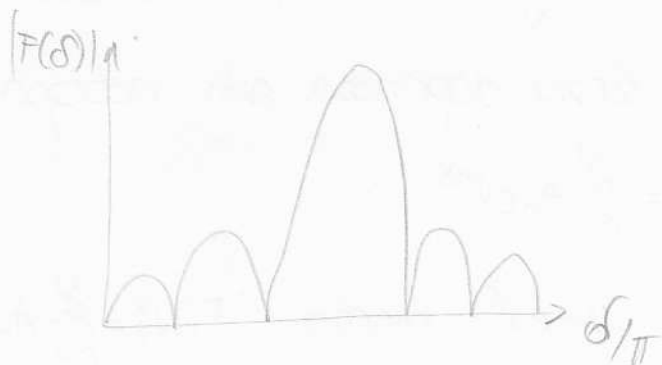


- ako je $\delta > 2\pi$, tj. ako je razmak između elemenata veći od $\lambda/2$, može se pojaviti veći broj maksimuma (više od 1 glavne laticе)

$$\delta_{start} = \beta d \cos 0^\circ + \alpha, \quad \delta_{stop} = \beta d \cos 180^\circ + \alpha, \quad \Delta = \delta_{start} - \delta_{stop} = 2/\beta d$$

$$E_{uz} = E_0(r, \theta, \phi) \Rightarrow |F| = \left| \frac{\sin((N+1)\frac{\delta}{2})}{\sin(\frac{\delta}{2})} \right|$$

- F razen 0 za vse w za koje urijedi $w^{N+1} = 0$ osim za $w=1$



- rješenja jednačine $w^{N+1} = 0$ nalaze se na jediničnoj kružnici u kompleksnoj ravnini na vrhovima pravilnog poligona s $N+1$ stranica



(21.) Faktor niza s konstantnom razdiobom struja pobude

- najjednostavniji pravilni antenski niz je niz s jednolikom razdiobom struja:

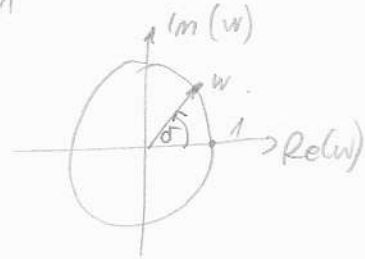
$$A_0 = A_1 = \dots = A_N = 1, \text{ pa je } F = \sum_{n=0}^N e^{jn\delta} = \sum_{n=0}^N w^n$$

- uz $\delta = 0$ dobivamo maksimum faktora niza $F_{\max} = N+1$

- sređivanjem dobijemo $F = \frac{1-w^{N+1}}{1-w}$, $\delta = \frac{2\pi}{N+1}k$

- faktor niza u ovisnosti o δ :

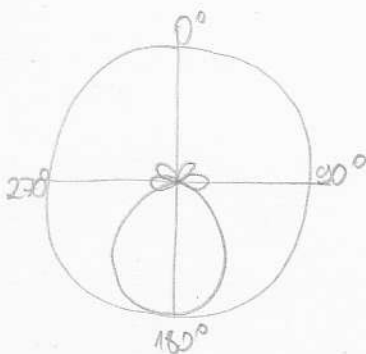
$$|F| = \left| \frac{\sin\left((N+1)\frac{\delta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\delta}{2}\right)} \right|$$



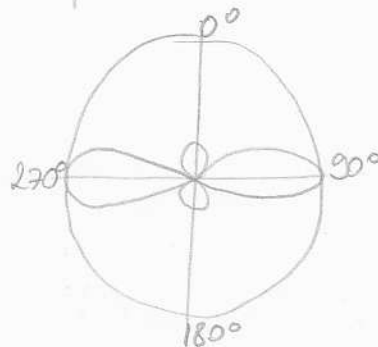
- za $\theta_0 = 0^\circ$ i $\theta_0 = 180^\circ$, te $\alpha = \pm 90^\circ$ dobivamo uzdužni niz tj. glavna latica gleda u smjeru osi niza

- za $\theta_0 = 90^\circ$ i $\alpha = 0^\circ$ dobivamo poprečni niz tj. glavna latica okomita na os niza

uzdužni niz



poprečni niz



(22) Potiskivanje sekundarnih latica s konstantnom razdiobom struja pobude

- potiskivanje sekundarnih latica je omjer maksimalnih vrijednosti glavne latica i najveće sekundarne laticе
- za niz s jednolikom razdiobom struja pobude, najveća sekundarna latica nalazi se neposredno uz glavnu laticu
- kut σ koji odgovara maksimumu prve sekundarne laticе nalazi se približno na sredini između 1. i 2. nultocke na jediničnoj kružnici
- uvrštavanjem $\sigma = \frac{3\pi}{N+1}$ u $|F| = \left| \frac{\sin\left((N+1)\frac{\sigma}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\sigma}{2}\right)} \right|$ dobijemo veličinu sekundarne laticе:

$$|F|_{\text{sek. lat.}} = \frac{1}{\sin\left(\frac{3\pi}{2(N+1)}\right)}$$

- otuda je potiskivanje sekundarnih latica:

$$S = 20 \log \left[(N+1) \frac{3\pi}{2(N+1)} \right] = 20 \log \frac{3\pi}{2} \approx 13,5 \text{ dB}$$

23. Širina snopa niza s konstantnom razdoblom struj'a poluse

- može se odrediti pomoću nul-točaka na jediničnoj kružnici
- nul-točke s jedne i druge strane glavne laticе određene su kutovima:

$$\delta_1 = \frac{2\pi}{N+1} \quad ; \quad \delta_2 = -\frac{2\pi}{N+1}$$

- za vrlo usku laticu poprečnog niza, $L > 5\lambda$ dobivamo

$$\Theta_n = 2 \frac{\lambda}{L} \frac{1}{\sin \Theta_0} = 114,6^\circ \frac{\lambda}{L} \frac{1}{\sin \Theta_0}$$

- za uzdužni niz, širina snopa je:

$$\Theta_n = 2 \sqrt{2 \frac{\lambda}{L}}$$

(24) Kut usmjerenosti niza s konstantnom razdiobom struja pade

- kut pri kojem gustoća snage padne na polovičnu vrijednost u odnosu na gustoću snage za smjer maksimalnog zračenja

POPREČNI NIZ

$$\Theta_0 = 0,886 \frac{\lambda}{L} \frac{1}{\sin \Theta_0} = 50,8^\circ \frac{\lambda}{L} \frac{1}{\sin \Theta_0}$$

UZDUŽNI NIZ

$$\Theta_0 = 2 \sqrt{0,886 \frac{\lambda}{L}}$$

- kako bi pronašli kut usmjerenosti, potrebno je naći točke na jediničnoj kružnici koje odgovaraju faktoru niza $\frac{F_{\max}}{I_2}$

- najmanji je za poprečni, a najveći za uzdužni niz

(25.) Usmjerenost niza s konstantnom razdiobom struja pobude

- određuje se pomoću izraza:

$$D = \frac{P_{r,max}}{P_{r,sr}} = \frac{4\pi r^2 P_{r,max}}{W_E}$$

- za $d' = \lambda/2$ i $\alpha = 0$ izlazi $D = N+1$, tj. usmjerenost poprečnog niza jednak je broju elemenata.

POPREČNI NIZ

$$D \approx \frac{2L}{\lambda}$$

$$\text{za } L = d(N+1)$$

UZDUŽNI NIZ

$$D \approx \frac{4L}{\lambda}$$

- potiskivanjem sekundarnih latica, povećava se usmjerenost

26. Karakteristike binomnog niza

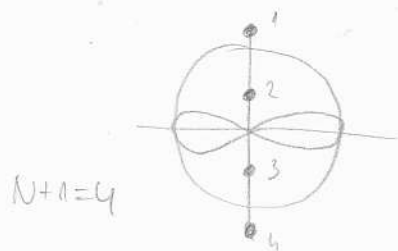
- faktor niza za niz s binomnom raspodjelom amplituda struje:

$$F = \sum_{n=0}^N \left(\frac{N}{n}\right) w^n \rightarrow \text{niz s višestrukim nul-točkama}$$

- to je niz bez sekundarnih lobova ($s \rightarrow \infty$)

- tipični razmak između elemenata $d = \frac{\lambda}{2}$

- kut usmjerenosti puno veći nego kod niza s konst. raspodjelom amplituda \rightarrow manja usmjerenost



\rightarrow niz s 4 elementa

27) Karakteristike trokutnog niza

- faktor niza jednak kvadratu faktora niza s jednakom razlikom amplituda:

$$F = \left(\sum_{n=0}^N w^n \right)^2$$

- maksimalno potiskivanje sekundarnih lobova ($N+1 \rightarrow \infty$), $2.13,5 = 27\text{dB}$

- tipičan razmak između elemenata: $d = \lambda/2$

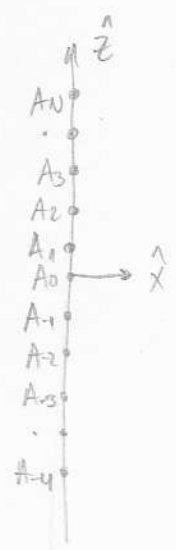
$$\Theta_0 = 73^\circ \frac{\lambda}{L} = 73^\circ \frac{\lambda}{d(N+1)}$$

28. Osnovna svojstva Dolph-Čebiševljeva niza

- ima faktor niza s jednolikim sekundarnim laticama
- potiskivanje sekundarnih latica može se po želji regulirati
- tipičan razmak između elemenata: $d = \lambda/2$
- postupak potiskivanja sek. latica može se primjenjivati tako dugo dok se maksimumi svih sek. latica ne izjednače, u tom slučaju faktor niza ima oblik Čebiševljeva polinoma
- za zadanu širinu snopa, faktorom niza Čebiševljeve oblika postiže se maksimalno potiskivanje sek. latica



29. Sinteza antenskih nizova



- zadan je idealan (željeni) dijagram zračenja $f(\theta)$
- zadana je geometrija niza (pravilni niz s $d = \lambda/2$)
- traži se razdoba struja pobude (A_m)
- da bi idealni faktor niza $f(\theta)$ zadovoljio zahtjev periodičnosti za sve realne vrijednosti kuta θ , mora biti zadovoljen uvjet:

$$2/d = 2\pi \text{ ili } d = \lambda/2$$



- idealni faktor niza
- transformacija f je $f(\theta)$ u $f(\delta)$ ostvaruje se preko veze $\delta = d \cos \theta + \alpha$ (najčešće $\alpha = 0$)

- za slučaj $d > \lambda/2$ dobiveni faktor niza pokazuje nove i neželjene glavne lobe, pa takav slučaj valja izbjegavati

(30) Faktor niza pravilnog simetričnog planarnog niza

- ako svi paralelni nizovi imaju jednake razdobe, onda se za izračun faktora niza može primijeniti načelo množenja faktora niza

$$F = F_x \cdot F_y \quad \text{tj.} \quad F = \sum_{m=-M}^M A_m e^{j m \delta_x} \cdot \sum_{n=-N}^N A_n e^{j n \delta_y}$$

uz $\delta_x = \beta d_x \cos \theta_x + \alpha_x$ i $\delta_y = \beta d_y \cos \theta_y + \alpha_y$

- da bi niz imao glavnu laticu, $\sin^2 \theta_0 = \frac{\alpha_x^2}{\beta^2 d_x^2} + \frac{\alpha_y^2}{\beta^2 d_y^2} < 1$

(31.) Usmjerenost pravilnog simetričnog planarnog niza

- usmjerenost se može odrediti primjenom definicije

$$D = \frac{P_{r,max}}{P_{r,sr}} = \frac{4\pi r^2 P_{r,max}}{W_z}$$

- za poprečni smjer ($\theta = 0^\circ$) usmjerenost iznosi:

$$D = \pi D_x D_y \cos \theta$$

D_x, D_y - usmjerenosti osnovnih
linearnih nizova na x i y osi

(32.) Pravokutni otvor s konstantnom razlobom polja u otvoru

- zračenje iz pravokutnog otvora može se dobiti zbrajanjem doprinosa svih elementarnih površina
- ukupno polje u točki T dobiva se integriranjem po površini dimenzija L_x i L_y .
- jakosti polja na udaljenosti R od otvora računaju se kao:

$$\boxed{E_y = E_0 \frac{L_x L_y}{\lambda^2} \frac{1}{R/\lambda} \frac{\sin(u)}{u}} \quad ; \quad \boxed{E_z = E_0 \frac{L_x L_y}{\lambda^2} \frac{1}{R/\lambda} \frac{\sin(v)}{v}}$$

gdje su u i v normirane varijable: $u = \frac{\beta L_x}{2} \sin \theta$, $v = \frac{\beta L_y}{2} \sin \theta$

$S = 13,5 \text{ dB}$ \rightarrow isto kao i za linearni pravilni niz s ∞ brojem elemenata

(33) Teorem ekvivalencije

- omogućava određivanje EM polja u prostoru bez izvora na temelju poznate raspodjele el. i mag. struja na zatvorenoj površini. Polja obuhvaća sve izvore

- ako se svi izvori nalaze u prostoru volumena V omeđenog bilo kojom zatvorenom plohom S , izvori na toj plohi proizvode polje E_s, H_s , a izvan tog volumena polje E, H



- ako se odstrane izvori, polje E, H izvan tog volumena može se proizvesti ekvivalentnim površinskim strujama po plohi S



- gustode površina el. (J) i mag. (K) struje po plohi S dane su vektorskim umnošcima:

$$J = n \times H_s$$

$$K = n \cdot E_s$$

n - jedinični vektor u smjeru normale na plohu S

- teorem je pogodan za računanje dijagrama zračenja površinskih antena za koje se dovoljno tačno zna raspodjela polja na određenoj plohi

34) Načelo dualnosti

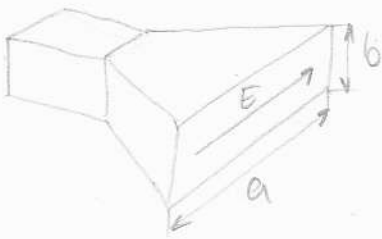
- Maxwellove jednačine sadrže samo el. struje bez magn.
- da bi se pojednostavilo računanje, koriste se fiktivne magn. struje i naboji
- dualni sustav se dobija rotacijom za 90° u smjeru suprotnom kazaljke na satu u odnosu na prvi sustav



35. Ljuskaste antene (E-ljjevak, H-ljjevak i piramidalni ljjevak)

- proširenjem valovoda u ljuskasti oblik dobivamo ljjevastu antenu
- to je ustvari valovod dimenzija a i b pobuden dominantnim modom

E-ljjevak



$$a = \sqrt{2\lambda L}$$

$$D_{E, \max} = 8,2 \frac{ab}{\lambda^2}$$

$$A_{ef} \approx 0,65 \cdot ab$$

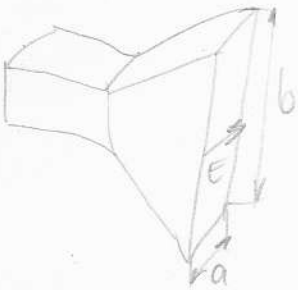
$$\theta_0 = 53^\circ \frac{\lambda}{a}$$

E-ravning

$$\theta_0 = 68^\circ \frac{\lambda}{b}$$

H-ravning

H-ljjevak



$$b = \sqrt{3\lambda L}$$

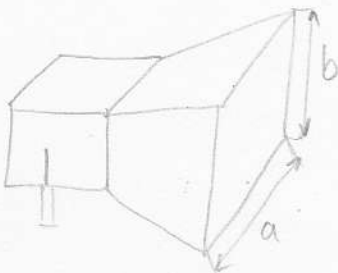
$$D_{H, \max} = 7,8 \frac{ab}{\lambda^2}$$

$$A_{ef} = 0,63 ab$$

$$\theta_0 = 51^\circ \frac{\lambda}{a}$$

$$\theta_0 = 80^\circ \frac{\lambda}{b}$$

Piramidalni ljjevak



$$D_p = 6,3 \frac{ab}{\lambda^2}$$

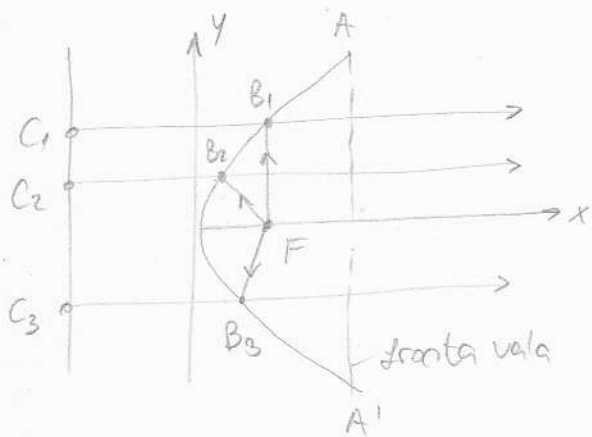
$$A_{ef} = 0,51 \cdot ab$$

$$\theta_0 = 53^\circ \frac{\lambda}{a}$$

$$\theta_0 = 80^\circ \frac{\lambda}{b}$$

3.6. Tumačenje radi antene s paraboličnim reflektorom

- za više frekvencije rješeno se upotrebljavaju reflektorske površine koje su dio pladne paraboloide
- dobitak od 30-40 dB
- reflektor se poduduje "primarnim radiatorom" iz žarišta udaljenog za f od tjemena paraboloide



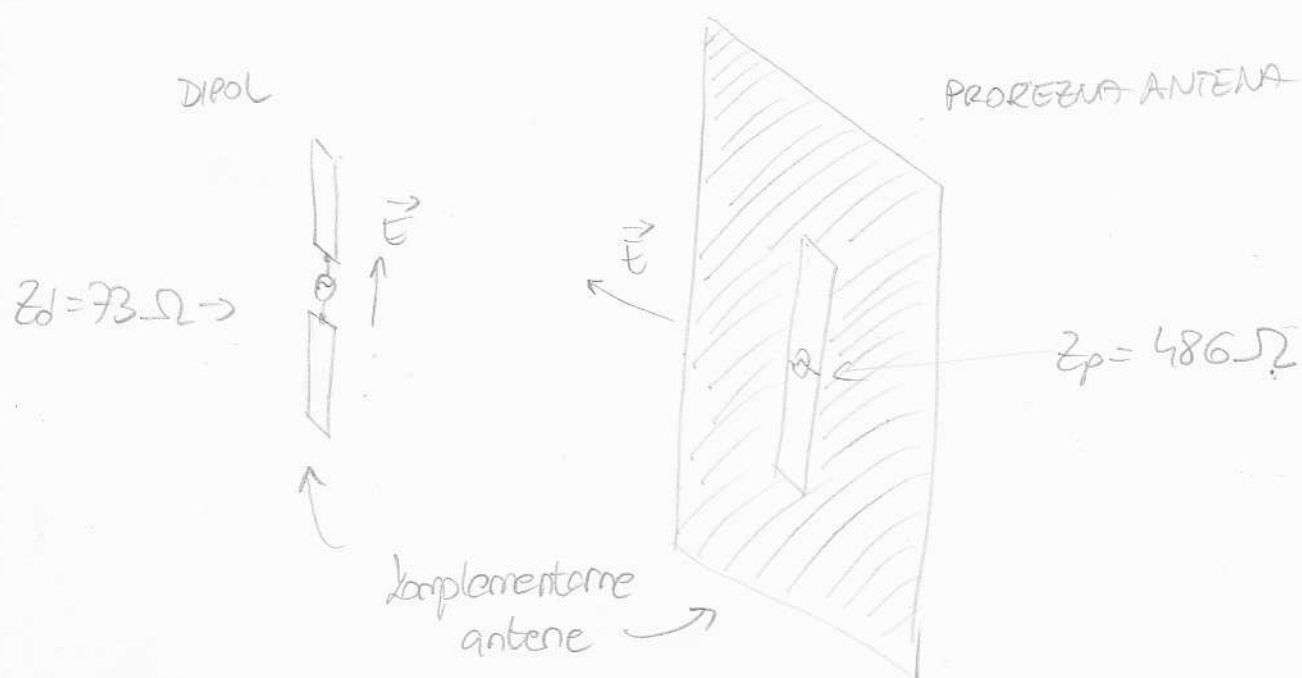
- sferni val se pretvara u planarni
- u ravni AA' sve tačke imaju istu fazu, a amplituda ovisi o dijagramu zračenja
- ako primarni radiator nije u fokusu, dolazi do degradacije dijagrama zračenja

- bitno voditi računa o tome da primarni radiator ne osijetljava reflektor s prvim sekundarnim laticama (destruktivna interferencija)

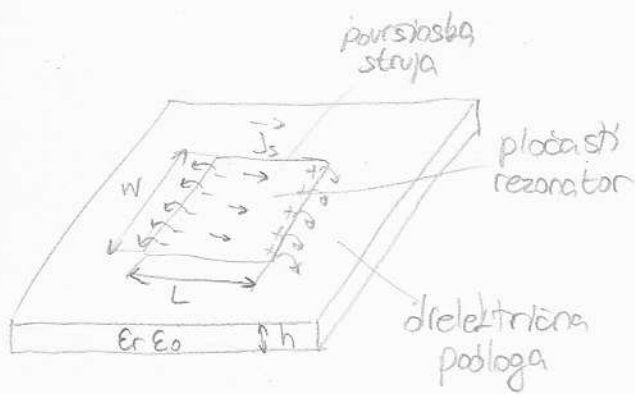
37. Impedancija prorezne antene u odnosu na dipol

- jednadžba koja povezuje impedanciju prorezne antene i dipola:

$$Z_p Z_d = \frac{\eta_0^2}{4} = \left(\frac{376,7}{2} \right)^2$$



38. Geometrijski oblik i načelo rada pravokutne mikrotrakaste antene



- na 2 kraja rezonatora dužine L i širine w nastaju rubna polja koja zrače EM energiju (radijacijski rubovi)
- na druga 2 kraja zračenje se može zanemariti (neradijacijski rubovi)

- radijacijske rubove možemo nadomjestiti dužima otvor-antennama oblika uskih proreza širine $\approx h$ i dužine $\approx w$ na udaljenosti $\lambda/2$