

Antene i propagacija

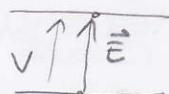
bilješke s predavanja

Jelena Mirošević

ANTENA

- generator signala je na antenu spojen linijom
- unija \Rightarrow duž "čica" mijenjaju se napon i struja (sin promjena) sto ih više razmicanemo

()) **najgusća energija tu**



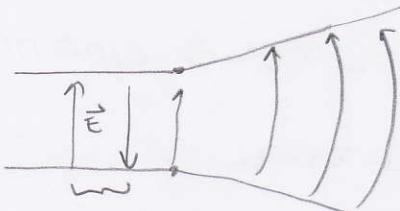
- obično izvod nije takav
već se koristi koaksijalni



- jedan kraj uzemljen

- ima još nadine, valovodi i slično, ali imamo uvišt 1D sirenje

- izvedba



$\frac{\lambda}{2} \rightarrow$ svaki $\frac{\lambda}{2}$ suprotna polarizacija,
a ista impedancija

- odasiljačke antene pretvara 1D signal u 3D val, bugla, ali na udaljenosti radijus vala \approx kao ravn val
- prijamne antene nalaze se u područjima "ravnih" valova pretvara 3D val u 1D signal

na HF imamo linsarne antene, za VF površinske
odasiljačke antene uglavnom pasivne

PASIVNE - recipročne, iste vri

- geometrija - linsarna (zicanske)
- površinske

< 1GHz
> 1GHz

- elektronska svojstva:

pasivne (iste svojstva za odasiljanje i primanje)
aktivne (sadrže aktivne komponente: pojačalo)

- foton podnosi se odabira s obzirom na to sto je zrno, razina snage opada sa udaljenosću
- na NF teško napraviti usmjerenu antenu
- zidovi se zbog apsorpcije oblažu piramidama spužvastim
to radimo da bi smanjili refleksiju, tako možemo u prostoriji snimati antenu
piramida jer kad naleti na spic ne reflektira se kao na drugim preprekama već polako ide naprijed i apsorbira ga spužva
- sustav linsera, o razini polja ne ovise svojstvo medija

$$\lambda \downarrow$$

$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_0$

$$E = E_L + E_2 \quad \cdot \frac{1}{\epsilon_1} \frac{1}{\epsilon_2}$$

$$E = 2E_0$$



- na dipolu slobodni elektroni \rightarrow stupa promjena naboja u vremenu \rightarrow nema efekte, izmjenjena stupa imamo ubrzanje naboja \rightarrow zračenje



prema dolje i prema gore zapravo i ne zradi

- ako se dipol giba konstantnom brzinom njegova elektrostatičko polje putuje za njim, konstantno, nista se ne događa
- sve promjene i pojave se sive brzinom svjetlosti
- gustoća silnica ovisi o količinu pomicajućih naboji, o brzini
sto veće brzina, gustoća silnica
ako idemo polako uveća razmak između posmatrača →
vredna valna duljina
- polje koje nama zrači nije redovljivo, nego polje okomito na ono koje je redovljivo
- električno i magnetsko polje okomito je na redovljivo
- u smjeru titranja $G = 0 \rightarrow \sin\theta = 0 \rightarrow$ nemamo zračenje
okomito na smjer titranja $G = 90^\circ \rightarrow \sin\theta = 1 \rightarrow$ max zračenje

PLANARNI VAL

- fiksija
- u startu imamo kuglasti val, na nekoj udaljenosti imamo konstantno el. polje (svuda isto), i magnetsko takoder, međusobno su okomiti, a oni su pak okomiti na smjer titranja

Maxwell

$$\nabla \vec{B} = \vec{0}$$

$$\iint_S \vec{B} d\vec{s} = \iint_V \vec{f} dV \quad \begin{cases} \text{u točki} \\ \text{prostorno} \rightarrow za \vec{g} \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$\iint_S \vec{B} d\vec{s} = 0 = \iint_V \rho_m dv \quad \begin{cases} \text{ne postoji magnetski dipol unipoč} \end{cases}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega \vec{B}$$

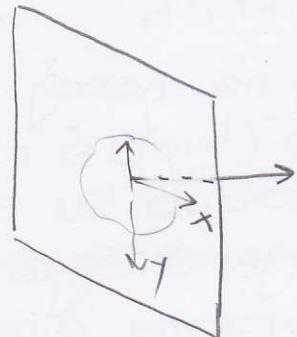
$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = \iint_S (-j\omega \vec{B}) d\vec{s}$$

VALNA JEDNAČBA

- val se siri u smjeru osi z, električno polje otomito na z
- d. polje postoji, ali se ni u x ni u y smjeru ne mijenja
- derivacija su nam = 0
- samo u z smjeru ostaje
- faza silazna u smjeru sticanja vala
- periodičnost vala se λ , a stajnog vala $\frac{\lambda}{2}$
- mag i d. polja su u fazici i sinusno se mijenjaju
- faza raste u vremenu
- Poyntingov vektor

AUDITORNE 01

POLARIZACIJA



$$\nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0$$

$$\nabla^2 (\hat{x}E_x + \hat{y}E_y + \hat{z}E_z) + k(\hat{x}E_x + \hat{y}E_y + \hat{z}E_z) = 0$$

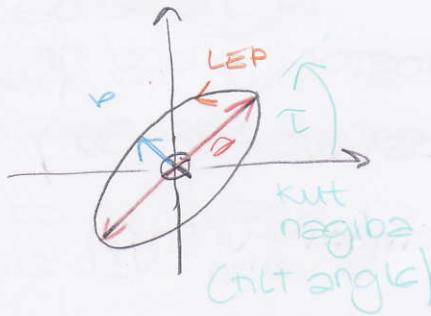
$$\underline{\nabla^2 E_x + k^2 E_x = 0}$$

$$\nabla^2 E_y + k^2 E_y = 0$$

$$E_x = E_{0x} \cos(\omega t \pm kz)$$

$$E_y = E_{0y} \cos(\omega t \pm kz + \phi_0)$$

- u najopćenitijem slučaju ova daje elipse
- pa onda iz toga ili provjeri kružnicu i slično



$$AO = \frac{a}{b}$$

LEP
 DEP

} ovisno o smjeru sirenja
vala

val ulazi u papir \otimes

$$a=b \quad \varphi=90^\circ \rightarrow \underline{\text{kružna polarizacija}}$$

$$\varphi=0^\circ \text{ ili } a=0 \text{ ili } b=0 \rightarrow \underline{\text{pravac}}$$

horizontalna / verticalna

$$\text{LKP} + \text{DKP} = \text{od dva kružna imamo linearu}$$

The diagram shows two circular arrows with crosses inside, representing LKP and DKP. They are followed by a plus sign and an equals sign. To the right of the equals sign is a vertical arrow pointing up, representing linear polarization.

$$E_0$$

$$e_0 \cos \varphi$$

$$\begin{pmatrix} E_0 \\ -E_0 \end{pmatrix}$$

$$E = E_0 \cos(\omega t - \beta z + \varphi_0)$$

$$= R \Re \{ E_0 e^{j(\omega t - \beta z + \varphi)} \}$$

$$= E_0 e^{j\varphi}$$

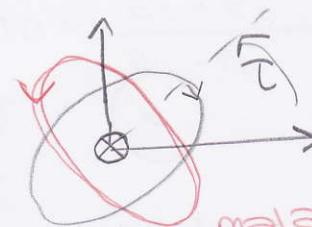
$$= E_0 |E|^\circ$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} E(t) H(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{E^2(t)}{2} dt$$

transnuta snaga

$$\langle P \rangle = \begin{cases} \frac{E^2}{2} & \text{za kružnu} \\ \frac{E^2}{2\eta} & \text{za linearu} \end{cases}$$

ortogonalna polarizacija



međusobno
ni ne smetaju

mala i velika os
zamjenile položje

Zadatak 1

EL polje ravnog vala u slobodnom prostoru dano je izrazom

$$\vec{E} = \hat{x} 2 \cos(\omega t - kz) + \hat{y} 3 \cos(\omega t - kz + 90^\circ)$$

Odraditi polarizaciju vala (AO, T, smjer vrtnjic)

Rastaviti polje na linijsku pol. i kružnu pol. komponente

odrediti ukupnu srednju gustoću snage svake komponente.

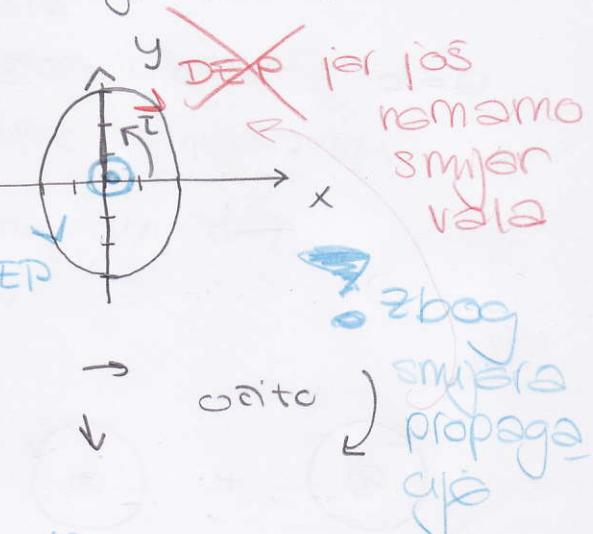
$$E_x = 2 \cos(\omega t - 0^\circ) = 2$$

$$E_y = 3 \cos(\omega t + 90^\circ) = -3 \sin(\omega t) = 3 \sin(90^\circ)$$

Lijavo ili desno gledamo:

$$\omega t = 0 \quad E_x = 2 \quad E_y = 0$$

$$\omega t = 90^\circ \quad E_x = 0 \quad E_y = -3$$



srednja snaga

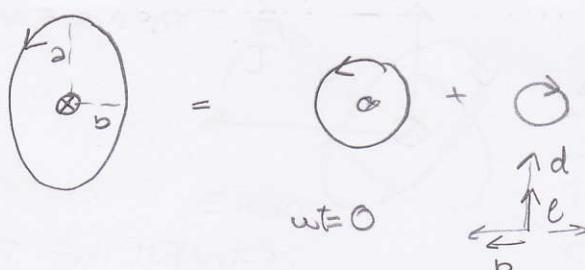
amplituda
vala

$$\langle P_x \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{E_x^2(t)}{\eta} dt = \frac{E_0^2}{2\eta} = 5.309 \text{ mW/m}^2$$

$$\langle P_y \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{E_y^2(t)}{\eta} dt = \frac{E_0^2}{2\eta} = 11.945 \text{ mW/m}^2$$

$$\langle P \rangle = \langle P_x \rangle + \langle P_y \rangle = 17.254 \text{ mW/m}^2$$

samo ako su $P_x \perp P_y$



očito je dominantna osa sto se vrati u smjeru u kojem i elipsa

$$a = c+d$$

$$b = e-d$$

$$AO(e-d) = c+d$$

$$AO = \frac{e-d}{b} = \frac{c+d}{e-d}$$

kad se vrati u 45°

$$\langle P_{DEP} \rangle = \frac{E_{DEP}^2}{\eta} = 0.063 \text{ mW/m}^2 \quad \langle P \rangle = \langle P_{DCO} \rangle + \langle P_{KED} \rangle$$

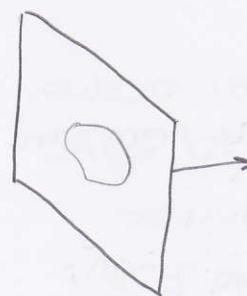
$$\langle P_{KED} \rangle = \frac{E_{KED}^2}{\eta} = 16.591 \text{ mW/m}^2 \quad = 17.254$$

$$\begin{cases} c+d = 3 \\ e-d = 2 \end{cases} \quad \begin{cases} c = 2.5 \text{ V/m} \\ d = 0.5 \text{ V/m} \end{cases}$$

Zadatak 2.

Ravni val dolazi na prijamnik koji se sastoji od 2 jednakih
prilagođenih helikoidnih antena. 1. prima DCP
2. LCP

Ako je snaga na 2. izmjerena 7dB veća od izmjerene
na 1. odrediti polarizaciju upadnog vala.



$$\begin{array}{l} \text{mm} \rightarrow W_{DCP} \\ \text{mm} \rightarrow W_{LCP} \end{array}$$

$$W_{LCP} = W_{DCP} + 7\text{dB}$$

$$10 \log \frac{W_L}{W_D} = 7$$

$$\frac{W_L}{W_D} = 10^{\frac{7}{10}} = 5.011$$

$$\frac{dB}{razučito} \approx 10\text{dB} \rightarrow \frac{W_2}{W_1} = 10 \text{ puta}$$

$$3\text{dB} \rightarrow \frac{W_2}{W_1} = 2 \text{ puta}$$

$$\begin{array}{l} \log \\ 7\text{dB} \rightarrow 10 - 3 \end{array} \rightarrow \frac{10}{2} = 5$$

$$11\text{dB} = 10 + 10 - 2 - 2 - 2 \rightarrow 10 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\frac{W_L}{W_D} = 10^{\frac{7}{10}} = 5.11$$

$$\frac{W_L}{W_D} = \frac{E_L^2 / \kappa}{E_D^2 / \kappa} = \frac{E_L^2}{E_D^2} \quad E_L = \sqrt{5} E_D = 2.236 E_D$$

$$AO = \frac{E_L + E_D}{E_L - E_D} = 2.61$$

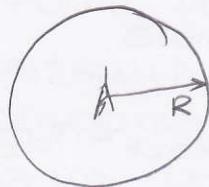
$$\textcircled{*} = \textcircled{O} + \textcircled{O}$$

Namemo dovoljno podataka za odrediti τ

zračenje polja antene

- nemoguće napraviti izotropni radiator (u svim smjerovima jednako zraći)

izotropni radiator



$$|\vec{P}| = \frac{W_{cd}}{4\pi R^2}$$

- u dalekoj zoni sve je okomito, zato tu nemamo r komponentu

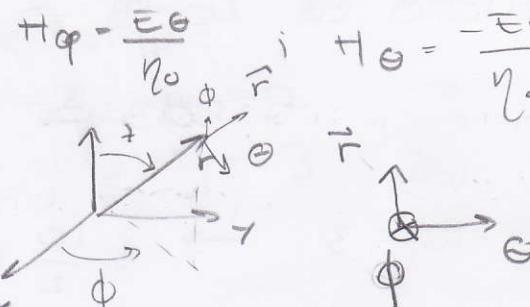
$$\vec{E}(r, \theta, \phi) = [\hat{\theta} F_\theta(\theta, \phi) + \hat{\varphi} F_\varphi(\theta, \phi)] e^{-jkr} \frac{1}{r}$$

- TEM se sastoji od $H_{\varphi} = \frac{E_G}{\eta_0}$; $H_\theta = -\frac{E_\varphi}{\eta_0}$

E_φ
Poyntingov vektor u
 \rightarrow R smjeru

$$\begin{aligned} \vec{P}_r &\uparrow \\ H_\varphi &\times \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{E_G}{H_\varphi}$$



$$\begin{aligned} \vec{P}_r &\uparrow \\ H_\varphi &\times \end{aligned}$$

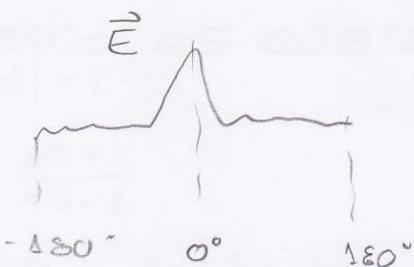
$$\eta = \frac{-E_\varphi}{H_G}$$

$$\vec{E}_\varphi = E_\phi \quad \hat{\phi}$$

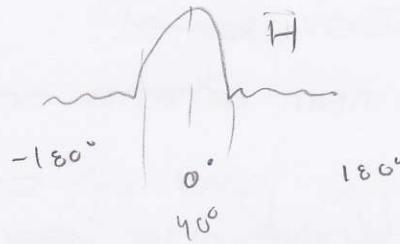
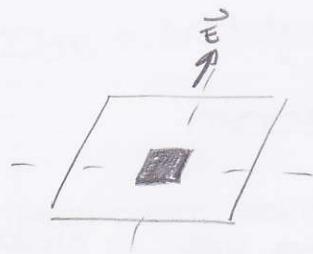
$$\vec{E}_\theta = -E_\phi \quad \hat{\phi}$$

ako bi \vec{E}_φ ili \vec{H}_G tisbau
iman drugi smjer

- dijagram zračenja \rightarrow kao gustoća prostorne rasporeda P
- sekundarne latice \rightarrow rezultiraju zračenje, problem kod mobilnih planiranja, osuya i ponavljanje
- max (glavna latica) u z smjeru



prikazuje se u dB



$\theta_0 = \text{npr } 30^\circ \rightarrow \text{kad snaga pada na pole}$

- zice na velikom razmaku mogu zradio, za razliku npr kod unije kad su blizu nezradio

polumasni dipol

minusna fazitna struja \Rightarrow privremeno

skoro

nečana antena



- nema struje \Rightarrow nema magnetskog polja, onda moramo imati električno polje, zbog zakona o očuvanju energije

$$\frac{\lambda}{2} = 300 \text{ cm} \rightarrow \text{za } 500 \text{ MHz } 0.5 \text{ GHz}$$

- dva osnovna tipa antena: zidane antene i otvor antene

Usmjerenost antene (D)

- za 1MHz → trebala bi nam antena od 300m

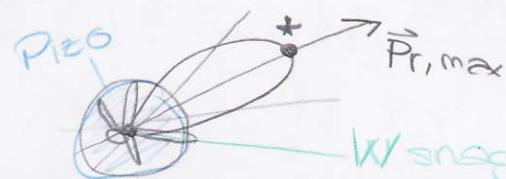
↪ naboj idagore dolje i generira val u slobodnom prostoru → polje

- ako antens imamo gustoću snage

- izotropni radiator ima najmanju usmjerenost, zrači u svim smjerovima jednako

da ovaj se smi izbaudi $D = 1$ za izotropni radiator

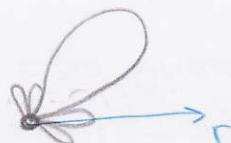
$$D = \frac{P_{r,\max}}{P_{r,\text{srednje}}}$$



W snage u svetlima

to je integral dijagrama
zracenja u nekom sfernom
koordinatnom sustavu

- ako smo daleko od antene svaka antena nam je točkasta, točkasti izvor, ali ne zrači u svim smjerovima jednako, to ne postoji, samo teoretski izotropni radiator
- zbog prirode vektorskih polja ne postoji izotropni
- gustoća snage na udaljenosti r ?



$$P_{r,\text{izr}} = \frac{W_2}{4\pi r^2}$$

snaga koju antena zrači

gustoća snage koja je prošla
kroz oplošje bugla → snaga
koju zrači izotropni radiator

$$P_{r,\max} = D \cdot P_{r,0} = \frac{W_2}{4\pi r^2} D$$

pokazuje nam koliko
zbog usmjerenosti uve
snage ima

$$D_{dB} = 10 \log D$$

10 jer radimo sa snagama

- usmjerenost antens je broj koji pokazuje koliko puta mors biti veća snaga u odnosu izotropni radijator ...

- zapravo omjer izražene snage izotropnog i

$P_{r, \text{max}}$ na toj udaljenosti

$$W_2 = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P(\theta, \phi) r^2 \sin \theta d\theta d\phi$$

3D dijagram zračenja

za izotri.
to je konst
i ide van

za Hertzov dipol

$$\oint \oint \sin \theta \quad D = 1.5 \times$$

i to nam je konst. jer nje
P trampir

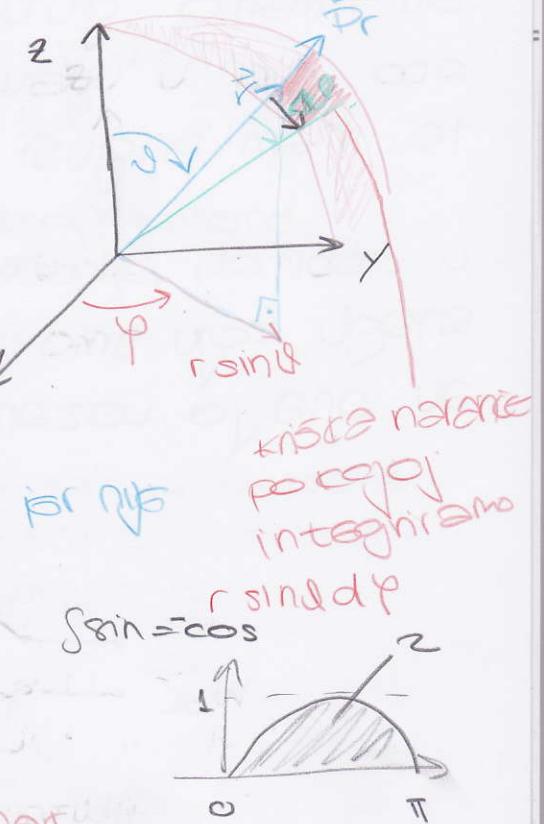
$$W_2 = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P(\theta, \phi) r^2 \sin \theta d\theta d\phi =$$

izotropni radijator, snage

$$W_2 = P_r r^2 2\pi \cdot 2$$

$$P_{r, \text{izo}} = \frac{W_2}{4\pi r^2}$$

u svim smjerovima jednac



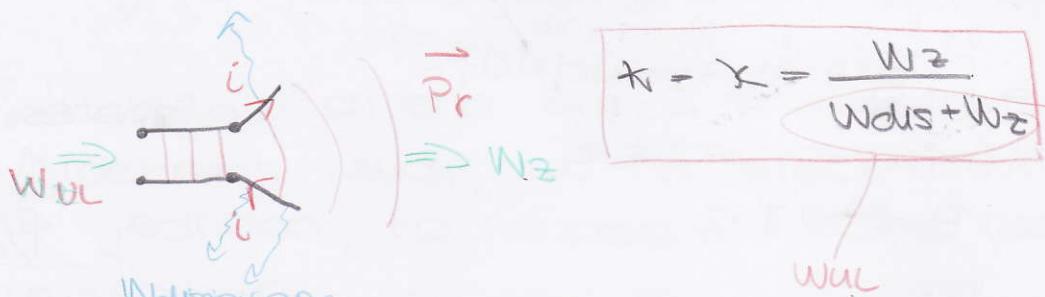
[dBi] → usmjerenost iznad 1 izotropnog radijatora

6dBi → 4 puta povećati

3dB → 2 puta

Dobitak (G) gain

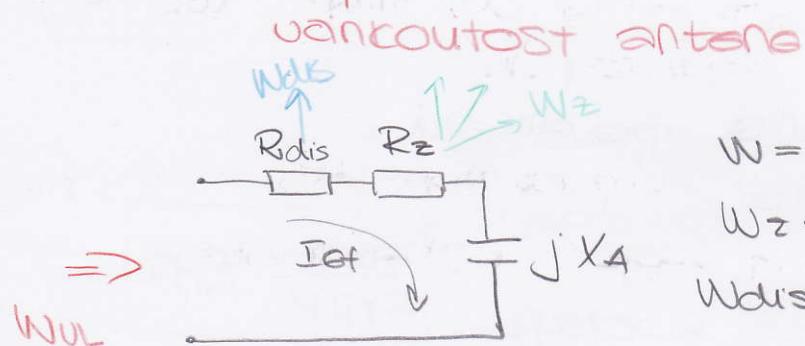
- osim što antena zrači, ona ima gubitke radi
- atomi se sudaraju, reflektiraju se, pa se antena zagonjava i to su gubici
- elektron se sudara sa titrajućim česticama
- to su gore gubici u materijalu antene, ali imamo gubitke i u prostoru oko antene, ako npr u vještačkim parafin ili nešto to nam priguši signal tj. zračenje
- u dobitku su uzeti u obzir gubici, vezano za snagu koju smo preduši anteni, slično usmjerenosti, ali ona je vezana za izračenu snagu



- jedino su iskuvani gubici refleksije

$$\boxed{G = \kappa D}$$

$$\kappa < 1$$



$$W = I_{ef}^2 R$$

$$W_z = I_{ef}^2 R_z$$

$$W_{dis} = I_{ef}^2 \cdot R_{dis}$$

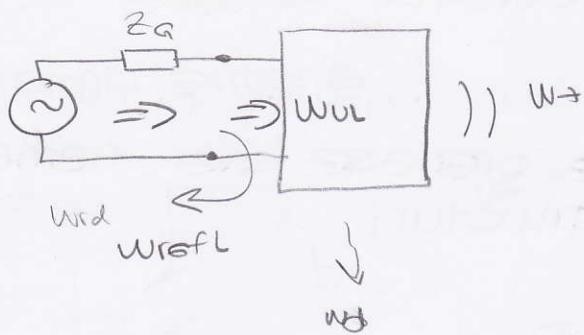
$$W_{ul} = W_{dis} + W_z$$

$$\kappa = \frac{I_{ef}^2 R_z}{I_{ef}^2 R_{dis} + I_{ef}^2 R_z}$$

$$\boxed{\kappa = \frac{R_z}{R_{dis} + R_z}}$$

$$< 1 !$$

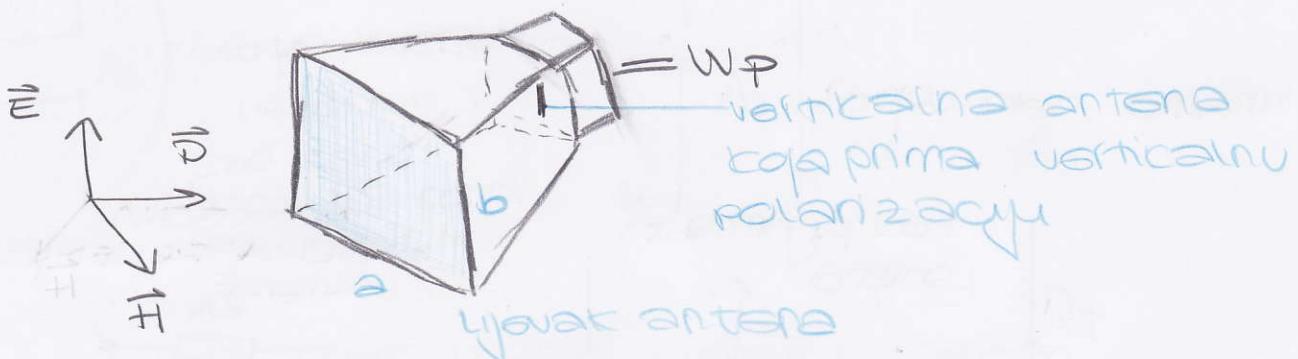
- koliko izotropnu molamu u se snage provesti da bi



$$Z_L = Z_L^* \Rightarrow \text{tad imamo max prijenos snage}$$

Efektivne površine

- iz razdioba \vec{E} i \vec{H} na površini (izlaznoj) antene možemo rekonstruirati dijagram zračenja



$$A_{ef} = ab$$

EFEKTIVNA
POVRŠINA
(razina površina)

$$W_p = P_r \cdot A_g$$

uz uvjet da imamo isostru polarizaciju

- imati smo zbog rubnih uvjeta specifičnu sinusnu razdušuju, pa zbog toga i neke gubitke

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

(ako bitno za prijemne antene)

- snaga koju smo primili mora biti zadovoljan uvjet polarizacije
- vrijedi za smjer maximalnog zračenja

Vez za izmjeru efektivne površine antene i usmjerenosti

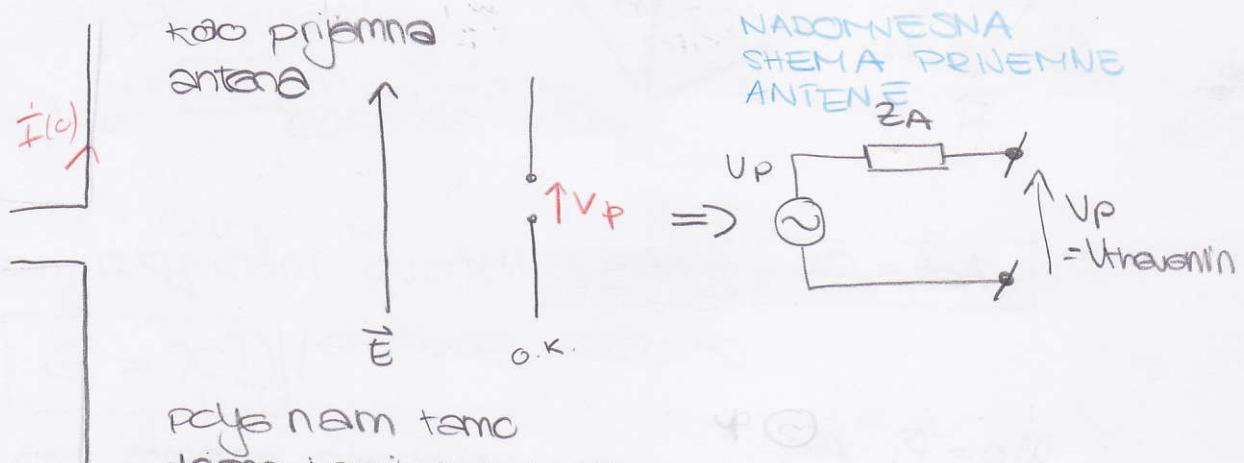
- antena prima snagu, ali ne prenese sve naredne imamo neke gubitke u strukturi

$$A_{\text{ef}} \Leftrightarrow D$$

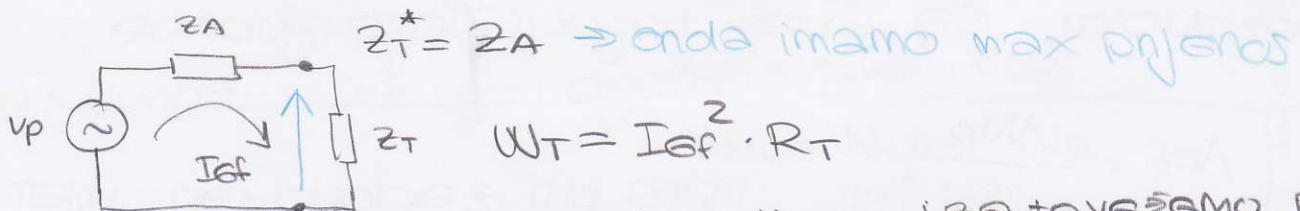
$$A_{\text{ef}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D \quad \text{ovisno o frekvenciji}$$

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{ef}} \quad (\text{paži na jedinice})$$

- imamo neki dipol



Pola nam tamo
desno užgiba nabroje
i na ok. se inducira
neki napon, ali struje
su gotovo nikakve



$$W_T = I_{\text{ef}}^2 \cdot R_T$$

$$Z_T = R_T + jX_T$$

iza tove želimo povećati
A_{resp} ↑

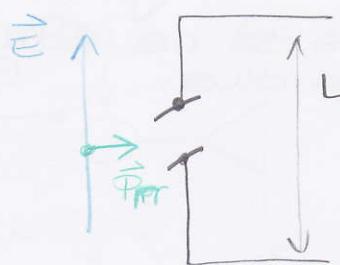
$$W_T = W_R$$

ta izgubljena je raspršna snaga

gdje je nastala snaga? pola prima, pola zrači
netrag u prostor, stvori struju, pa onda ona zrači

Efektivna dujina antene

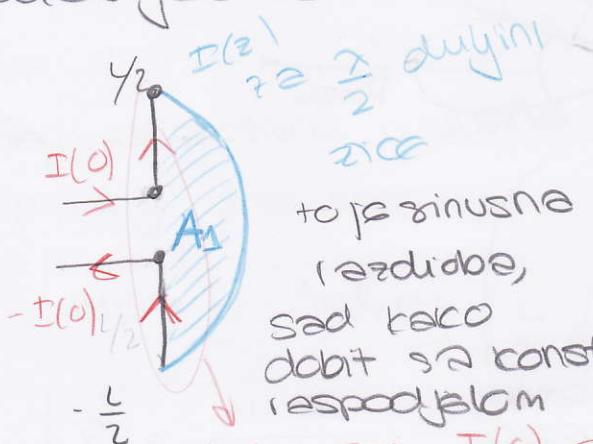
- prijamska antena



$$\text{lef} = \frac{U_p}{E} \cdot [m] \quad [\text{v}]$$

[m]

- oddajacka antena

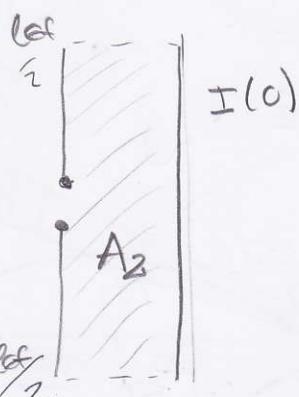


top je sinusne

rezonancije,

sad tako
dobjit sa konst.
raspoložljom

$$-\frac{L}{2}$$

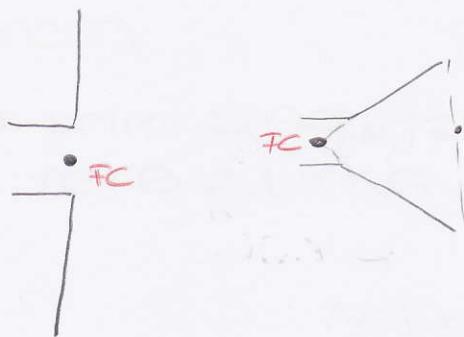


tako su I(0) protufazno, tu kad ih
rezonansimo imamo protoku istom
smjeru i zato tu z(0), a kad imamo
linje na z(0) (aco je udaljenost uvećana)

$$A_1 = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} I(z) dz = A_2 \text{lef} I(0)$$

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

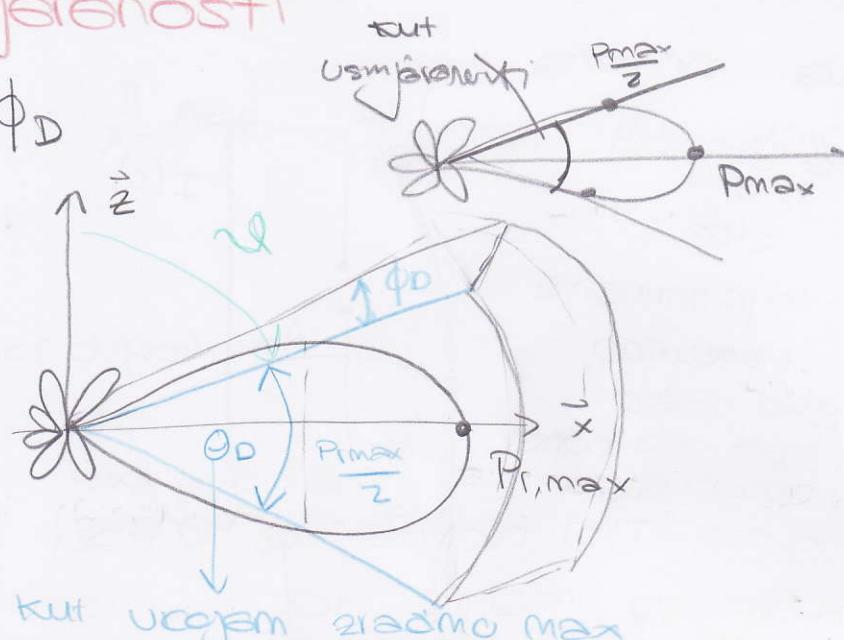
Fazno srediste/centar antene



vhod i tročita stranica
lijevac antene
nisu u istoj točki
uzima se ne pola
od te dva

Kut usmjerenosti

θ_D ϕ_D



to isto slučaj i drugim mjeru (drugi ravnini)

$$D = \frac{4\pi}{60\phi_D}$$

u radijansima kutovi

$$\frac{4\pi(180/\pi)^2}{60\phi_D} = \frac{41253}{60\phi_D}$$

-dobitak se lako mijeni, a kutovi usmjerenosti nesko

$$D = \frac{32400}{60\phi_D}$$

za antiske
nizave

ispod 1dB
razlike

Friisova formula

Antena u komunikacijskom sustavu



W_o snage odesujuće

G_o privadenu snagu gledamo, pa zato dobijec

G_p primjeno

$A_{eff, p}$ efektivna površina

W_p primjena snage

$$W_p = P_r \cdot A_{eff, p}$$

$$P_r = \frac{W_o G_o}{4\pi r^2}$$

gustota
snage na udaljenosti r

- nelinearni radajuće zračenje $0,5-1 \text{ W/m}^2$ } granica otpnute
kad smo na
otprilike sum frekv zastupljen
} nije opasno

- u nasoj vazi nejake gubimo ulazni, gubitci
snage pada sa $\frac{1}{r^2}$, val se sini, sve manje
je u nasem zelenom prostoru, to se ne
može izbjegi

$$W_p = P_r \cdot A_{eff, p} = \frac{W_o G_o}{4\pi r^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} G_p$$

$$W_p = W_o G_o G_p \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \cdot \frac{1}{r^2}$$

$$W_p = W_o G_o G_p \frac{1}{(4\pi)^2} \cdot \left(\frac{\lambda}{r}\right)^2$$

$$\frac{W_p}{W_o} = G_o G_p \frac{\lambda^2}{(4\pi r)^2}$$

NORMIRANA UDALJENOST
NA VALNU ~~DULINU~~

- antena ima dobitak manji od 0dB jer male antene
teško prilagođavamo pa imamo gubite u prilagođenju

EIRP

- efektivna izravnena snaga ERP

EIRP
 \downarrow

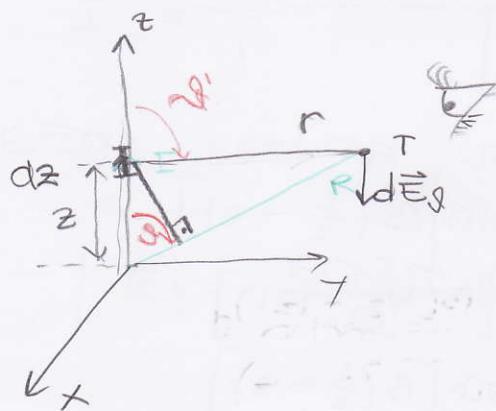
$$G_{\text{eff}} = EIRP$$

koliko nam je puta povećala
snaga zbog dobitka

- krade antene manji dobitak -2-4dB
- valika lošina $\rightarrow 16\text{dB}$
- uska antena \rightarrow horizontálni snop veći
- veći snop \rightarrow veća efektivna površina
- što veće dimenzije \rightarrow veću usmjerenost

DIPOL ANTENA

- do 1GHz
- općenito za zidane antene gornja granica je 1-2 GHz

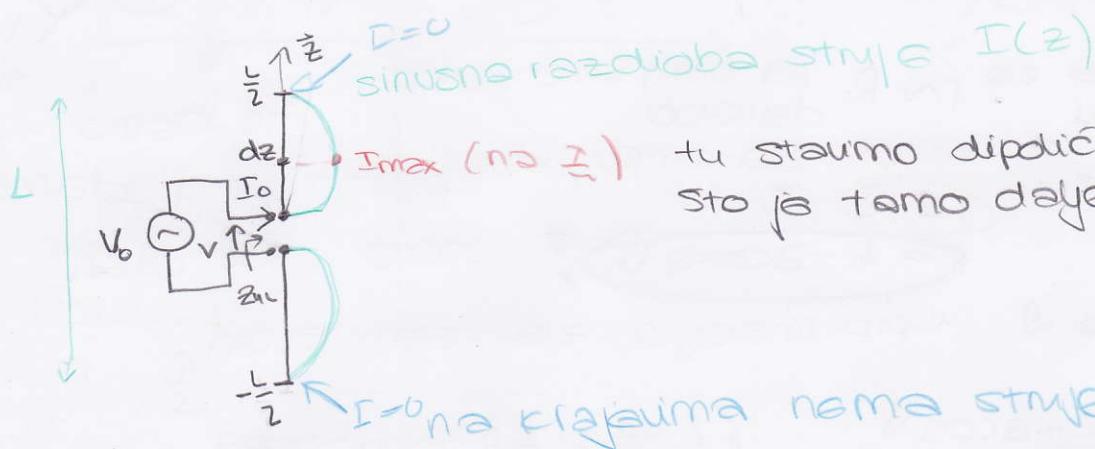


- struja teče u +z

- zamislimo da imamo niz dž-ovih zic, av razdioba struje ne mora biti konstantna

- o.k. na krajevima se gomila naboj, no ide struja u zrak, refleksija se natrag, zato imamo E polje, ali ne i magnetno
- najveće zračenje je otomito na struje struje

$$I(z) \rightarrow \text{max zračenje}$$



tu stavimo dipolic i gledamo sto je tamo daje sa doprinosom

$\int dE_s \rightarrow$ dobimo ukupan rezultat
 $\frac{1}{2} \rightarrow$ superpozicija \rightarrow zbroj pojedinih doprinosa (od puno izvora) jednak je ukupnom polju

\rightarrow varijable koja ovisi o $z \rightarrow$ udaljenost od hertzovog dipola

$R \rightarrow$ udaljenost od faznog sredista

$$R \gg \lambda \quad R \gg L \quad \lambda \rightarrow \infty \quad R \rightarrow \infty$$

(veličine 3 do 10 puta)

- aro se udayimo dnuogu daleko, možemo reći da su nam R i β paralelne zrave

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

§

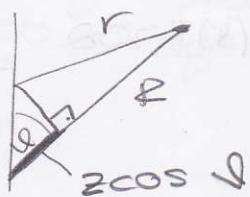
$$\begin{aligned} & \rightarrow I(z) = \text{Im} \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - z \right) \right] \\ & I(z) = \text{Im} \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} - |z| \right) \right] \\ & \rightarrow H(z) = \text{Im} \sin \left[\beta \left(\frac{L}{2} + z \right) \right] \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{Re} \left\{ e^{-j\beta r} \right\} = \cos(-\beta r)$$

$$dE_y = \frac{60\pi I(z)}{R^2} \cdot \sin \vartheta e^{-j\beta R} e^{j\omega t}$$

komponenta u
dalekoj zoni

aproximacija za
amplitudu



aprox. za amplitudu $r \approx R$ jer kad smo jaco
daleko

$r = R$!? isputiti je gledamo
 $r = R - z \cos \vartheta$ samo R član

aproximacija za fazni član

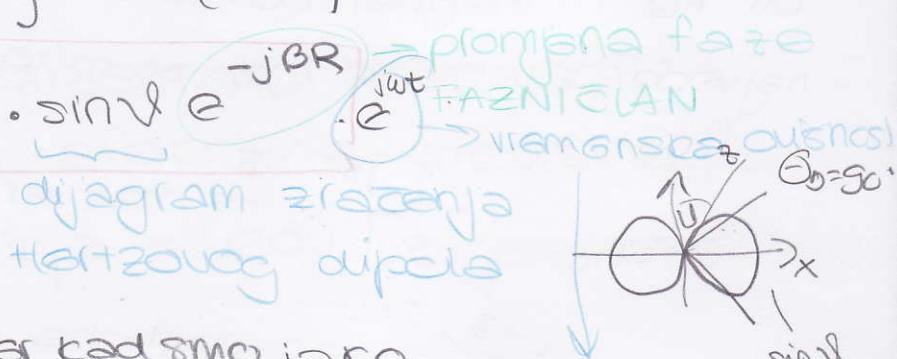
$$\frac{r}{R} = \frac{R - z \cos \vartheta}{R} = 1 - \frac{z}{R} \cos \vartheta \quad R \gg z$$

integriremo dE_y po z

$$E_y = \frac{60\pi}{R^2} \sin \vartheta \cdot e^{-j\beta z} \int_{-L/2}^{L/2} I(z) e^{jz \cos \vartheta} dz$$

$$e^{-j\beta R} \Rightarrow e^{-j\beta R} = e^{-j\beta(R - z \cos \vartheta)} = e^{-j\beta R} \cdot e^{j\beta z \cos \vartheta}$$

const, ne ovisi o z



to čemo

ispustiti jer gledamo

samo R član

- rezultat ovog integrala je

$$I = \frac{2\pi}{\beta} \cdot \frac{\cos(\beta \frac{L}{2} \cos \vartheta) - \cos(\beta \frac{L}{2})}{\sin^2 \vartheta}$$

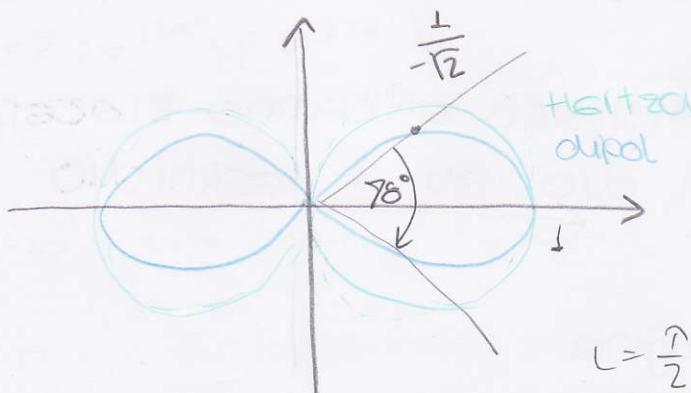
- i konačno kad ga vrstimo u nesto i $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$E_J = \frac{60 I_m}{R} \cdot \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \vartheta) - \cos(\frac{\pi}{2})}{\sin \vartheta}$$

$I_{max} \rightarrow \max \sinusne$
 $\sin \vartheta$ struje

$$\frac{\pi}{2} = \frac{120\pi}{2} = 60\pi$$

dijagram zračenja, ovisi o ϑ ,
ane o φ



Poluvalni dipol

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

$$E_J = \frac{60 I_m}{R} \cdot \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \vartheta)}{\sin \vartheta}$$

dijagram zračenja poluvalnog
dipola

kut usmjerenosti $\Theta_D = 78^\circ$

impedanija je $70\text{-}\Omega \Omega$ sto je super
jer su nam prilagođeni ujedno 50Ω ili
 75Ω

impedanca zracenja

$$W_z = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{E_l}{2} r^2 \sin\vartheta d\vartheta d\varphi$$

EFIKTIVNA VRUEDNOST

$$I_m = I_o = I(0)$$

$$W_z = 73.13 I_m^2$$

$$73.13 I_o^2$$

efektivna vrednost

$$R_z = \frac{W_z}{I_{act}^2}$$

otpor zracenja, ono sto je otislo iz našeg sustava

$$R_D = [73 \Omega + \sqrt{42.5}] \Omega$$

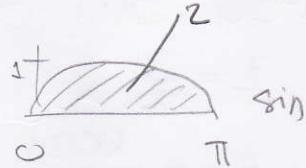
impedanca dupla

- smanjenjem zice, smanjujemo efikasno zracenje, smanjujemo reaktivni dio, ali i realni dio

$L_{ef} \rightarrow$ efektivna duljina

$A_{ef} \rightarrow$ efektivna povrsina

$$L_{ef} = \frac{1}{I_o} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} I(z) dz \rightarrow L_{ef} = \frac{\lambda}{\pi}$$



- kraca zice sa jednolikom razdublom, zračala bi isto kao $\lambda/2$ dupla

$$A_{ef} = L_{ef}^2 \frac{1}{R_z} \frac{\pi}{4} = 0.13 \text{ dB}$$

Hertz $D = 1.76 \text{ dB}$

to sad kao nije bitno
namaje bitna
usmjerenost

$D_{dB} = 2.15 \text{ dB}$
antena nam
je 2 x bolja
usmjerenosti i.e.

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

ovo je bitno

- u horizontalni dijagram zracenja horizontalnoj ravnini



$$P \quad [W/m^2]$$

$$\begin{matrix} H & [A/m] \\ E & [V/m] \end{matrix} \rightarrow P [W/m^2]$$

- kad nemamo struju \Rightarrow imamo max količinu nabejja i obrnuto naročno, kada se nabej počne gibati opst imamo struju

BUTZ 2

1. $E = \vec{x} 2e^{j30^\circ} + \vec{y} 3e^{j30^\circ}$

$0^\circ \qquad \qquad 0^\circ$

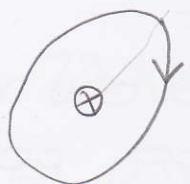
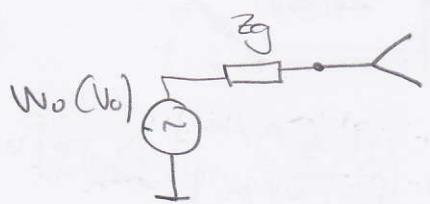
$A_0 = \infty$
 $A_0 = 3/2$

3. $C_e = 50 \quad 5mW \quad 100M \quad - 50m \quad 25$
sw 50 60

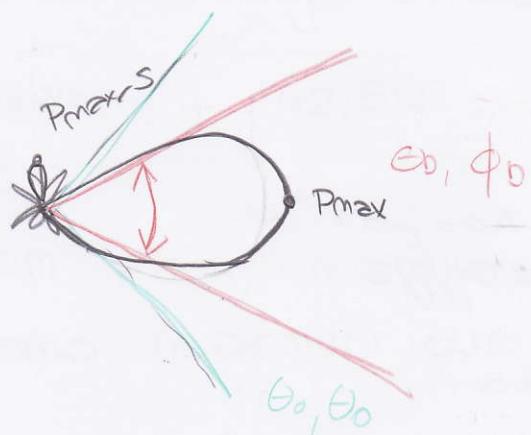
4. $\vec{r} : \vec{y}$

5. $R_n =$

Auditornel → Parametri antene



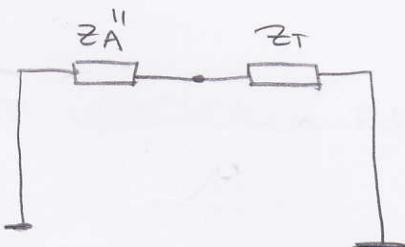
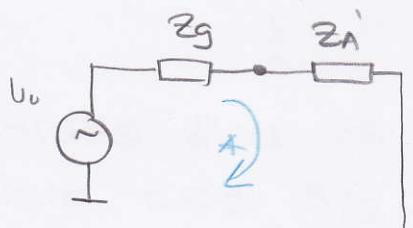
imamo gubitak
zboeg polarizacij stoga



- faktor potiskivanja secundarnih lanca to je omjer gustoće snage u max smjeru i nacs lanca

$$S = \frac{P_{\max}}{P_{\max,S}}$$

$$S = \log \frac{P_{\max}}{P_{\max,S}}$$



- generator antenu vidi kao traslo

* ako nemamo prikladnoje

$$\left. \Gamma_0 = \frac{Z_A' - Z_g}{Z_A' + Z_g} \right\} \begin{matrix} \text{odgovaraju} \\ \text{cija} \end{matrix}$$

$$\left. \Gamma_p = \frac{Z_T - Z_A''}{Z_T + Z_A''} \right\} \begin{matrix} \text{na pravam} \end{matrix}$$

$$W' = (1 - | \Gamma_0 |^2) W_0$$

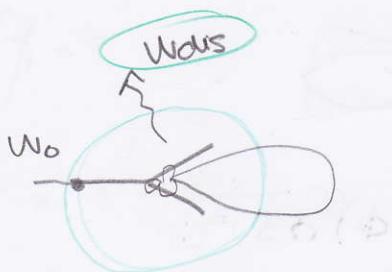
$$W_p' = W_p (1 - | \Gamma_p |^2)$$

OSV - odnos stojnih valova vezan za Γ

$$\boxed{OSV = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}}$$

oko 1-2-3

svi preko OSV = 3 je
ogromna refleksija



nješli smo prilagođenje i onda
imamo

$$W'_0 \leq W_0$$

$$G = k D$$

\downarrow
faktor iskorištenja

$$k = \frac{W'_0}{W'_0 + W_{dipole}} = \frac{\Sigma I^2 R_Z}{\Sigma A^2 (R_Z + R_{dipole})}$$

diziplina snage

$$\boxed{k = \frac{R_Z}{R_Z + R_{dipole}}}$$

- efektivna površina i dužina



$$W = A_{eff} \cdot P$$

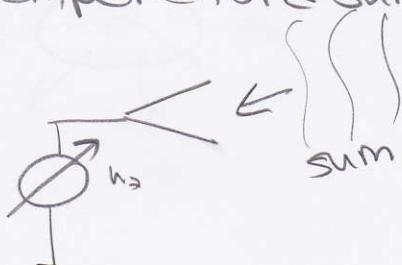
$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D$$

$$A_{eff,max} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D$$

\downarrow
ako stavimo $D \rightarrow$ onda je MAX

ako je $G \rightarrow$ to je EF tj.
stvarne

- temperatura sume



- sto i koliko duga prava antena koliko nista ne slijede
- ne ovisi koliko o samej anteni koliko o okolinu u kojoj se nalazi

$$\boxed{W_S = k A_{eff} T_S}$$

Boltzmannova konstanta

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} J/K$$

1. Antena radi o reaj. sust ima horiz i vert kut usmjer.

3° Ako anteni privodimo snagu iz generatora 1kW, kolika je jakost E u smjeru max zracenja na udaljenosti 500m?

Antena je bez gubitaka, usmjerena i prilagođena na generator

$$\Theta_D = 3^\circ \quad \phi_D = 3^\circ$$

$$W_0 = 1\text{ kW}$$

$$r = 500$$



$$P = \frac{E^2}{\eta}$$

$$P_{max} = \frac{W_0}{4\pi r^2} D$$

$$W_0 = \int \int P(\vartheta, \phi) dS =$$

$$= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_{\frac{\pi}{2}-\frac{60}{2}}^{\frac{\pi}{2}} P_{max} (2 \sin \theta d\theta d\phi) =$$

$$= \frac{W_0 D}{4\pi r^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} d\theta d\phi =$$

$$W_0 = \frac{W_0 D}{4\pi} \cdot \Theta_D \cdot \phi_D$$

$$D = \frac{4\pi}{\Theta_D \phi_D} \text{ eurad}$$

$$= \frac{41253}{\phi_D \Theta_D}$$

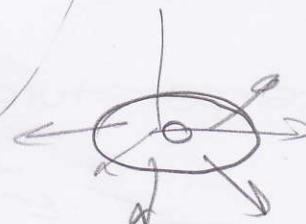
ovo su vrijednosti za antenu sa

dnevno ustim snopom $\Theta_D, \phi_D \leq 15^\circ$
do max 20°

vrijedni i ako imamo izotropno zracenje
ali jednog ravnini

$$\kappa = 0.7$$

$$Q = \frac{29000}{\Theta_D \phi_D}$$



$$D = \kappa \frac{41253}{\Theta_D \phi_D}$$

$$D = \frac{41253}{3 \cdot 3} \Rightarrow D = 4583,6$$

$$D = 10 \log D = 36,6 \text{ dB}$$

$\pm 1 \text{ dB}$ je dozvoljena toleranca

$$\text{pa } 1 \text{G} \quad \boxed{D = 36 \text{ dB}}$$

$$P_{\max} = \frac{W_0}{4\pi r^2} D = \frac{10^3}{4 \cdot 500^2 \pi} 4583 = 1.46 \text{ W/m}^2$$

$$P = \frac{E^2}{\eta}$$

$$E = \sqrt{P\eta} = 23.4 \text{ V/m}$$

oko nista
njo neglassno
o polarizaciji
ne dodajemo η^2
ili resni faktor

2. Rezonantni poluvolni dipol izraden je od bakrene zice uodljivosti $\sigma = 5.8 \cdot 10^7 \text{ S/m}$ ($R = \frac{\rho}{\sigma} \frac{l}{s}$). Odrediti efikasnost zračenja antene, faktor iskoristenja K na $f = 100 \text{ MHz}$ ako je poluprav zice $r_0 = 0.5 \text{ mm}$, a otpor zračenja dipola $R_Z = 73 \Omega$, ako dipol napajamo iz generatora snage 50 MW i unutarnje impedancije Z_0 , kolike će se snage izraditi u slobodni prostor.

$$\sigma = 5.8 \cdot 10^7 \text{ S/m}$$

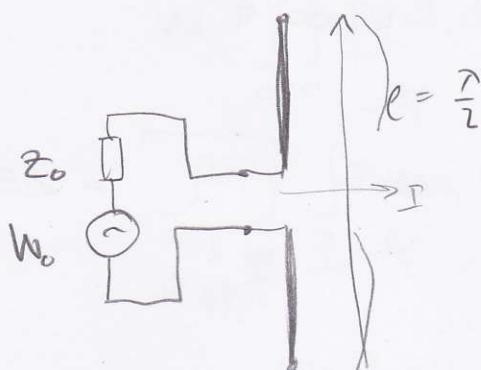
$$f = 100 \text{ MHz}$$

$$r_0 = 0.5 \text{ mm}$$

$$R_Z = 73 \Omega$$

$$W_0 = 50 \text{ MW}$$

$$Z_0 = 50 \Omega$$



faktor iskoristenja

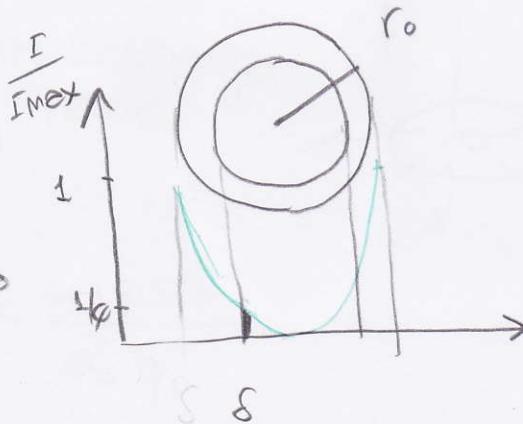
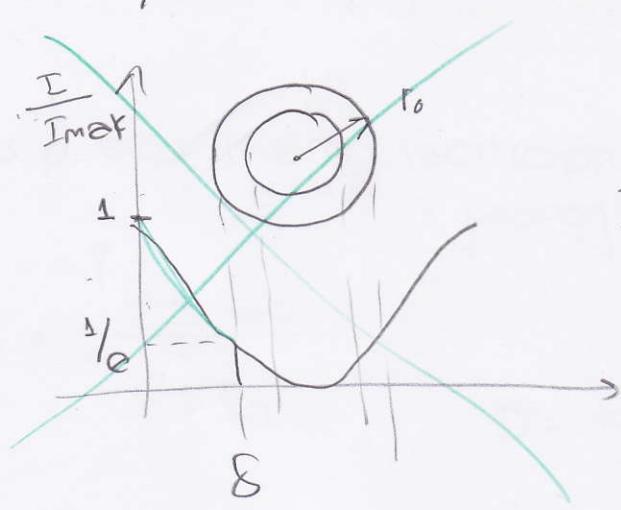
$$K = \frac{R_Z}{R_Z + R_{\text{par}}} \rightarrow \text{to desno neć}$$

$$R = \sigma \cdot l / s = \frac{1}{\pi} \frac{l}{s} =$$

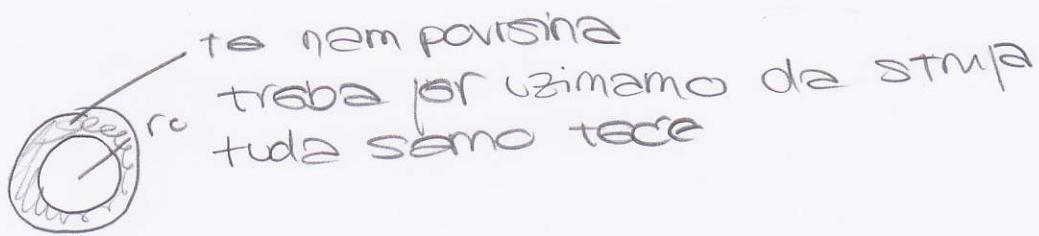
skin efekt / površnići učinak

stoga od ruba exp.

pade



$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 f \cdot w}} \quad \omega = 2\pi f \quad S = 11.7 \mu m$$



$$\delta = \sqrt{\frac{2\pi f_0}{Z_1 R_0}} \quad \text{razmotrimo radic}$$

$$R_{as} = \frac{1}{f} \cdot \frac{c}{s} = \frac{1}{f} \cdot \frac{\pi/2}{Z_1 \pi \delta} = \frac{\pi/2}{2100} \cdot \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot u}{2\pi}} = 1.24 \Omega$$

$$k_t = \frac{R_2}{R_2 + R_{as}} = \frac{73}{74.24} = 98.3\% \quad \begin{matrix} \uparrow \\ \text{antena je} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \rightarrow \\ \text{regulira} \end{matrix}$$

- koliko smo izgubili zbog napona/gootera

$$\Gamma = \frac{74.24 - 50}{74.24 + 50} = 0.195$$

$$- \text{factor gubitaka} \quad 1 - |\Gamma|^2 = 0.9619$$

$$w = w_0 \cdot (1 - |\Gamma|^2) k = 50 \text{ m} \cdot 0.962 \cdot 0.983 = 0.945 w_0 \\ = 47.27 \text{ m}$$