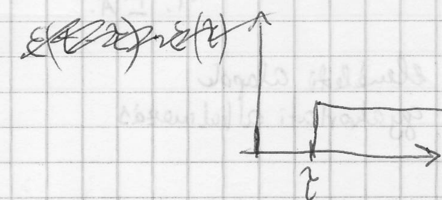
Rádió spektrum:

$f = 0\,Hz \rightarrow 10^{23}\,Hz$ (hullám-egyenlettel leírható itt)

ITU:	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF
f	3 kHz –	30 kHz –	300 kHz –	3 MHz				30 GHz
λ	100 km	10 km	1 km	100 m				1 mm

állandó helyű / mozgó



02. 12.

2. előadás

Rádiószolgálatok

Frekvenciakiosztás

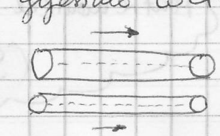
FNFE (felosztás)

\+ HÍRKÖZLŐ CSATORNA

\+ ZAJ

adó és vevő oldalon mindig van antenna.
(árbóc)

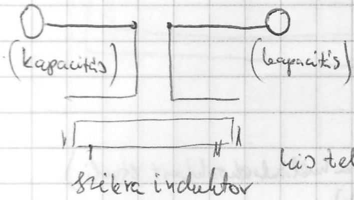
EM tér gerjesztéséhez gyorsuló töltések szükségesek:



- ~ váltakozó árammal lehet ilyet csinálni!

Vezeték antennák:

- van hosszirányú kiterjedése és összemérhető a λ-val
- vastagsága $<< \lambda$



kis teheres + nagy teheres

$\lambda = 6m$ $\leftarrow$ Egyenes antennák

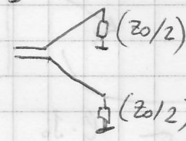
Görbe antennák

~~Keret antennák~~:

keret antenna

hajlított dipól

V antenna
5-10 λ hosszú



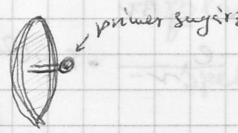
[haladó hullámú antenna] /mert le van zárva/

[mozgó sarkköri állomásokon]
- rövid hullámon -

Apertúra antennák

- összemérhetőek a hullámhosszal a méretei

pl: paraboloid reflektorok — a primer sugárzó kelti az áramot a tányérban.



peremfeltétel fényfelületen!

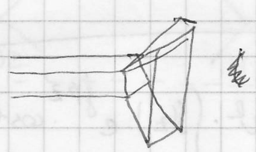
$$\underline{H} \sim \underline{I} \qquad \bar{F} = q(\underline{E} + \bar{v} \times \underline{B})$$

$$\underline{D} \sim q$$

Gauss — erőhatás — indukció

ha az $\bar{E}$ és $\bar{B}$ ismert $\Rightarrow$ minden megvan

- tölcsér antenna



Geoid

Karib-tengeren: ferde paraboloid alakú faragás!

+ antenna tömbök

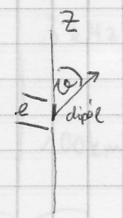
- patch antennák $\rightsquigarrow$ microstrip antennák!

Egyenes antennák

→ Hertz-dipólus

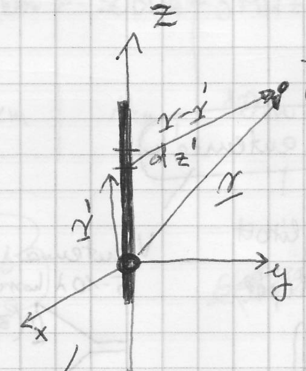
van $e^{-\alpha r}$ csillapítás is.

$$E_\vartheta = j\cdot\frac{60\pi}{\lambda}\cdot l\cdot I_0\cdot\frac{e^{-j\beta r}}{r}\cdot\sin\vartheta$$



$l/\lambda < 0{,}2$

normált hossz



(antenna méreteihez és a hullámhosszhoz képest távoli) távolipont $\boxed{d=>>\lambda}$

- felbontjuk elemi dipólokra
  a peremeken tovább folyik az áram

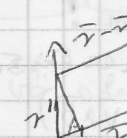
$$dE_\vartheta = j\cdot\frac{60\pi}{\lambda}\cdot\overset{l\cdot I_0}{I_z'\cdot dz'}\cdot\sin\vartheta\cdot\frac{e^{-j\beta\cdot|r-r'|}}{|r-r'|}\rightsquigarrow$$

$$\rightsquigarrow E_\vartheta = j\cdot\frac{60\pi}{\lambda}\cdot\sin\vartheta\int_L I(z')\cdot\frac{e^{-j\beta|r-r'|}}{|\bar r-\bar r'|}dz' \longrightarrow$$ minden távoltérben előfordul

[csak a $\sin\vartheta$ változik csak kevésbé]

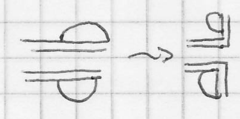
• $|r-r'| \overset{\text{távoltér}}{\simeq} |\bar r|$ → csak a nevezőben!

$\simeq |\bar r| - |\bar r'|\cdot\cos\vartheta$



$$E_\vartheta = j\cdot\frac{60\pi}{\lambda}\cdot\frac{e^{-j\beta r}}{r}\cdot\sin\vartheta\cdot\int_L I(z')\cdot e^{j\beta z'\cos\vartheta}\,dz'$$

$$\boxed{E_\vartheta = j\,\frac{60\pi}{\lambda}\cdot\frac{e^{-j\beta r}}{r}\cdot\sin\vartheta\cdot\int_L I(z')\cdot e^{j\beta z'\cdot\cos\vartheta}\cdot dz'}$$

de $I(z')$ nem ismerjük  $\rightsquigarrow I(z') = I_m\cdot\sin(\beta l - |z'|)$

$$\boxed{E_\vartheta = j\cdot 60\, I_m \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r}\cdot\frac{\cos(\beta l\cdot\cos\vartheta)-\cos\beta l}{\sin\vartheta}}$$

Zárt alak!

3. előadás

Antenna funkciók

Adó | Bója (szóró) | Vevő

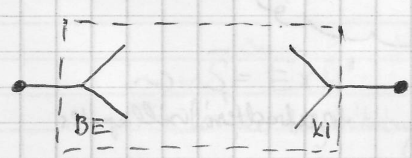
[echo antenna]

ALU GÖMB

- A rádiócsatorna egy közeg, amely az összes tulajdonságot meghatározza:
  - amplitudó
  - fázis
  - polarizáció
  - spektrum

  síkhullám [távoltér]

- A rádiócsatorna kétkapu: [teljesítményt tudunk hozzárendelni a kapukhoz]



Szakaszcsillapítás:

$$a_{sz} = 10\lg\left(\frac{P_{be}}{P_{ki}}\right)\ [dB]$$

( ) = régen napier $\left(\ln\left(\frac{P_{be}}{P_{ki}}\right)\right)$

$$\boxed{E_\vartheta = j\cdot 60\, I_m \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r}\cdot \frac{\cos(\beta l\cdot \cos\vartheta)-\cos\beta l}{\sin\vartheta}}$$

Zárt alak!

3. előadás

Antenna funkciók

Adó | Bója (szóró) [echo antenna] ALU GÖMB | Vevő

- A rádiócsatorna egy közeg, amely az összes tulajdonságot meghatározza:
  - amplitúdó
  - fázis
  - polarizáció
  - spektrum

  } síkhullám [távoltér]

- A rádiócsatorna kétkapu: [teljesítményt tudunk hozzárendelni a kapukhoz]

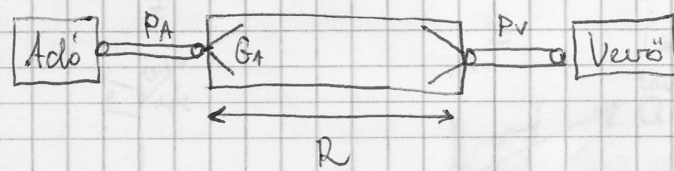
Szakaszcsillapítás:

$a_{sz} = 10\lg\left(\frac{P_{be}}{P_{ki}}\right)$ [dB]   ( ) ⇒ régen napier $\left(\ln\left(\frac{P_{be}}{P_{ki}}\right)\right)$

- a szakaszcsillapítás mindentől függ.

A hírközlő összeköttetés:

~~Az antenna reciprok~~



$$G_A = \frac{S_{max}}{S_0} \Rightarrow$$

főirány

izotróp

antenna nyereség

$$S_0 = \frac{P_A}{4\pi \cdot R^2}$$

izotróp átl. telj

AZ ANTENNA RECIPROK

$$S_{max} = \frac{P_A \cdot G_A}{4\pi R^2}$$

$$A_h = \frac{P_V}{S} = \frac{G_V \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

vettjel

hatásos felület

Poynting vektor

$$P_V = \underbrace{\frac{P_A \cdot G_A}{4\pi R^2}}_{S_{max}} \cdot A_h \Rightarrow \boxed{\frac{P_A \cdot G_A \cdot G_V \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} = P_V}$$

$$a_0 = 10 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 - G_A^{[dB]} - G_V^{[dB]}$$ szabadtéri csillapítás

$a_t \Rightarrow$ többlet csillapítás

$a_p \Rightarrow$ polarizációs csillapítás

$a_r \Rightarrow$ reflexiós csillapítás

$$\boxed{a_{szakasz} = a_0 + a_t + a_p + a_r}$$

ZAJOK

Külső zajhőmérséklet:

$$P_{ZA} = k \cdot T_A^{(K)} \cdot B$$

k: $1{,}38 \cdot 10^{-23}\ J/K$

$\boxed{\frac{S}{N} \rightarrow \text{signal to noise}}$

Belső zaj:

$$T_V = (F_V - 1)\, T_0$$

T_0: (300K)

$$T_{be} = T_A + T_V$$

$$P_{Zbe} = k \cdot T_{be} \cdot B$$

bemeneti zajtelj.

$10 \lg(k \cdot T_0) = -204\ \frac{dBW}{Hz}$

$$10 \lg P_{Zbe} = -204 + 10 \lg \frac{T_{be}}{T_0} + 10 \lg B$$

[dBW]

4. előadás

(mesélés)

iránykarakterisztika → egyenes dipólnál $l/\lambda \Rightarrow 0{,}625$ a fordulópont.

sugárzási ellenállás → kisugárzott teljesítménnyel arányos.

$$\frac{2 \cdot P_s}{I_0^2}$$

→ áramhas^2-re definiáljuk vagy a bemenetre

$\sim [\sin(\beta l)]^2$-tel átszámolható

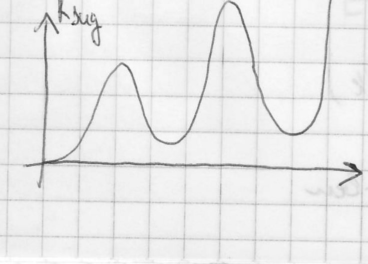
→ $\overline{S} = E \times \overline{H}^*$

komplex teljesítmény → meddő + hatásos

gömbre integráljuk

$$R_{sug} = 60 \cdot \int_0^{\pi} \frac{[\cos(\beta l \cdot \cos\vartheta) - \cos(\beta l)]^2}{\sin\vartheta}\, d\vartheta$$

→



$$R_{Hertz} = 80\pi^2 \cdot \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$$

- az antenna sokszorosan rezonáns rendszer.

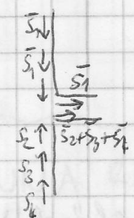
- irányhatás : $\frac{S_{max}}{S_0}$, $\boxed{\frac{P_{ki}}{4\pi r^2}=S_0}$

$0{,}625 = l/\lambda$ ezt sok helyen használják

fading a legkisebb ellen!

- hatásos hossz és felület
- az antenna tereli az EM hullámok energiáját (Poynting vektor)

az $\bar{S}$ vektor mászik a fémfelületen



- nyereség mindig kisebb, mint az irányhatás!

5. előadás

Hatásos hossz:

Adóantenna

kifelé haladó hullám

$$\bar{E}(r) = j\,\frac{60\pi}{\lambda}\cdot\frac{e^{-j\beta r}}{r}\,I(0)\cdot\bar{h}(\vartheta,\varphi)$$

távoltér! — komplex hatásos hossz

$$h(\vartheta,\varphi) = h_e \cdot F(\vartheta,\varphi)$$

főirányban a hatásos hossz — normált max irányban 1

$$h_e = \frac{1}{I(0)}\int_{-l}^{l} I(z)\,dz$$

mintha állandó I(z) folyna (átlagérték)

POLÁR KOORDINÁTÁS LEÍRÁS dB-ben

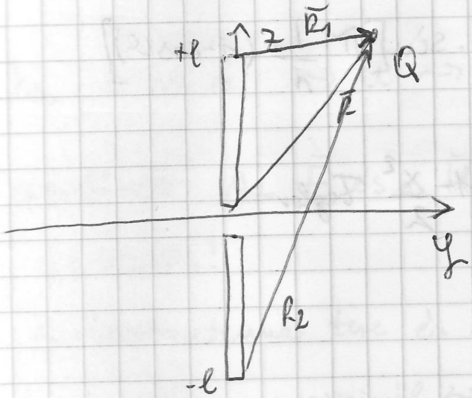
dipólra: $h_e = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{1-\cos\beta l}{\sin\beta l}$

$\frac{\lambda}{2}$ antenna effektív hossza $\Rightarrow \left(\frac{\lambda}{\pi}\right) \sim 64\%$

vevőantennára ugyanez a reciprocitás miatt.

! ! !

Lineáris antennák közeltere:



$$E_z(Q) = -j \cdot 30 I_m \cdot \left(\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} + \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} - 2\cos(\beta l) \cdot \frac{e^{-j\beta R}}{R} \right)$$

$E_y(Q) =$ hosszú

$$= j \frac{30 I_m}{y} \left((z-l) \cdot \frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} + (z+l) \cdot \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} - 2\cos(\beta l) \cdot z \cdot \frac{e^{-j\beta R}}{R} \right)$$

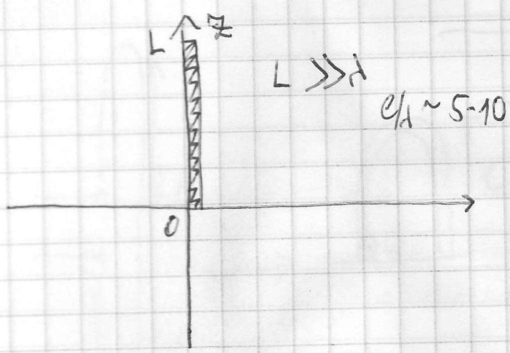
monopól
314 m
540 kHz

$z = 0$-ban!

$E_z = 33{,}6$ V/m   20 V/m fellett erősen veszélyes

nem veszélyes térerősség 3 V/m

Egyenes haladó hullámú antenna:



$L \gg \lambda$

$l/\lambda \sim 5\text{-}10$

$I(z) = I_0 \cdot e^{(j\omega t - \gamma z)}$ lezárjuk az antennát

$\gamma = \alpha + j\beta$

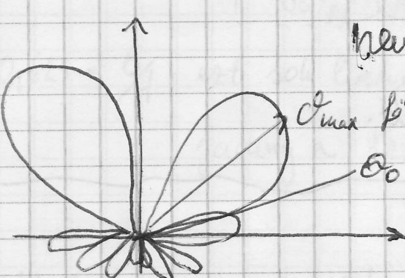
ha $\alpha = 0 \rightsquigarrow$

$$E_\vartheta = j \frac{60\pi}{\lambda} \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cdot \sin\vartheta \cdot \int_0^L I(z) \cdot e^{j\beta z \cos\vartheta} dz$$

$e^{j\omega t} =$

$$\overline{E}_\vartheta = j\frac{60\pi}{\lambda}\cdot I(0)\cdot\frac{e^{-j\beta r}}{r}\cdot\sin\vartheta\cdot\frac{e^{j(\beta\cdot\cos\vartheta-\cancel{\gamma})L}-1}{j\beta\cdot\cos\vartheta-\gamma}\cdot e^{j\omega t}$$

nem $\vartheta=90°$-nál van a max

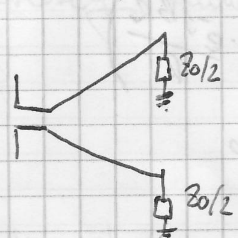


$$\left|E_\vartheta\right| = \frac{60\,I_0}{r}\cdot\frac{\sin\vartheta}{1-\cos\vartheta}\cdot\sin\left[\pi\cdot\frac{L}{\lambda}(1-\cos\vartheta)\right]$$

$$\cos\vartheta_{max} = 1-\frac{\lambda}{2L} \rightsquigarrow \cos x = 1-\frac{x^2}{2} \text{ Taylor}$$

$$\vartheta_{max} \simeq \sqrt{\frac{\lambda}{\ell}}$$

$$1 \text{ nullhely} = \Theta_0 = \sqrt{2\frac{\lambda}{L}}$$

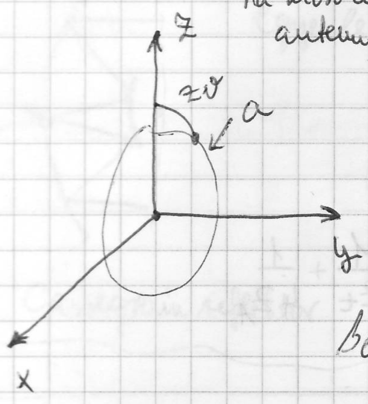


esetleg rombuszantenna

összerakva 2 ilyen

6. előadás

ha kicsi az antenna



1. rendű, 1. fajú Bessel-fv

$$\bar{E}_\varphi = -j\omega\mu_0 \frac{a \cdot I_0}{2} \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cdot J_1(u)$$

$$u = \beta \cdot a \cdot \sin(\vartheta)$$

Bessel fv-el.

közelítés

$$\text{ha} \quad a \ll \lambda \rightarrow \tilde{u} \rightarrow \tilde{\bar{E}}_\varphi = -\frac{j\omega\mu_0 \cdot a \cdot I_0}{2} \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cdot \frac{\beta \cdot a \cdot \sin(\vartheta)}{2}$$

~~az E-nek~~ Az $\bar{E}$ és a $\bar{H}$ helyet cserélt a Hertz dipólushoz képest

dualitás!

a keretantenna tere és a Hertz-dipól tere egymás duálisa.

kicsi köráram messziről ⟺ szinuszosan pulzáló mágneses ~~tér~~ dipólus

$$\bar{E}_\varphi = -j\left(\frac{\pi \cdot a}{\lambda}\right)^2 \cdot \underbrace{\eta_0}_{Z_0} \cdot I_0 \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cdot \sin(\vartheta)$$

Sugárzási ellenállás: $\frac{P}{I^2}$ ← Poynting vektorból számoljuk távoltérben.

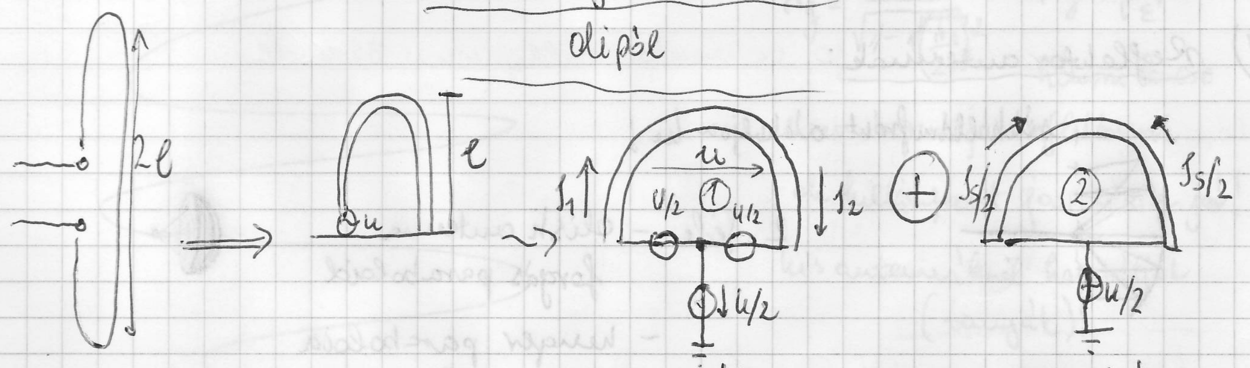
$$\boxed{R_s = 20\pi^2 (\beta \cdot a)^4}$$

Keretantenna: áramdomináns tér

Hertz-dipól: feszültség-domináns tér

növelhető a sug. ell. több ~~tekercs~~ menet segítségével

Hajlított dipól

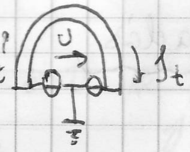


asszimetrikus táplálás (egyik 0 másik véges potenciál)

rövidrezárt tápvezeték ← szimmetrikus táplálás miatt

② $I_s = \frac{U/2}{Z_A} = \frac{U}{2 \cdot Z_a}$

bemeneti impedancia

① 

$$I_t = \frac{U}{Z_t} = \frac{U}{j Z_0 \, tg(\beta l)}$$

$$Y_{be} = \frac{1}{Z_t} + \frac{1}{4 Z_A}$$

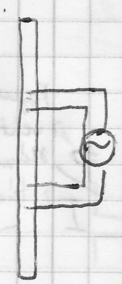
$$I_1 = I_t + \frac{I_s}{2} = \frac{U}{Z_t} + \frac{U}{4 Z_a}$$

$$I_2 = I_t - I_s/2$$

$l = \frac{\lambda}{4}$ esetén

$Z_{be} = 4 Z_A \simeq 280\,\Omega$

az antenna kábel hullámimpedanciája 300Ω volt, ehhez illesztett a hajlított dipól.



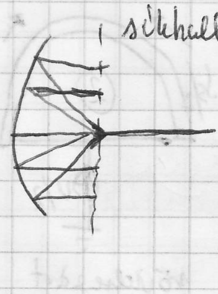
lehet az impedanciát változtatni! aszerint, hogy hova csatlakozunk!

Apertúra antennák

reflektor, lencse, tölcsér

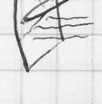
1) Reflektor antennák:

síkhullámfront alakuljon ki!



2 féle: - dish antenna
forgás paraboloid

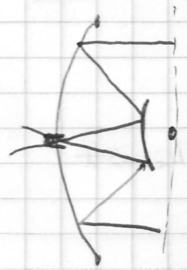
- henger paraboloid



keskeny nyaláb!

csőtápvonal

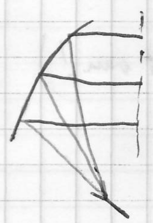
Egyszerű, robosztus rendszerek!



Egyenletesebb teret lehet vele kelteni

Cassegrain reflektor

Offset-antenna



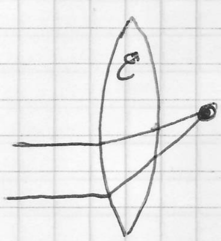
antenna felülete nincs takarva ✓

polarizációs problémák ✗

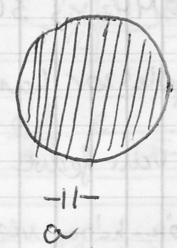
H–V polarizációs irány romlik

Lencse antennák:

lehet $\lambda/2$-es bevágásokat betenni (koncentrikus gyűrűk)



lehet fémlencse:



polarizáció!!

TE10 csőtápvonal!

$$\frac{\lambda}{2} \leq a < \lambda$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}} \qquad \lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon}}$$

homorú lencse

nem használják reflektornak

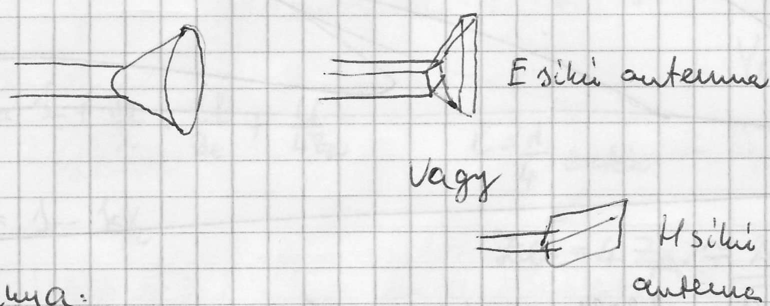
de hullámfront javításra jó!

kis antennáknél használják (tanyák)

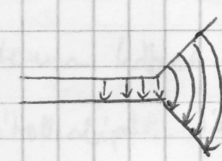
7. előadás

apertura: nyílás, amelyen EM áramlik át.

Tölcsér antenna: transzformátor a csőtápvonal és a szabadtér között.



hátránya:



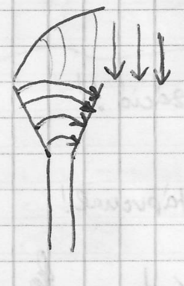
fázishiba van (nem síkhullámfront van!)

javítás: dielektrikumos lencsével!

inkább kísérletekre...

reflektor antennák primer sugárzóinak használják leggyakrabban.

Tölcsér paraboloid:



300 MHz és 3 GHz között!

sokszor használták

le van fedve műanyag ~~takaró~~ borítással

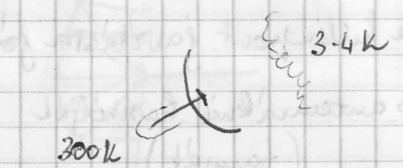
előre-hátra viszonya jó ~60-65 dB

(szél-effektus)
pereméken

pont-pont összeköttetés

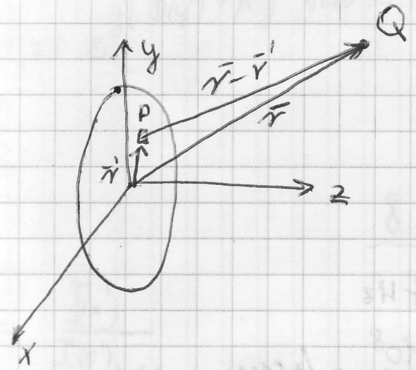
jó a keresztpol. csillapítása: 35-40 dB

előre-hátra problémát okoz!

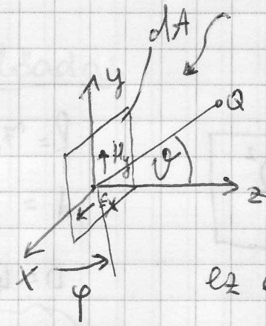


háttérsugárzás nagyobb!

apertura távoltere:



egy kis „P" felületelemen
az E, H eloszlás
kellene!



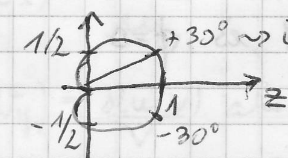
$$E \overset{120\pi}{\sim} H$$

ez egy Huygens-felület!

$$dE_\vartheta = E_x \cdot \frac{dA}{\lambda} \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cdot \frac{1+\cos\vartheta}{2} \cdot \cos\varphi$$

$$dE_\varphi = E_x \cdot \frac{dA}{\lambda} \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cdot \frac{1+\cos\vartheta}{2} \cdot \sin\varphi$$

$$|dE| = E_x \cdot \frac{dA}{\lambda} \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r} \left(\frac{1+\cos\vartheta}{2}\right)$$



$$dE = E_x \cdot \frac{dA}{\lambda} \cdot \frac{e^{-j\beta|\bar{r}-\bar{r}'|}}{|\bar{r}-\bar{r}'|}$$

$$\boxed{E(\bar{r}) = \frac{1}{\lambda} \cdot \iint_{A'} E(\bar{r}') \cdot \frac{e^{-j\beta|\bar{r}-\bar{r}'|}}{|\bar{r}-\bar{r}'|}\, dA}$$

távoltérben ⇝

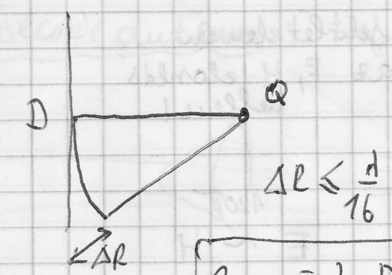
x-y síkban van!

$$E(\bar{r}) = \frac{e^{-j\beta\bar{r}}}{\lambda \cdot \bar{r}} \cdot \iint_{A'} E(\bar{r}') \cdot e^{+j\beta\bar{r}'}\, dA'$$

Fraunhofer zónában ezzel
lehet számolni

Közeltérben: Fresnel-zóna

- sok és heves interferenciák



$$\boxed{R_{min} = \frac{2 \cdot D^2}{\lambda}}$$

(ahol közeltér van)

$f = 7{,}5\ GHz$

$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{7{,}5 \cdot 10^9} = 4\ cm$

$D = 4\ m$

$R_{min} \sim 800\ m$!!!

Amplitudó és fázis-eloszlás függvény (becsült értékek)

$$E(\bar{r}') = E_0 \cdot f_0(\bar{r}') \cdot e^{j\phi(\bar{r}')}$$

ideális apertúra: ha $f_0 = 1$ és $\phi = 0$

négyszögletes apertúra:

$\bar{r}:\ x \cdot \bar{e}_x + y\, \bar{e}_y$

$\bar{e}_r = \sin\vartheta \cos\varphi\, \bar{e}_x + \sin\vartheta \cdot \sin\varphi \cdot \bar{e}_y + \cos\vartheta\, \bar{e}_z$

$$E(\bar{r}) = \frac{E_0 \cdot e^{-j\beta r}}{\lambda r} \cdot \iint f(x', y') \cdot e^{j\phi(x', y')} \cdot e^{j\beta(x' \cdot \sin\vartheta \cdot \cos\varphi + y' \cdot \sin\vartheta \sin\varphi)}\, dA$$

+ $f(x', y') = f(x') \cdot f(y')$

$\phi(x', y') = \phi(x') + \phi(y')$

$\Downarrow$

külön integrálható!

$$I_x = \int_a f(x') \, e^{j[\Phi(x') + \beta x' \cdot \sin\vartheta \cdot \cos\varphi]} \, dx'$$

$$I_y = \int_b f(y') \, e^{j[\Phi(y') + \beta y' \cdot \sin\vartheta \sin\varphi]} \, dy'$$

(I elosztás!)

$\boxed{\text{X-Z síkban}}$ ($\varphi = 0$)

I_y = konstans! ($\sin\varphi = 0$)

I_x = csak ϑ függő ($\cos\varphi = 1$)

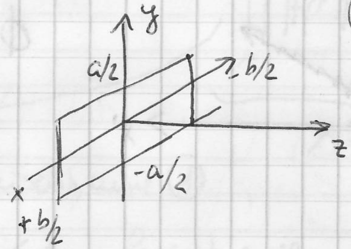
8. előadás

$$F(\vartheta_x) = \frac{I(x')}{I(x')_{max}}$$

iránykarakterisztika

feladat: apertura, ideális

x-y síkban ($\cos\varphi = 1$)



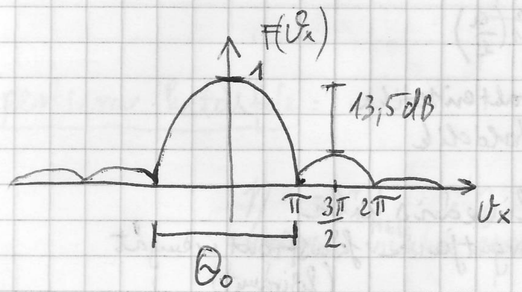
$$f(\overline{r}) = 1 \quad \phi = 0$$

$$I(x') = \int_{-a/2}^{a/2} 1 \cdot e^{j\beta x' \cdot \sin\vartheta} \, dx'$$

$$I(x')_{max} = a$$

$F(\vartheta_x) = \frac{\sin u}{u}$ ahol $u = \pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \vartheta_x$

$F(\vartheta_y) = \frac{\sin(v)}{v}$ ahol $v = \pi \cdot \frac{b}{\lambda} \vartheta_y$



$(\sin(x)/x)$ ⎍ ez egy Fourier transzformáció

megvilágítási fv. Fourier trafója az iránykarakterisztika

$$R(x', y') \overset{\mathcal{F}}{\rightsquigarrow} F(\vartheta_x, \vartheta_y)$$

$\frac{\Theta_0}{2} \rightarrow$ ha $u = \pi \rightsquigarrow \sin\vartheta_0 = \frac{\lambda}{a}$ ha $a/\lambda \geq 5$ (nagy antenna)

$$\Theta_0 = 2 \cdot \frac{\lambda}{a} \; [\text{radián}]$$

3dB pont? $\rightarrow \sin\vartheta_{3dB} \Rightarrow$

$$\Theta_{3dB} = 0{,}886 \; \frac{\lambda}{a}$$

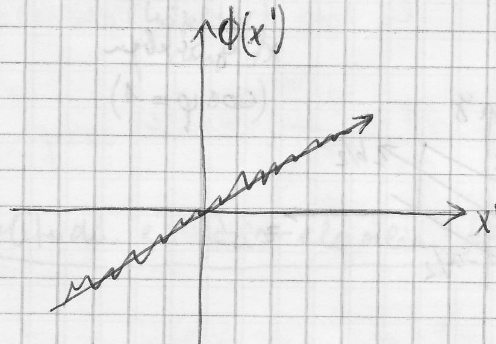
Pl: $f = 6\,GHz$ $\lambda = 5\,cm$

$\frac{a}{\lambda} = 50$ $\frac{b}{\lambda} = 40$? feladat!

$\Theta_{0a} = 2{,}3^\circ$ $\Theta_{0b} = 2{,}88^\circ$

$\Theta_{3dBa} = 1^\circ$ $\Theta_{3dBb} = 1{,}27^\circ$

Fázishibák:



véletlen és rendszeres fázishiba

$$\Phi_S(x') = C_1(x') + C_2(x')^2 + C_3(x')^3$$

Taylor sor 3. fokáig!

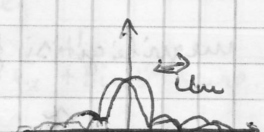
3-ad fokú fázishibák is kellenek!!

1. fokú fázis-hiba: (lineáris)

$$F(u) = \frac{1}{2}\int_{-1}^{1} f(x)\, e^{jC_1\left(\frac{a}{2}\right)x}\, e^{jkx}\, dx$$

$\Rightarrow F(u - U_m)$ $U_m = C_1\left(\frac{a}{2}\right)$

a karakterisztika eltolódik

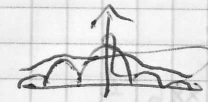


a lineáris hiba elforgatja a fázisfront irányát (főirányt)!

(csóválás) és használható!

$\sin \vartheta_m = \frac{C_1}{\beta}$

2. fokú hiba: (négyzetes) ellapul a karakterisztika, rossz lesz a melléknyaláb elnyomás! (szimmetrikusan)



3. fokú fázishiba: ugyanaz mint 2. fokú + aszimmetriát visz be.

Apertura antenna nyeresége és hat. felülete:

$G = D$

nincs fázishiba $\quad r'\bar{e}_r = 0$

lineáris polarizáció

$G = \frac{S_{max}}{S_0} \qquad S_{max} = \frac{|E_{max}|^2}{240\pi} \qquad |E_{max}| = \frac{\left|\iint_A \bar{E}(\bar{r})\, dA\right|}{\lambda \cdot r}$

$S_0 = \frac{P_S}{4\pi \cdot r^2}$

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{\left|\iint_A E(\bar{r})\, d\hat{A}\right|^2}{\iint_A |E(\bar{r})|^2\, dA} = \underbrace{\frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{\left|\iint_{\hat{A}} f(\bar{r}') \cdot e^{j\Phi(\bar{r}')}\, dA\right|^2}{\iint_A |f(\bar{r})|^2\, dA}}_{A_h}$$

$f(\bar{r})$ = megvilágítási fv

$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_h$

ez mindig kisebb, mint 1

$\eta = \frac{A_h}{A} \qquad \eta \leq 1$ legjobb esetben a hatásos felület = apertura felület.

körkörös antenna (Bessel-fv)

9. előadás

apertura hatásfok:

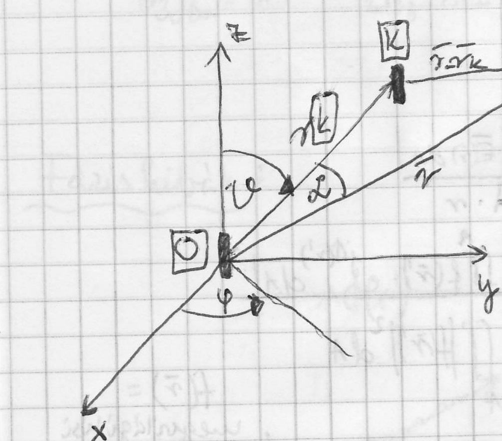
$$\eta_{apertura} = \eta_{MEGVILÁGÍTÁS} \cdot \eta_{BLOKKOLÁSI} \cdot \eta_{túlsugárzási} \cdot \eta_{felületi} \cdot \eta_{P} \cdot \eta_{RADOM}$$

- BLOKKOLÁSI: primer sugárzó
- felületi: a felület nem tökéletesen paraboloid
- P: polarizációs vektor hiba
- RADOM: radar-t fedő műanyag ház veszteség

utolsó téma következik

Antenna rendszerek

- több antennával dolgunk, azonos antennával!



- egyformán állnak

nagyon messze van Q pont.

1-re normált

$$\overline{E}_0(\bar{r}) = U_0 \cdot \overline{F}(\vartheta,\varphi) \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r}$$

$$U_0 = \sqrt{30 \cdot P_A \cdot G_A}$$

$$\overline{F}(\vartheta,\varphi) = F(\vartheta,\varphi) \cdot e^{j\phi(\vartheta,\varphi)} \cdot \bar{p}(\vartheta,\varphi)$$

Közelítés: az antennák (távolról) párhuzamosak ezért ϑ és φ mindig ugyanaz

$$\overline{E}_k(\bar{r}) = U_0 \cdot \underset{\text{gerjesztések különbsége}}{I_k} \cdot \overline{F}(\vartheta,\varphi) \cdot \frac{e^{-j\beta(|\bar{r}-\bar{r}_k|)}}{\underbrace{|\bar{r}-\bar{r}_k|}_{\simeq \bar{r}}}$$

$r - \bar{r}_k \bar{e}_r$

Nem $\simeq \bar{r}$ .. mert kis változás is számít!

$$\overline{E}_k(\bar{r}) \cong \underbrace{U_0 \cdot I_k \cdot \overline{F}(\vartheta,\varphi)}_{E_0(\bar{r})} \cdot \frac{e^{-j\beta(r-\bar{r}_k\cdot\bar{e}_r)}}{\bar{r}}$$

$$\overline{E}_0(\bar{r})\, I_k \cdot e^{+j\beta \bar{r}_k\cdot\bar{e}_r}$$

n darab antenna:

$$\boxed{\overline{E}(\bar{r}) = \overline{E}_0(\bar{r}) \cdot \sum_{k=0}^{n-1} I_k \left(e^{j\beta \vec{r}_k\cdot\vec{e}_r}\right)}$$

~~kedvez~~

k darab, véges távolságban egymástól.

$$\Rightarrow \overline{E}(\bar{r}) \cdot F_i(\vartheta,\varphi)$$

$$F_i(\vartheta,\varphi) = \sum_{k=0}^{n-1} I_k \cdot e^{j\beta \bar{r}_k \cdot \cos(\alpha_k^0)}$$

$\bar{r}_k$, α, $\bar{r}$

$$\bar{e}_r \cdot \bar{e}_k \cdot \cos(\alpha_k) = \sin\vartheta \cdot \sin\vartheta_k \cdot \cos(\varphi-\varphi_k) + \cos\vartheta \cdot \cos\vartheta_k$$

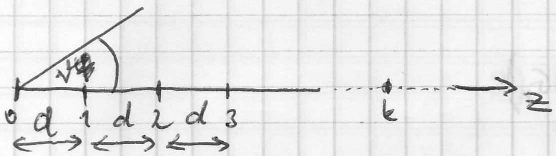
$I_k = |I_k| \cdot e^{j\delta_k}$

$\delta_k = -\beta \bar{r}_k \underbrace{\cos \alpha_{Mk}}_{\bar{e}_k \cdot \bar{e}_M}$ ~ futási idő

$F_i(\vartheta_M, \varphi_M) = \sum_{k=0}^{M-1} |I_k|$ $\rightsquigarrow$ minden összeadódik (haladó hullámú táplálás)

Marconi fogalmatlan

Ekvidisztáns antennasor:



$r_k = z_k = k \cdot d$

arc(0°) kezdésnél

$\mathrm{arc}\, I_k - \mathrm{arc}\, I_{k-1} = \delta$ / $\mathrm{arc}(I_k) = k \cdot \delta$

ϑ_M $\quad \delta = -\beta \cdot d \cdot \cos\vartheta_M$ $\quad \left| \delta / \beta \cdot d \right| < 1$ kell!

a lépésköz távolságot nem lehet fénysebességnél gyorsabban megtenni.

(orrsugárzó)

$\vartheta_M = 0° \rightsquigarrow \delta = -\beta d \quad \vartheta_M = 180° \rightsquigarrow \delta = \beta d$

sokszor egységesítenek!

Hullámterjedés

Nagy Lajos

rádiócsatorna

L_{bf}: basic-freespace szabadtéri csillapítás, izotróp antennák között

$$L_{bf} = 20\lg\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)$$ szab. téri csillap.. izotróp antennák közt

$$L_0 = 20\lg\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) - G_T - G_R$$ szab. téri csillap. nyereséges antennák közt.

$$L_{sz}^{dB} = L_0^{dB} + a_t^{dB}$$ szakaszcsillapítás

közeg-többletcsillapítása

$$L_0 = 32{,}44 + 20\lg(f) + 20\log(d) - (G_t + G_r)$$
(MHz) (km)

- atmoszféra felépítése

↳ troposzféra : 0 - 10 km (majdnem az összes terjedés itt) [mobil, földi, mikrohullám]

– törésmutató változása

(függvénye: T, p, e) → meteorológiai tényezők!

hőm. ~~nyomás~~ nyomás, vízgőz parciális nyomása

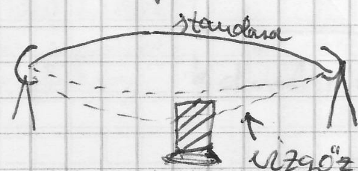
magasság!

tudjuk $n(h)$ nagy átlagra

törésmutató

terjedési modell: $\frac{4}{3}$ földsugár!

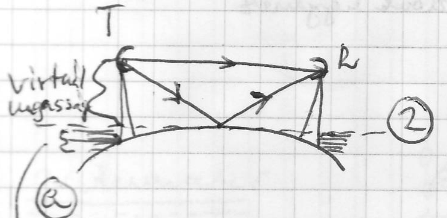
(arab öböl probléma) vízgőzök



↳ ionoszféra refrakció a szabad elektronok miatt
elhajlás!
40-50 km felett

diffrakció : benyúló tereptárgy

$f = 30\ \mathrm{MHz} - 3\ \mathrm{GHz}$

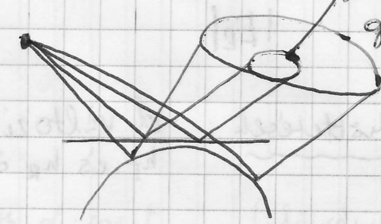


antenna magasságát levonjuk

1) reflexió sík talajon történik $\boxed{T, \Gamma}$

a) reflexió görbült talajon $\boxed{\Gamma = D \cdot \Gamma_{sík}}$

(D: divergencia)



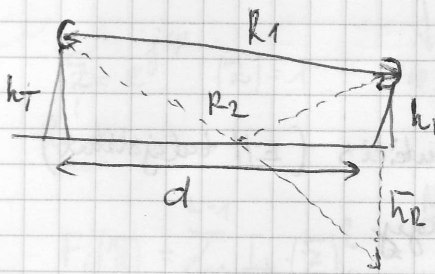
$D < 1$

2) kétutas terjedés sík talaj fölött álló antennákra

a) sík alatti antenna magasságot levágjuk.

(geometriából számítható)

Kétutas sík föld felett



$d \gg h_T, h_R$

$R_1 = \sqrt{d^2 + (h_T - h_R)^2}$ direkt

$R_2 = \sqrt{d^2 + (h_T + h_R)^2}$ reflektált

$\Delta = R_2 - R_1$

$$R_1 = d \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h_T - h_R}{d}\right)^2} \overset{\text{Taylor}}{\approx} d\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{h_T - h_R}{d}\right)^2\right]$$

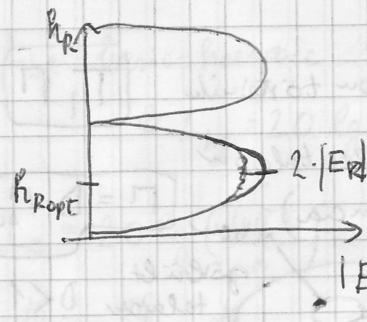
$$E_R = \underset{1/R_1}{E_d} + \underset{1/R_2}{E_r} \simeq E_0 + \underset{\text{[illegible]}}{\Gamma} \cdot E_0 \cdot e^{-j\beta \Gamma}$$

$$E_R \approx \left[1 + \underset{\Gamma = -1}{\Gamma} \cdot e^{-j\beta\Delta}\right]$$

1) Állandóhelyű ök.

$d =$ állandó

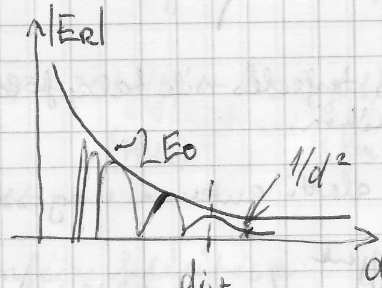
h_T is



$$h_{R_{opt}} = \frac{\lambda \cdot d}{4 h_T}$$

időben késik a jel
de a fázisuk ugyanaz

2) Mozgó összeköttetések: d változik
h_T és h_R állandó



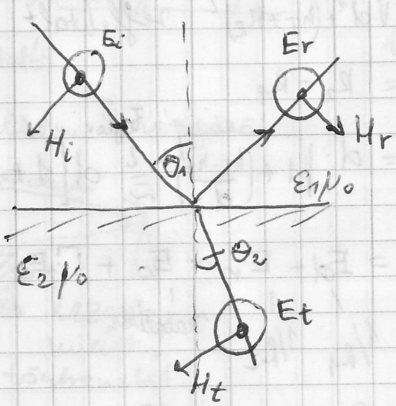
$$d_{int} = \frac{4 h_T h_R}{\lambda}$$

$|E_R| \sim \frac{1}{d^2}$ az interferencia zónán kívül

$|P_R| \sim \frac{1}{d^4}$

d_{int}-en kívül

Talajreflexió:



Horizontális ($E \parallel$ talajsíkkal)

vagy

(Vertikális)

$\Gamma^H = \frac{E_r}{E_i}$ horizontális talajreflexió

$T^H = \frac{E_t}{E_i}$

Síkhullámok: $H_i = E_i \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\mu_0}}$

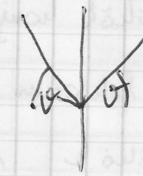
$H_t = E_t \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\mu_0}}$

$$\boxed{\begin{aligned} &E_i + E_r = E_t \\ &(H_i - H_r) \cdot \cos\Theta_1 = H_t \cdot \cos(\Theta_2) \end{aligned}}$$

Snellius-Descartes: $\frac{\sin\Theta_1}{\sin\Theta_2} = \frac{\sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1}} = \sqrt{\varepsilon_r}$

$$\Gamma^{H} = \frac{\cos\Theta_1 - \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\Theta_1}}{\cos\Theta_1 + \sqrt{\varepsilon_r + \sin^2\Theta_1}} = \frac{\sin\vartheta - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\vartheta}}{\sin\vartheta + \sqrt{\varepsilon_r + \cos^2\vartheta}}$$

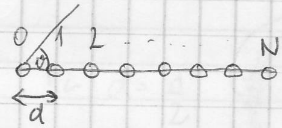
kiegészítő szög



frekvenciafüggés (ε_r miatt)

11. előadás

antennasor



ekvidisztáns antennasor

$F_i(\vartheta)$:

k-dik antenna árama: $I_k \cdot e^{jk\delta}$ $\delta = -\beta \cdot d \cdot \cos\vartheta_m$ (főirányba sugároz)

progresszív gerjentésű

ha $\vartheta_m = 0, 180°$ → irrsugárzó

komplex szög ha $\vartheta_m = 90°$ → oldalsugárzó

ϑ-ból → ψ-be

$$\psi = \delta + \beta d \cdot \cos\vartheta$$

$$\boxed{F_i(\psi) = \sum_k I_k e^{jk\psi}}$$

irány karakterisztika

$\psi(0) = \delta + \beta \cdot d$

$\psi(90°) = \delta$

$\psi(180°) = \delta - \beta \cdot d$

180° 2·βd intervallum!

ha $\frac{\lambda}{2}$-nél kisebb ⇒ kör

$\overline{z} = e^{j\psi}$ $|z| = 1$

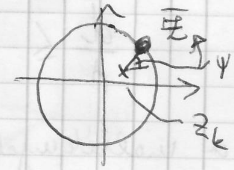
komplex szám.

$$\boxed{\sum_{k=0}^{N-1} I_k \cdot \overline{z}^{k}}$$

$$F_i(\overline{z}) = \sum_{k=0}^{N-1} I_k (\overline{z})^k = \prod_{k=0}^{N-1} I_{N-1} \cdot (\overline{z} - \overline{z}_k)$$

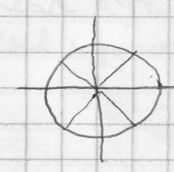
gyökeit adjuk egy polinomnak!

körön megy a láthatósági tartományban!



ha z_k az egységkörön van → leszívás van
0 hely van!

- ha a gyökök konj komplexek $\to$ együtthatók valósak
- páratlan fokszám, valós együtthatók $\to$ van valós gyök
- tükörgyökök esete! z_i és $\frac{1}{z_i^*}$
- főnyaláb a távoli gyökök közt jön létre.



melléknyaláb a közeli gyökök közt jön létre.

$$F_i(\vartheta) \to F_i(\psi) \to F_i(\bar{z})$$

$e^{j\psi}$

ha egyenlő amplitudók vannak: [együtthatók ugyanazok

$$F_i = 1 + \bar{z} + \bar{z}^2 + \dots \bar{z}^{N-1} \Rightarrow \boxed{\frac{\bar{z}^{N-1} - 1}{\bar{z} - 1}}$$

$\to$ egységkörön vannak a gyökei!

véges mértani sor

$$\bar{z}_{0k} = e^{jk\frac{2\pi}{N}}$$ esete az egységkörön levő gyökök

$$F(1) = N$$

$$F_i(\bar{z}) = \bar{z}^{\frac{N-1}{2}} \cdot \frac{\bar{z}^{N/2} - \bar{z}^{-N/2}}{\bar{z}^{1/2} - z^{-1/2}} \Rightarrow e^{j\frac{N-1}{2}\cdot\psi} \cdot \frac{\sin\left(N\frac{\psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)}$$

$$F_i(\psi)_{\text{normált}} = \frac{\sin\left(N\cdot\frac{\psi}{2}\right)}{N\cdot\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)}$$

ψ kicsi $\to \frac{\sin x}{x} \to$

ψ nagy $\to \frac{\sin x}{N} \to$ hiperbola

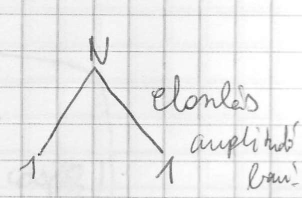
Megengedett elemtávolság:

$$\frac{d}{\lambda} \le \frac{N-1}{N} \cdot \frac{1}{1 + |\cos\vartheta_m|}$$

nem jó a melléknyaláb elnyomás (13 dB)

(négyzetre emelek, amplitudót változtatok)

$$F_i(\bar{z}) = 1 + 2\bar{z} + 3\bar{z}^2 \dots N\cdot\bar{z}^{N-1} \dots \cancel{2}\,\bar{z}^{2N-2}$$



kétszer annyi antenna!
vagy gerjesztés