

1. Televizijski satelit se nahaja na višini $h=36000\text{km}$ in ima oddajnik moči $P_0=50\text{W}$. Izračunajte moč sprejetega signala P_s , če ima sprejemnik anteno premera $D=1\text{m}$ in izkoristek osvetlitve odprtine 70%, snop oddajne antene pa je oblikovan tako, da enakomerno osvetli ozemlje površine $A=300000\text{km}^2$!

$$P_s = P_0 \frac{\pi D^2 \eta}{4A} = \underline{9,163 \cdot 10^{-11} \text{ W}}$$

2. Določite smerni diagram $F(\theta, \phi)$ in izračunajte smernost skupine D dveh protifazno napajanih izotropnih izvorov, ki se nahajata na osi Z na razdalji ene desetine valovne dolžine!

$$F(\theta, \phi) = \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{10} \cos\theta\right) \quad D = \frac{2 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{10} \cos\theta_{\max}\right)}{1 - \frac{10}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{10}} = \underline{2,96}$$

3. Dva polvalovna dipola postavimo v osi X in Y ter ju napajamo s tokovoma enakim amplitud ter faznim zamikom 45 stopinj. Določite polarizacijo valovanja (osno razmerje), ki ga opisana antena seva v smeri osi Z!

$$\vec{E} = \hat{a}_x E_0 + \hat{a}_y \frac{1+j}{\sqrt{2}} E_0 \quad E_D = \vec{E} \cdot \hat{a}_z^* = \frac{E_0}{\sqrt{2}} + \frac{j-1}{2} E_0 \quad Q = \frac{E_L}{E_D} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{2} + \frac{j}{2}}{\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{2} - \frac{j}{2}} = \frac{0,41+j}{2,41-j} \quad |Q| = \underline{0,414}$$

$$\hat{a}_D = \frac{\hat{a}_x + j\hat{a}_y}{\sqrt{2}} \quad \hat{a}_L = \frac{\hat{a}_x + \hat{a}_y}{\sqrt{2}} \quad E_L = \vec{E} \cdot \hat{a}_L^* = \frac{E_0}{\sqrt{2}} - \frac{j-1}{2} E_0 \quad R = \frac{1+|Q|}{1-|Q|} = \underline{2,414}$$

4. Fresnelovo lečo (difraktor) izdelamo tako, da zasenčimo nekatere Fresnelove cone. Določite, kolikokrat se poveča sprejeto polje E_s in kolikokrat se poveča sprejeta moč P_s glede na prazen prostor, če zasenčimo drugo in četrto krožno Fresnelovo cono!

$$\frac{E_s}{E_0} = \underline{5} \quad \frac{P_s}{P_0} = \underline{25}$$

5. Določite domet (radijsko vidljivost) z vrha $h=200\text{m}$ visokega kuclja nad vodoravno okolico, če znaša polmer Zemlje $R=6400\text{km}$ in se zaradi loma radijskih valov v troposferi polmer Zemlje navidezno poveča za faktor $4/3$!

$$d = \sqrt{(R_{\text{eff}} h)^2 - R_{\text{eff}}^2} \approx \sqrt{2 R_{\text{eff}} h} = \sqrt{2 \cdot \frac{4}{3} R h} = \underline{58,4 \text{ km}}$$

1. Določite efektivno antensko površino žične krožne zanke premera 1m, če zanko uporabimo kot anteno pri frekvenci $f=10\text{MHz}$! Kolikokrat je efektivna antenska površina večja od fizične površine zanke?

$$F(\theta, \phi) = \sin\theta \quad D = \frac{4\pi |F(\theta_{\max}, \phi_{\max})|^2}{\int |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega} = \frac{3}{2} \quad A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D = \underline{107,43\text{m}^2}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 30\text{m} \quad \frac{A_{\text{eff}}}{A} = \frac{A_{\text{eff}}}{\pi R^2} = \underline{136,78}$$

2. Izračunajte smerni diagram antene $F(\theta, \phi)$, ki je sestavljena iz treh kratkih koščkov žice dolžine $l \ll \lambda$! Trije koščki žice so postavljeni pod pravim kotom v koordinatnem izhodišču v smereh koordinatnih osi X, Y in Z in jih napajamo z enakimi, sofaznimi tokovi I.

$$\vec{A}_e = (\vec{A}_x + \vec{A}_y + \vec{A}_z) / \sqrt{3} \quad \cos\theta_{xyz} = \vec{A}_y \cdot \vec{A}_z = (\vec{A}_x \sin\theta \cos\phi + \vec{A}_y \sin\theta \sin\phi + \vec{A}_z \cos\theta) \cdot (\vec{A}_x + \vec{A}_y + \vec{A}_z) / \sqrt{3}$$

$$\cos\theta_{xyz} = (\sin\theta \cos\phi + \sin\theta \sin\phi + \cos\theta) / \sqrt{3}$$

$$F(\theta, \phi) = \sin\theta_{xyz} = \sqrt{1 - (\sin\theta \cos\phi + \sin\theta \sin\phi + \cos\theta)^2 / 3}$$

3. Določite polarizacijo valovanja, ki ga seva antena iz naloge (2) v smeri osi X! Zapišite tudi razmerje krožnih komponent in osno razmerje valovanja v smeri osi X!

$$\vec{E}(\text{smeri X}) = (\vec{A}_y + \vec{A}_z) \cdot \vec{E}_0 = Q = \frac{E_c}{E_D} = \underline{+j} \quad R = \frac{1 + |Q|}{1 - |Q|} = \underline{\infty}$$

= linearna polarizacija $135^\circ/45^\circ$

4. Med oddajno in sprejemno anteno postavimo zaslon, ki je pobarvan kot šahovnica: polja so izmenično prozorna za radijske valove oziroma pobarvana z barvo, ki popolnoma vpija radijsko valovanje. Za koliko decibelov se zmanjša jakost sprejemanega polja, če zveznica med sprejemno in oddajno anteno poteka skozi eno od stičišč štirih polj šahovnice? Stranica posamičnega polja ustreza polmeru prve Fresnelove cone, celotna šahovnica pa je dosti večja.

-6dB

5. Izračunajte domet med dvema toki-voki-jema, ki delujeta na valovni dolžini $\lambda=2\text{m}$, če znaša moč oddajnika $P_o=1\text{W}$, občutljivost sprejemnika $U_s=0.3\mu\text{V}$ (na 50ohmskem priključku), oba toki-vokija držimo med uporabo v roki na višini $h=1.5\text{m}$ nad tlemi, glavni izvor dodatnega slabljenja pa je uničujoča interferenca valov nad ravnimi tlemi!

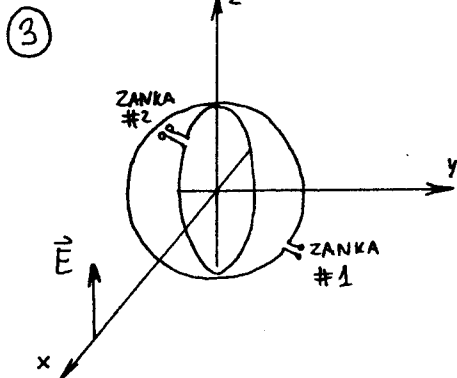
$$d = \sqrt[4]{\frac{P_o}{P_s} \cdot h^2 \cdot h_s^2 \cdot G_{\text{ob}}^2} = h \sqrt[4]{\frac{P_o R}{U_s^2}} = \underline{7282\text{m}}$$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOTELEKOMUNIKACIJ (VŠ) - 18/6/1996

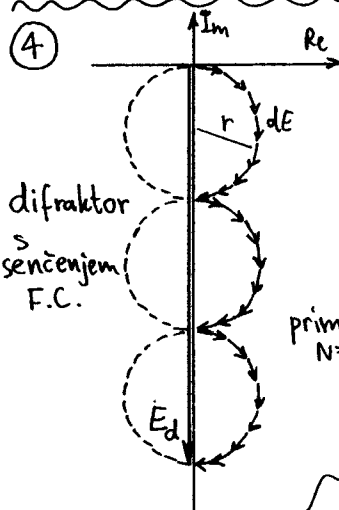
① $P_s = \frac{U_s^2}{R}$; $P_s = P_o G_o G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$

$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_o G_o G_s R}{U_s^2}} = \underline{\underline{3751 \text{ km}}}$

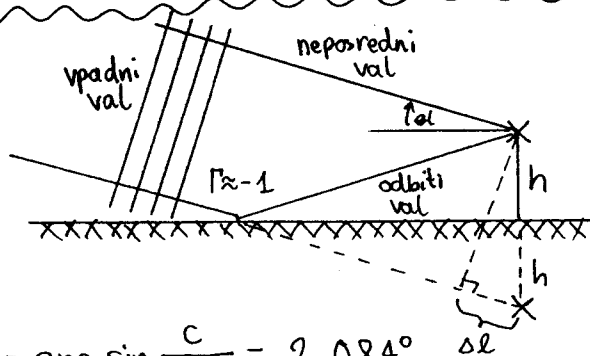
② $F(\theta, \phi) = (1 + \cos \theta)^N$ $D = \frac{4\pi |F(\theta_{max}, \phi_{max})|^2}{\int |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega} = \frac{4\pi |2^N|^2}{2\pi \int_0^\pi |(1 + \cos \theta)^N|^2 \sin \theta d\theta} =$
 $1 + \cos \theta = \mu$; $-\sin \theta = d\mu$
 $D = \frac{2 \cdot 2^{2N}}{\int_2^0 \mu^{2N} (-d\mu)} = \frac{2 \cdot 2^{2N}}{\frac{\mu^{2N+1}}{2N+1} \Big|_2^0} = \underline{\underline{2N+1}}$



POLARIZACIJA VALOVANJA V SMERI x: $\begin{cases} - \text{LINEARNA} \\ - \text{SMER } \pm \vec{1}_x \end{cases}$



$a = 20 \log \frac{|E_d|}{|E_e|} = 20 \log \frac{N \cdot 2r}{N \cdot 2\pi r} = \underline{\underline{-9.94 \text{ dB}}}$



⑤ $\Gamma = -1$; max pri $\Delta l = \frac{\lambda}{2}$

$\Delta l = 2h \sin e_l$

$e_l = \arcsin \frac{\Delta l}{2h} = \arcsin \frac{\lambda}{4h} = \arcsin \frac{c}{4hf} = \underline{\underline{2.084^\circ}}$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOTELEKOMUNIKACIJ (VŠ) - 27/09/1996

①

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{eff}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \eta_0 A \cos \alpha = \frac{4\pi^2 d^2 \eta_0 \cos \alpha}{c^2} = \underline{\underline{9573 = 39.8 \text{ dB}}}$$

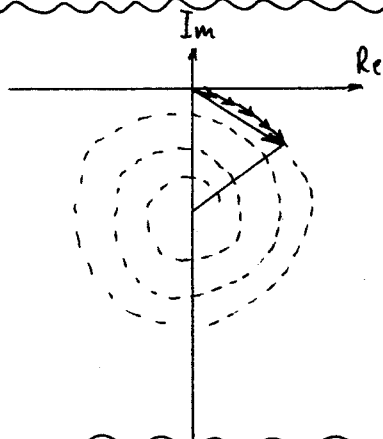
$$\lambda = \frac{c}{f}; \quad A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

② $E_s = 2E_0$; $P_s = 2 \cdot \frac{1}{2} (Z_{11} + Z_{12}) |I|^2 = 2P_0 \frac{Z_{11} + Z_{12}}{Z_{11}}$

$$G_s = \frac{|E_s/E_0|^2}{\text{Re}[P_s]/\text{Re}[P_0]} = \frac{4}{2 \text{Re}[Z_{11} + Z_{12}]/\text{Re}[Z_{11}]} \quad \text{Re}[Z_{12}] = \left[\frac{2}{G_s} - 1\right] \text{Re}[Z_{11}] = \underline{\underline{20 \Omega}}$$

③ $S = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \rightarrow |\Gamma| = \frac{S-1}{S+1} = \underline{\underline{0.5}}; \quad \alpha = 10 \log(1 - |\Gamma|^2) = \underline{\underline{-1.25 \text{ dB}}}$

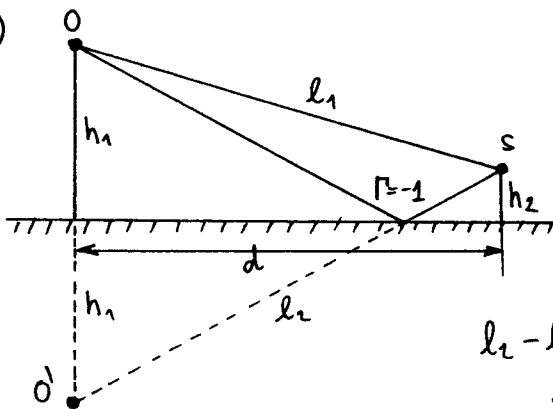
④



$$r = \frac{1}{2} \rho_1 \rightarrow \Delta l_{\text{max}} = \frac{\lambda}{8}$$

$$\frac{|E|}{|E_0|} = 2 \sin \frac{45^\circ}{2} = \underline{\underline{0.765 = -2.32 \text{ dB}}}$$

⑤



$$E = E_{\text{max}} \rightarrow l_2 = l_1 + \frac{\lambda}{2}$$

$$l_1 = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} \approx d \left(1 + \frac{(h_1 - h_2)^2}{2d^2}\right)$$

$$l_2 = \sqrt{d^2 + (h_1 + h_2)^2} \approx d \left(1 + \frac{(h_1 + h_2)^2}{2d^2}\right)$$

$$l_2 - l_1 \approx \frac{2h_1 h_2}{d} = \frac{\lambda}{2}$$

$$h_2 \approx \frac{\lambda d}{4h_1} = \frac{cd}{4hf} = \underline{\underline{3.75 \text{ m}}}$$

1. Televizijski satelit se nahaja na višini 35800km in ima na krovu oddajnik moči $P_0=40W$. Izračunajte moč sprejetega signala P_s , če ima sprejemnik anteno premera $2r=60cm$ in znaša izkoristek osvetlitve 80%. Snop oddajne antene na satelitu je oblikovan tako, da enakomerno osvetli ozemlje površine $A=400000km^2$ pri vpadnem kotu (kot med žarkom in navpičnico) 60 stopinj.

$$P_s = P_0 \frac{\pi r^2 \eta}{A \cos \alpha} = \underline{\underline{4,52 \cdot 10^{-11} W}}$$

2. Izračunajte potrebno moč signala P_s , da dosežemo razmerje signal/šum $P_s/P_n=10$ v sprejemniku s pasovno širino $B=5MHz$. Smerni diagram antene je simetričen, antena je usmerjena na obzorje. Šumna temperatura neba znaša $T_n=4K$, šumna temperatura Zemlje $T_z=290K$, šumno število sprejemnika je $F=3dB$. ($k_b=1.38E-23J/K$)

$$T = T_A + T_s = \frac{T_n + T_z}{2} + T_0 \left(10^{\frac{F}{10}} - 1 \right) = 147K + 300K = 447K \quad P_s = \frac{P_n}{10} \cdot B \cdot k_b \cdot T = \underline{\underline{3,24 \cdot 10^{-13} W}}$$

3. Skupino gradimo iz samih enakih anten, ki imajo vsaka dobitok $G_e=15dBi$. Koliko anten potrebujemo za skupino z dobitkom $G=26dBi$, če vnašajo napajalni vodi 1dB izgub in so posamezne antene v skupini dovolj oddaljene ena od druge, da lahko medsebojne vplive med posameznimi antenami zanemarimo (medsebojna impedanca je zanemarljivo majhna)?

$$G_e = 15dBi = 31,6 \quad a = 1dB = 1,26$$

$$G = 26dBi = 400$$

$$N = \frac{G \cdot a}{G_e} = \underline{\underline{16}}$$

4. Med sprejemno in oddajno anteno postavimo zaslon z okroglo odprtino. Kolikšen mora biti (najmanjši možni) polmer odprtine, da se jakost sprejema ne spremeni, ko med anteni vstavimo zaslon z odprtino, če znaša polmer prve Fresnel-ove cone 1m? Kako se spremeni faza sprejetega polja, ko vstavimo zaslon z odprtino?



$$r = \frac{R_1}{13} = \underline{\underline{0,577m}}$$

$$\varphi = 60^\circ$$

5. Izračunajte potrebno višino stolpa, kamor postavimo oddajno anteno, da bo znašala radijska vidljivost do sprejemnikov na površini Zemlje vsaj 100km. Pri izračunu upoštevajte, da polmer Zemlje $R=6400km$ navidezno povečuje lom radijskega valovanja v troposferi z lomnim količnikom $n=1.0003$ tik nad površino Zemlje, ki upade na vrednost $1/e$ na višini $h=8.5km$.

$$r = \frac{h}{n-1} = \underline{\underline{28333km}} \quad R_e = \frac{1}{\frac{1}{R} - \frac{1}{r}} = \underline{\underline{8267km}} \quad y = \sqrt{R_e^2 + d^2} - R_e = \underline{\underline{605m}}$$

1. Izračunajte domet radiodifuznega oddajnika v praznem prostoru, ki oddaja z močjo $P_0=100\text{kW}$ na frekvenci $f=1\text{MHz}$, če sprejemnik potrebuje minimalno električno poljsko jakost $E_{\text{min}}=1\text{mV/m}$ za kvaliteten sprejem! Dobitek oddajne antene znaša $G_0=1.5$.

$$S = \frac{1}{2} \frac{|E|^2}{Z_0} = \frac{P_0 G_0}{4\pi d^2} \rightarrow d = \sqrt{\frac{2P_0 G_0 Z_0}{4\pi |E|^2}} = \underline{\underline{3000\text{km}}}$$

2. Zapišite smerni diagram $F(\theta, \varphi)$ skupine štirih anten, ki so nameščene na osi z na enakih razdaljah $d=0.75\lambda$. Vse štiri antene napajamo sofazno z enakim tokom I , smerni diagram posamične antene pa je $F_e(\theta, \varphi) = \sin(\theta)$. $d_1=d$; $d_2=2d$

$$F = F_{s2} \cdot F_{s1} \cdot F_e = \cos\left(\frac{k d_2}{2} \cos\theta\right) \cos\left(\frac{k d_1}{2} \cos\theta\right) \sin\theta = \underline{\underline{\cos(1.5\pi \cos\theta) \cos(0.75\pi \cos\theta) \sin\theta}}$$

3. Prvi televizijski oddajnik oddaja z močjo $P_1=10\text{kW}$ in anteno z dobitkom $G_1=5$ in pokončno (vertikalno) linearno polarizacijo. Drugi oddajnik se nahaja na istem antenskem stolpu, oddaja pa z močjo $P_2=15\text{kW}$ in anteno z dobitkom $G_2=10$ in vodoravno (horizontalno) linearno polarizacijo. Kako moramo postaviti sprejemni dipol, da dobimo enako močen signal od obeh oddajnikov, če sta frekvenci oddaje skoraj enaki?

$$E = \sqrt{\frac{2PGZ_0}{4\pi d^2}} \quad U_1 = E_1 \cos\varphi \quad U_2 = E_2 \sin\varphi \quad \frac{U_1}{U_2} = 1 = \frac{\sqrt{P_1 G_1} \cos\varphi}{\sqrt{P_2 G_2} \sin\varphi} \rightarrow \tan\varphi = \sqrt{\frac{P_1 G_1}{P_2 G_2}} = \sqrt{\frac{1}{3}} \rightarrow \varphi = \frac{\pi}{6} = 30^\circ \text{ od navpičnice}$$

4. Televizijski sprejemnik ($B=5\text{MHz}$) ima šumno število $F_s=10\text{dB}$. Kolikšno mora biti ojačenje A (v dB) antenskega ojačevalnika s šumnim številom $F_o=3\text{dB}$, da z vgradnjo ojačevalnika izboljšamo razmerje signal/šum pri sprejemu za faktor 5-krat? Sprejemna antena je usmerjena v oddajnik na obzorju, šumna temperatura neba je zanemarljivo majhna.

$$T_1 = T_A + T_s \quad T_A = \frac{500\text{k} + 10\text{k}}{2} = 50\text{k} \quad T_{oj} = 300\text{k}(10^{\frac{F_s}{10}} - 1) = 300\text{k} \quad \frac{1}{5}(T_A + T_s) = T_A + T_{oj} + \frac{T_s}{A}$$

$$T_2 = T_A + T_{oj} + \frac{T_s}{A} \quad T_s = 300\text{k}(10^{\frac{F_o}{10}} - 1) = 2700\text{k} \quad T_2 = \frac{1}{5} T_1 \quad A = \frac{T_s}{\frac{1}{5}(T_A + T_s) - T_A - T_{oj}} = \frac{2700\text{k}}{570\text{k} - 430\text{k}} = \frac{2700\text{k}}{140\text{k}} = 22.5 = 13.5\text{dB}$$

5. Usmerjena radijska zveza premošča razdaljo $d=60\text{km}$ na frekvenci $f=1\text{GHz}$. Kolikšna mora biti višina sprejemne in oddajne antene (višini sta enaki) nad višino ovire sredi radijske poti, da bo prva Fresnelova cona neovirana?

Upoštevajte ukrivljenost zemeljske površine in lom radijskih valov v dobro premešanem ozračju!

$$\lambda = \frac{c}{f} = 30\text{cm} \quad r_1 = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right) \frac{\lambda}{2}} = 67\text{m} \quad R_e \approx 8500\text{km} \quad h = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2R_e} = 53\text{m} \quad h' = h + r_1 = 120\text{m}$$

1. V krožni žični zanki s polmerom $r=2m$ vsilimo izmenični tok $I=3A$. Določite, pri kateri frekvenci je fizična površina površina takšne antene enaka njeni efektivni antenski površini, če je smerni diagram sevanja takšne zanke $F(\theta, \phi) = \sin(\theta)$ in znaša električni izkoristek $\eta = 0.5$! $F(\theta, \phi) = \sin\theta \rightarrow D = 1.5$

$$A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D \eta \quad \frac{\lambda^2}{4\pi} D \eta = \pi r^2 \rightarrow \lambda = \frac{2\pi r}{\sqrt{D \eta}} = 14.5m \quad f = \frac{c}{\lambda} = 20.7MHz$$

$$A_{\text{fiz}} = \pi r^2$$

2. Izračunajte smernost antenske skupine, če poznamo smerni diagram skupine

$$F(\theta, \phi) = (\cos(w \cdot \cos(\theta)))^{**2}$$

$$D = \frac{4\pi |F(\theta_{\text{max}}, \phi_{\text{max}})|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |F(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta d\phi}$$

kot funkcijo parametra "w" v gornjem izrazu!

$$D = \frac{4\pi \cdot 1}{2\pi \int_0^\pi (\cos^4(w \cos\theta)) \sin\theta d\theta} = \frac{8}{3 + 4 \frac{\sin 2w}{2w} + \frac{\sin 4w}{4w}}$$

$$\int_0^\pi \cos^4(w \cos\theta) \sin\theta d\theta = \int_{-1}^1 \cos^4(wu) du = \int_{-1}^1 \frac{1}{4} (1 + \cos(2wu))^2 du = \frac{1}{4} \left[2 + \frac{2}{w} \sin 2w + \int_{-1}^1 \frac{1}{2} (1 + \cos 4u) du \right] = \frac{3}{4} + \frac{\sin 2w}{2w} + \frac{\sin 4w}{16w}$$

3. Krožno polarizirano valovanje sestavimo s pokončno in vodoravno anteno. Določite osno razmerje R nastale krožne polarizacije, če anteni napajamo s predpisanim faznim zamikom 90 stopinj, zaradi napake v izdelavi napajalnega vezja pa dobi vodoravna antena le 80% krmilnega toka pokončne antene!

$$\vec{E} = (\vec{a}_v - \vec{a}_{hj} 0.8) E_0; \quad E_D = \vec{E} \cdot \vec{a}_0^* = (\vec{a}_v - \vec{a}_{hj} 0.8) \cdot (\vec{a}_v + \vec{a}_{hj}) \frac{E_0}{\sqrt{2}} = 1.8 \frac{E_0}{\sqrt{2}}; \quad E_L = \vec{E} \cdot \vec{a}_L^* = (\vec{a}_v - \vec{a}_{hj} 0.8) \cdot (\vec{a}_v - \vec{a}_{hj}) \frac{E_0}{\sqrt{2}} = 0.2 \frac{E_0}{\sqrt{2}}$$

$$Q = \frac{E_L}{E_D} = \frac{0.2 \frac{E_0}{\sqrt{2}}}{1.8 \frac{E_0}{\sqrt{2}}} = \frac{0.2}{1.8} = 0.111; \quad R = \frac{1 + |Q|}{1 - |Q|} = \frac{1 + 0.111}{1 - 0.111} = 1.25 = 1.94dB$$

4. Oddajno in sprejemno anteno postavimo na $h_o = h_s = 10m$ visoke podstavke nad ravnino. Razdalja med antenama znaša $d = 400m$. Kolikšna je najnižja frekvenca delovanja takšne radijske zveze, da 1. Fresnelova cona ne bo ovirana, če ukrivljenost Zemlje in lom radijskih valov v ozračju zanemarimo?

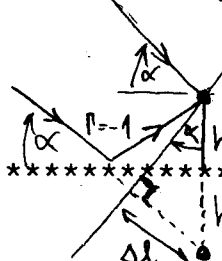
$$\rho_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \rightarrow \lambda = \rho_1^2 \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} = 100m^2 \frac{400m}{40000m^2} = 1m \quad f = \frac{c}{\lambda} = 300MHz$$

$$\rho_1 = h_o = h_s = 10m; \quad d_1 = d_2 = \frac{d}{2} = 200m$$

5. Izračunajte, pri kateri najnižji vrednosti elevacije satelita nad obzorjem (elevacija je kot med smerjo proti satelitu in vodoravno ravnino) doseže sprejeto polje maksimum, če satelit oddaja na frekvenci $f = 400MHz$ in je sprejemna antena postavljena na stolpu na višini $h = 5m$ nad tlemi! Odbojnost tal je $\Gamma = -1$.

$$\Gamma = -1 \rightarrow \Delta l = \frac{\lambda}{2} \quad \lambda = \frac{c}{f} = 0.75m$$

$$\Delta l = 2h \sin \alpha \rightarrow \alpha = \arcsin \frac{\Delta l}{2h} = \arcsin \frac{\lambda}{4h} = \arcsin \frac{0.75m}{1.5m} = 2.15^\circ$$

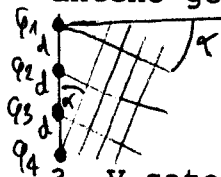


1. Usmerjena radijska zveza premošča razdaljo $d=50\text{km}$ z dobro radijsko vidljivostjo (neovirana prva Fresnelova cona). Izračunajte potrebni premer anten (sprejemna in oddajna antena sta enaki), če znaša moč oddajnika $P_0=10\text{W}$, potrebna moč v sprejemniku $P_s=100\text{nW}$, valovna dolžina $\lambda=3\text{cm}$ in izkoristek osvetlitve obeh zrcal $\eta=60\%$!

$$\frac{P_s}{P_0} = \frac{A_0 \eta_0 A_s \eta_c}{d^2 \lambda^2} \rightarrow A = \frac{d \lambda}{\eta} \sqrt{\frac{P_s}{P_0}} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 2r = 2 \sqrt{\frac{d \lambda}{\eta} \sqrt{\frac{P_s}{P_0}}} = \underline{\underline{56.4 \text{ cm}}}$$

$$A = \pi r^2$$

2. Štiri enake antene so nameščene na osi z na enakih razdaljah $d=1.5 \lambda$. Posamične antene napajamo z enako velikimi tokovi, smerni diagram skupine pa želimo usmeriti navzdol za kot $\alpha=10^\circ$ pod obzorje. Določite faze tokov φ_2, φ_3 in φ_4 , ki napajajo posamezne antene, če vzamemo za referenčno anteno gornjo anteno v skupini ($\varphi_1=0$)!



$$\Delta l_{12} = d \sin \alpha$$

$$\varphi_2 = k \Delta l_{12} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l_{12} = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \alpha = \frac{2\pi}{\lambda} 1.5 \lambda \sin \alpha = 3\pi \cdot 0.174 = \underline{\underline{1.637 \text{ rd} = 93.8^\circ}}$$

$$\varphi_3 = 2\varphi_2 = \underline{\underline{187.5^\circ}} \quad \varphi_4 = 3\varphi_2 = \underline{\underline{281.3^\circ}}$$

3. V satelitskih komunikacijah pogosto izkoriščamo ortogonalne polarizacije, da v istem frekvenčnem pasu prenašamo dve neodvisni oddaji. Določite jakost nežejene presluha (v decibelih), če satelit oddaja z idealnima desno in levo krožno polarizacijo, sprejemnik pa ima neidealno anteno z osnim razmerjem $R=1\text{dB}$!

$$R = \frac{1+|Q|}{1-|Q|} \rightarrow |Q| = \frac{R-1}{R+1} = \underline{\underline{0.058}} = 20 \log 0.058 \text{ dB} = \underline{\underline{-24.2 \text{ dB}}}$$

$$R=1\text{dB} = 10^{\frac{1}{20}} = \underline{\underline{1.122}}$$

4. Oddajnik in sprejemnik se nahajata na zemeljski površini na razdalji $d=8\text{km}$. Točno sredi zveznice med položajema sprejemnika in oddajnika se nahaja kucelj v obliki polkrogle s polmerom (višino) $h=80\text{m}$. Izračunajte slabljenje med izotropnima (neusmerjenima) sprejemno in oddajno anteno pri frekvenci $f=300\text{MHz}$, če je vpliv odboja valovanja od tal zanemarljiv!

$$\text{Prazen prostor: } \frac{P_s}{P_0} = G_0 G_n \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = 9.9 \cdot 10^{-11} = -100 \text{ dB}$$

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = \underline{\underline{1 \text{ m}}}$$

$$\text{Gornji polprostor: dodatnih } -6 \text{ dB} = -6 \text{ dB}$$

$$\text{Polkrogla ovira: ni dodatnega slabljenja} = -0 \text{ dB}$$

$$\underline{\underline{-106 \text{ dB}}}$$

5. Izračunajte koncentracijo prostih elektronov N v kubičnem metru ionosfere, če radijska zveza med vesoljsko ladjo, ki leti nad ionosfero ter upravno radijsko postajo na Zemlji presahne pri frekvenci $f=8\text{MHz}$! Električni naboj elektrona znaša $Q=-1.6\text{E-19As}$ in masa elektrona $m=9.1\text{E-31kg}$.

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{N Q^2}{\epsilon_0 m}} \rightarrow N = \frac{(2\pi f)^2 \epsilon_0 m}{Q^2} = \frac{(2\pi \cdot 8 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1})^2 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{-21} \text{ Vm} \cdot (-1.6 \cdot 10^{-19} \text{ As})^2} = \underline{\underline{7.94 \cdot 10^{11} / \text{m}^3}}$$

1. Daljinski odpirač za garažna vrata deluje na frekvenci $f=100\text{kHz}$ in ima domet $d=8\text{m}$. Izračunajte razmerje $P_{\text{signala}}/P_{\text{motnje}}$ v sprejemniku, ko uporablja enak odpirač naš sosed na razdalji $d'=25\text{m}$ od našega sprejemnika!

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{10^5 \text{ Hz}} = 3 \text{ km} \rightarrow \lambda \gg d \text{ in } \lambda \gg d' \rightarrow \text{statično polje } E = \alpha r^{-3}$$

$$\frac{P_{\text{signala}}}{P_{\text{motnje}}} = \left(\frac{E_s}{E_m}\right)^2 = \frac{(1/d^3)^2}{(1/d'^3)^2} = \left(\frac{d'}{d}\right)^6 = \left(\frac{25}{8}\right)^6 = \underline{\underline{931 = 29.4 \text{ dB}}}$$

2. Izračunajte smernost sofazno-osvetljene krožne odprtine premera $2r=30\lambda$! Jakost osvetlitve ni enakomerna, pač pa jakost električnega polja linearno upada od največje vrednosti sredi odprtine do nič na robu odprtine. Kolikšen je izkoristek osvetlitve takšne odprtine?

$$E = E_0 \left(1 - \frac{r}{r'}\right) \quad D = \frac{4\pi |S_A E_d A|^2}{\lambda^2 S_A |E|^2 dA} = \frac{4\pi \left| \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} E_0 \left(1 - \frac{r}{r'}\right) \rho d\varphi d\theta \right|^2}{\lambda^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} |E_0 \left(1 - \frac{r}{r'}\right)|^2 \rho d\varphi d\theta} = \frac{8\pi^2 \left| \frac{r^2}{2} - \frac{r^2}{3} \right|^2}{\lambda^2 \left(\frac{r^2}{2} - 2\frac{r^2}{3} + \frac{r^2}{4} \right)} = \frac{8\pi^2 \frac{r^4}{36}}{\lambda^2 \frac{r^2}{12}} = \frac{8\pi^2 r^2}{3\lambda^2} = \underline{\underline{5922 = 37.7 \text{ dBi}}}$$

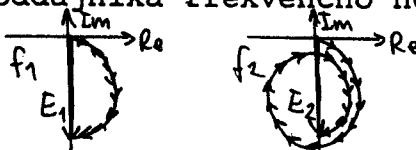
$$\eta_0 = \frac{A_{\text{eff}}}{A} = \frac{\lambda^2 D}{4\pi r^2} = \frac{8\pi^2/3}{4\pi^2} = \frac{2}{3} = \underline{\underline{66.7\%}}$$

3. Sprejem satelita, ki oddaja krožno-polarizirano valovanje, moti odboj od tal v neposredni bližini sprejemne antene. Določite velikost odbojnosti tal (velikost Γ), če znaša osno razmerje krožne polarizacije $R=2\text{dB}$ na mestu sprejemne antene! Specifična prevodnost tal in vpadni kot valovanja sta dovolj velika, da krožno-polarizirano valovanje popolnoma zamenja smer vrtenja.

$$R = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \rightarrow |\Gamma| = \frac{R-1}{R+1} = \underline{\underline{0.1146 = |\Gamma|}}$$

$$R = 2 \text{ dB} = 1.26 \quad Q = \frac{E_L}{E_0} = \Gamma e^{j\varphi} \rightarrow |\Gamma| = |\Gamma|$$

4. Med oddajnik in sprejemnik postavimo neprosojen zaslon s krožno odprtino premera $2r=70\text{cm}$. Pri spreminjanju frekvence oddajnika opazimo, da se jakost sprejemanega polja spreminja. Prvi maksimum sprejema dosežemo pri frekvenci $f_1=10\text{GHz}$. Pri kateri frekvenci f_2 ($f_2 > f_1$) dosežemo naslednji maksimum sprejetega polja, če sta dobitok oddajne antene in moč oddajnika frekvenčno neodvisna?



$$\varphi_2 = 3\varphi_1 \rightarrow f_2 = 3f_1 = \underline{\underline{30 \text{ GHz}}}$$

5. Določite potrebni zračni tlak, da bi radijski valovi sledili ukrivljenosti Zemlje zaradi loma v nizkih plasteh ozračja! ($R_z=6400\text{km}$, $n=1+0.003 \cdot (p/p_0)$, $p_0=1\text{bar}$, zračni tlak upade za faktor $1/e$ na vsakih $h_0=8.5\text{km}$ višine)

$$R = \frac{h_0}{\Delta n} ; \Delta n = 0.0003 \frac{p}{p_0} \rightarrow p = \frac{h_0 p_0}{0.0003 R} = \frac{8500 \text{ m} \cdot 1 \text{ bar}}{0.0003 \cdot 6400 \cdot 10^3 \text{ m}} = \underline{\underline{4.43 \text{ bar}}}$$

1. Izračunajte inducirano napetost v okvirni anteni v obliki tuljave z 10 ovoji premera $2r_0=1m$, če znaša električna poljska jakost srednjevalovnega oddajnika $E=1mV/m$ na mestu sprejemne antene in z obračanjem sprejemne antene poiščemo najmočnejši sprejem pri frekvenci $f=900kHz$!

$$H = \frac{E}{Z_0} = \frac{10^{-3} V/m}{120\pi \Omega} = 2.65 \mu A/m \quad U_i = N \mu_0 H \pi r^2 = 10 \cdot 2\pi \cdot 300 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-4} \frac{Vs}{Am} \cdot 2.65 \cdot 10^{-6} A/m \cdot \pi \cdot 0.25m^2 = \underline{148 \mu V}$$

2. Določite smerni diagram antene $F(\theta, \phi)$, ki jo sestavljajo trije kratki (v smislu valovne dolžine) električni dipoli, postavljeni na enakih razdaljah v osi Z (gornji na $z=+1m$, srednji v izhodišču $z=0m$ in spodnji na $z=-1m$)! Vse tri dipole napajamo sofazno z enako velikimi tokovi $I_1=I_2=I_3$ frekvence $f=150MHz$.

$$E = E_0 (e^{jkh \cos \theta} + 1 + e^{-jkh \cos \theta}) = E_0 (2 \cos(kh \cos \theta) + 1) = E_0 (2 \cos(\pi \cos \theta) + 1) ; E_0 = \kappa I \sin \theta$$

$h=1m; k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{c_0} = \frac{2\pi \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot 1}{3 \cdot 10^8 m/s} = \pi m^{-1}$

$$\underline{F(\theta, \phi) = (2 \cos(\pi \cos \theta) + 1) \sin \theta}$$

3. Trije enaki polvalovni dipoli ležijo v ravnini XY. Prvi dipol leži na osi X in ga napajamo s tokom $I_1=1A$. Drugi dipol leži v smeri osi Y in ga napajamo s tokom $I_2=-j0.5A$. Določite napajalni tok tretjega dipola I_3 (amplitudo in fazo, oziroma v kompleksni obliki), ki je postavljen pod kotom 45 stopinj glede na obe osi X in Y, da bo celotna antena sevala desno-krožno polarizirano valovanje v smeri osi +Z!

$$\vec{A}_0 = (\vec{A}_x - j\vec{A}_y) / \sqrt{2} = \vec{A}_L^* ; 0 = \vec{E} \cdot \vec{A}_L^* = \alpha (\vec{A}_x \cdot 1A + \vec{A}_y \cdot (-j0.5A) + \frac{\vec{A}_z \cdot 1}{\sqrt{2}} I_3) \cdot (\vec{A}_x - j\vec{A}_y) / \sqrt{2} ; 0 = 1A - 0.5A + \frac{1-j}{\sqrt{2}} I_3$$

$$I_3(1-j) = -0.5A(\sqrt{2}) ; I_3 = \frac{-0.5A\sqrt{2}(1+j)}{(1-j)(1+j)} = -0.25A\sqrt{2}(1+j) = \underline{(-0.354 - j0.354)A}$$

4. Oddajnik in sprejemnik se nahajata na razdalji $d=15km$. Radijsko zvezo moti gorski greben višine $h=400m$ nad ravnino sprejemnika in oddajnika. Greben je oddaljen $d_1=5km$ od oddajnika in poteka pravokotno na zveznico med sprejemnikom in oddajnikom. Določite najvišjo frekvenco f za radijsko zvezo, da dodatno uklonsko slabljenje zaradi prisotnosti grebena ne preseže vrednosti $a_{max}=20dB$! Ukrivljenost Zemlje, lom radijskih valov v troposferi in odboj od tal zanemarimo.

$$h > g_1 : a [dB] = 16 + 20 \log \frac{h}{g_1} ; g_1 = h \cdot 10^{-\frac{a-16}{20}} = 400m \cdot 10^{-\frac{20-16}{20}} = 400m \cdot 10^{-0.2} = \underline{252.4m}$$

$$g_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} ; d_1 = 5km ; d_2 = d - d_1 = 10km \rightarrow \lambda = \frac{g_1^2 (d_1 + d_2)}{d_1 d_2} = \frac{252.4m^2 \cdot 15 \cdot 10^3 m}{5 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3 m^2} = 19.1m ; f = \frac{c_0}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 m/s}{19.1m} = \underline{15.7MHz}$$

5. Izračunajte višino h (nad zemeljsko površino) najgostejše plasti v ionosferi (N_{max}), ko znaša kritična frekvenca plazme $f_p=8MHz$ in najvišja uporabna frekvenca $MUF=25MHz$! Koliko km znaša domet radijske zveze pri frekvenci MUF in enem samem odboju od ionosfere? ($R_z=6378km$, $m_e=9.1E-31kg$, $Q_e=-1.6E-19As$)

$$n = \sqrt{1 - (f/f_p)^2} = \sqrt{1 - (8/25)^2} = \underline{0.949} ; n = \sin \theta = \frac{R_z}{R_z + h} \rightarrow h = R_z \left(\frac{1}{n} - 1 \right) = \underline{354km}$$

$$d = R_z (\pi - 2\theta) = R_z (\pi - 2 \arcsin n) = 6378km (\pi - 2 \arcsin 0.949) = \underline{4.155km}$$

1. Televizijski oddajnik moči $P_0=10\text{kW}$ je priključen na anteno z dobitkom $G=10\text{dB}$. Oddajnik je postavljen na visok hrib, oddaljen $d=20\text{km}$ od sprejemnika. Izračunajte električno poljsko jakost E (efektivno vrednost) na mestu sprejema, če med oddajnikom in sprejemnikom ni ovir in lahko odboje zanemarimo!

$$S = \frac{P_0 G}{4\pi d^2} = \frac{10^4 \text{W} \cdot 10}{4\pi \cdot (20 \cdot 10^3 \text{m})^2} = 19.9 \mu\text{W}/\text{m}^2 \quad S = \frac{E^2}{2Z_0} = \frac{E_{\text{eff}}^2}{Z_0} \quad E_{\text{eff}} = \sqrt{SZ_0} = \underline{86.6 \text{ mV/m}}$$

$$E = E_{\text{eff}} \sqrt{2}$$

2. Določite potrebno smernost antene D , da sprejema satelita, ki se nahaja $\alpha=10$ stopinj nad obzorjem, ne bo motilo toplotno sevanje Zemlje! Smerni diagram antene ima idealno obliko stožca s ploščatim temenom in zelo strmimi boki.

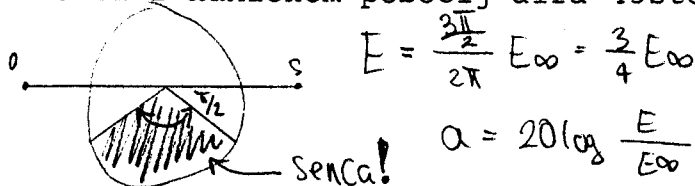
$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\alpha) ; D = \frac{4\pi}{\Omega} = \frac{2}{1 - \cos\alpha} = \underline{131.6 = 21.2 \text{ dBi}}$$

3. Izračunajte dobitek paraboličnega zrcala premera $2r=1\text{m}$ pri valovni dolžini $\lambda=10\text{cm}$! Izkoristek osvetlitve zrcala, vključno z upoštevanjem sence žarilca, znaša $\eta=60\%$. Dobitek dodatno zmanjšuje neprilagojenost napajalnega voda na žarilec, kjer izmerimo razmerje stojnega vala $\rho=2$.

$$\rho = \frac{1+|r|}{1-|r|} \rightarrow |r| = \frac{\rho-1}{\rho+1} = \frac{1}{3}$$

$$G = (1-|r|^2) \eta \frac{4\pi}{\lambda^2} A = (1-|r|^2) \eta \frac{4\pi}{\lambda^2} \pi r^2 = (1 - (\frac{1}{3})^2) \cdot 0.6 \cdot \frac{4\pi}{0.01\text{m}^2} \cdot \pi \cdot 0.25\text{m}^2 = \underline{526.4 = 27.2 \text{ dB}}$$

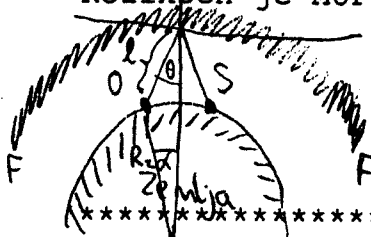
4. Oddajnik in sprejemnik usmerjene radijske zveze ($\lambda=1\text{m}$) sta postavljena na gorska vrhova na razdalji $d=30\text{km}$. Radijsko zvezo ovira tretji gorski vrh, ki se ravno dotika zveznice sprejemnik-oddajnik sredi radijske poti. Izračunajte dodatno slabljenje ovire (v decibelih), če ima moteči vrh obliko stožca z naklonom pobočij $\alpha=45$ stopinj!



$$E = \frac{3\pi}{2} E_0 = \frac{3}{4} E_0$$

$$\alpha = 20 \log \frac{E}{E_0} = 20 \log \frac{3}{4} = \underline{-2.5 \text{ dB}}$$

5. Razdalja med sprejemnikom in oddajnikom znaša $d=1500\text{km}$, merjeno po zemeljski površini. Radijsko zvezo vzpostavimo preko enega odboja od F-sloja ionosfere na višini $h=300\text{km}$ do najvišje frekvence $f=15\text{MHz}$. Kolikšna je frekvenca plazme f_p ? Kolikšen je MUF (najvišja frekvenca za najdaljši skok)? $R_2=6400\text{km}$



$$\alpha = \frac{d/2}{R_2} = 0.117 \text{ rad} \quad l = \sqrt{R_2^2 + (R_2+h)^2 - 2R_2(R_2+h)\cos\alpha} = \underline{823.5 \text{ km}}$$

$$\sin\theta = \frac{R_2 \sin\alpha}{l} = 0.909 ; f_p = f \sqrt{1 - \sin^2\theta} = \underline{6.264 \text{ MHz}}$$

$$\sin\theta = n = \sqrt{1 - (f/f_p)^2} \quad \text{Snellov zakon odboja za popolni odboj}$$

$$\text{MUF} = \frac{f_p}{\sqrt{1 - (R_2/d)^2}} = \underline{21.17 \text{ MHz}}$$

1. Določite velikost (premer) sprejemne antene za satelitsko televizijo, če upoštevamo izkoristek osvetlitve $\eta = 70\%$! Razdalja do satelita znaša $d = 40000 \text{ km}$. Oddajnik na krovu satelita ima moč $P = 100 \text{ W}$ in anteno z dobitkom $G_0 = 40 \text{ dB}$. Sprejemnik ima pasovno širino $B = 30 \text{ MHz}$ in skupno šumno temperaturo (vključno z anteno) $T = 100 \text{ K}$. Zahtevano razmerje signal/šum je $P_s/P_n = 10 \text{ dB}$. ($f = 12 \text{ GHz}$, $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$)

$$P_s = \frac{P_0 G_0}{4\pi d^2} A_s M_s = P_0/P_n \cdot B \cdot k_B \cdot T \quad A_s = \frac{P_0/P_n \cdot B \cdot k_B \cdot T \cdot 4\pi d^2}{P_0 \cdot G_0 \cdot M_s} = \frac{10 \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ W s/K} \cdot 100 \text{ K} \cdot 4\pi \cdot (4 \cdot 10^7 \text{ m})^2}{100 \text{ W} \cdot 10^4 \cdot 0.7} = 0.042 \text{ m}^2$$

$$2r_s = 2\sqrt{A_s/\pi} = \underline{12.3 \text{ cm}}$$

2. Bočna skupina je sestavljena iz velikega števila posamičnih anten, ki so enakomerno razmeščene po polosi +Z na razdaljah $d = \lambda/2$. Smerni diagram vsake posamične antene je $F_e = \sin(\theta)$. Določite smerni diagram celotne skupine, če dobi vsaka naslednja višje ležeča antena le 80% jakosti toka svoje predhodnice zaradi izgub v zaporednem napajalnem vezju!

$$E_0 = \alpha I_0 e^{jkr} \frac{\sin \theta}{\sin \theta}, E_1 = \alpha I_1 e^{jkr} \frac{\sin \theta}{\sin \theta}, E_2 = \alpha I_2 e^{jkr} \frac{\sin \theta}{\sin \theta}; I_1 = 0.8 I_0; I_2 = 0.8 I_1, \dots$$

$$k \cdot d = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2} = \pi$$

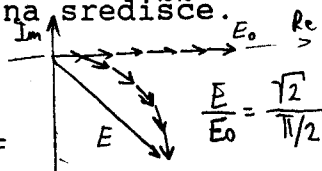
$$E = E_0 + E_1 + E_2 + \dots = \alpha I_0 e^{jkr} \frac{\sin \theta}{\sin \theta} [1 + 0.8 e^{jkd \cos \theta} + 0.8^2 e^{2jkd \cos \theta} + 0.8^3 e^{3jkd \cos \theta} + \dots] = \alpha I_0 e^{jkr} \frac{\sin \theta}{1 - 0.8 e^{j\pi \cos \theta}}$$

$$F(\theta, \phi) = \frac{\sin \theta}{1 - 0.8 e^{j\pi \cos \theta}}$$

3. Izračunajte smernost $D = ?$ enakomerno osvetljene krožne odprtine premera $2r_0 = 10\lambda$! Smernost odprtine zmanjšuje kvadratna napaka faze, da znaša fazni zaostanek na robu odprtine $\pi/2$ glede na središče.

Brez fazne napake:

$$D_0 = \frac{4\pi}{\lambda^2} A = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \pi r^2 = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \pi \cdot 25\lambda^2 = 100\pi^2$$



$$D = D_0 \left(\frac{E}{E_0}\right)^2 = 100\pi^2 \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi/2}\right)^2 = 100\pi^2 \frac{8}{\pi^2}$$

$$D = 800 = \underline{29 \text{ dB}}$$

4. Hrib se obnaša kot klinasta ovira sredi radijske zveze in vnaša dodatno slabljenje 22dB glede na prazen prostor. Za koliko dB se poveča slabljenje radijske zveze, če frekvenco nosilca podvojimo in ostanejo dobitki sprejemne in oddajne antene nespremenjeni? *Klinasta ovira ($H > \lambda$):*

Prazen prostor:

$$\alpha_0 = 10 \log \left[G_0 G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \right]$$

Dvokratno f

↳ polovičen λ → dodatno 6dB

$$\alpha_k = 16 + 20 \log \frac{H}{\lambda} [\text{dB}] = 16 + 20 \log \frac{H}{\sqrt{\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \lambda}$$

$$S_n = \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} n \lambda$$

Dvokratno f

↳ polovičen λ → dodatno -3dB

Skupaj:

Prazen p. -6dB

Ovira -3dB

-9dB

5. Določite domet toki-voki-jev na valovni dolžini $\lambda = 2 \text{ m}$, če oba toki-voki-ja med uporabo držimo na višini $h = 1.5 \text{ m}$ nad tlemi! Izhodna moč oddajnika toki-voki-ja znaša $P = 1 \text{ W}$, dobitek anten $G = 1$ in občutljivost sprejemnika $0.25 \mu \text{ V}_{\text{eff}}$ (pri nazivni impedanci vhoda $Z_k = 50 \text{ ohm}$). Slabljenje med sprejemnikom in oddajnikom povečuje odboj od ravnih tal!

$$P_s = \frac{U_{\text{eff}}^2}{Z_k} = 1.25 \cdot 10^{-15} \text{ W}$$

$$P_s = P_0 G_0 G_s \frac{h_0^2 h_s^2}{d^4} \rightarrow d = h \sqrt[4]{\frac{P_0 G^2}{P_s}} = 1.5 \text{ m} \sqrt[4]{\frac{1}{1.25 \cdot 10^{-15}}} = \underline{7.98 \text{ km}}$$

1. Izračunajte, na kateri razdalji od Teslovega transformatorja bo statična (theta) komponenta električnega polja enako velika kot sevano električno polje, če je transformator uglašen na frekvenco $f=50\text{kHz}$!

$$\vec{E} = \frac{j k Z_0}{4\pi} I \Delta l \frac{e^{jkr}}{r} \left[\vec{A}_r \left(\frac{1}{jkr} + \frac{1}{(jkr)^2} \right) 2 \cos \theta + \vec{A}_\theta \left(1 + \frac{1}{jkr} + \frac{1}{(jkr)^2} \right) \sin \theta \right]$$

$$|A| = \left| \frac{1}{(jkr)^2} \right| \rightarrow (kr)^2 = 1 \rightarrow r = \frac{1}{k} = \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{c_0}{2\pi f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}} = \underline{\underline{955 \text{ m}}}$$

2. Določite dobitok antenske skupine, ki jo sestavimo iz 16 enakih anten, od katerih ima vsaka dobitok $G_e=15\text{dBi}$! Antene namestimo na dovolj velikih razdaljah, da so medsebojne impedance zanemarljivo majhne ($Z_{ij}=0$). Upoštevajte tudi izgube v napajalnem vezju, ki znašajo $a=1\text{dB}$!

$$G_s = G_e - a + 10 \log N = 15\text{dBi} - 1\text{dB} + 10 \log 16 = \underline{\underline{26.04\text{dBi}}}$$

3. Izračunajte šumno temperaturo zrcalne antene, ko $a=20\%$ sevane moči žarilca uide preko roba zrcala. Pri izračunu upoštevajte, da stranski snopi antene sprejemajo toplotno sevanje Zemlje ($T_z=290\text{K}$), zrcalo samo pa je obrnjeno v hladno nebo ($T_n=4\text{K}$). Električni izkoristek žarilca, ki se nahaja na temperaturi okolice (Zemlje), znaša $\eta=0.9$.

$$T_a = \eta [a T_z + (1-a) T_n] + (1-\eta) T_z = 0.9 [0.2 \cdot 290\text{K} + (1-0.2) \cdot 4\text{K}] + (1-0.9) \cdot 290\text{K} = \underline{\underline{84\text{K}}}$$

4. Sredi radijske zveze na razdalji $d=20\text{km}$ in valovni dolžini $\lambda=2\text{cm}$ se nahaja $h=100\text{m}$ visoka klinasta ovira. Določite širino kovinskih trakov, iz katerih izdelamo uklanjalnik (difraktor) na vrhu ovire, da čimbolj povečamo polje v sprejemni točki!

$$N > h^2 \frac{d_1+d_2}{\lambda d_1 d_2} = (100\text{m})^2 \frac{20 \cdot 10^3 \text{ m}}{0.02\text{m} \cdot 10^4 \text{ m} \cdot 10^4 \text{ m}} = 100 \rightarrow N=101; N+1=102$$

$$S_N = \sqrt{N \lambda \frac{d_1 d_2}{d_1+d_2}} = \sqrt{101 \cdot 0.02\text{m} \frac{10^3 \text{ m}^2}{2 \cdot 10^4 \text{ m}}} = 100.999\text{m}; S_{N+1} = 100.995\text{m}; S_{N+1} - S_N = \underline{\underline{0.496\text{m}}}$$

5. Pri zaviranju vesoljske ladje v zemeljskem ozračju med povratkom na Zemljo se sprosti velika količina energije v obliki toplote, ki ustvari okoli vesoljske ladje vroč oblak močno ioniziranega plina. Izračunajte, do katere frekvence se tedaj prekinejo radijske zveze z vesoljsko ladjo, če znaša koncentracija prostih elektronov $N_e=1 \cdot 10^{17}$ elektronov/ m^3 v oblaku okoli ladje! ($m_e=9.1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$, $Q_e=-1.6 \cdot 10^{-19}\text{As}$)

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{N_e Q_e^2}{\epsilon_0 m_e}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10^{17} \text{ m}^{-3} \cdot 1.6^2 \cdot 10^{-38} \text{ A}^2 \text{ s}^2}{\frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Vs}}{\text{Vm}} \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{3.182 \cdot 10^{10} \frac{\text{s}^2}{\text{m}^2 \text{ kg}}} = \underline{\underline{2.839\text{GHz}}}$$

1. Izračunajte potrebno moč televizijskega oddajnika na krovu satelita, ki se nahaja na razdalji $d=40000\text{km}$ od sprejemne antena Zemlji. Dobitek oddajne antene znaša $G_0=35\text{dB}$, dobitek sprejemne antene $G_s=30\text{dB}$, oboje pri frekvenci $f=12\text{GHz}$. Sprejemnik potrebuje signal moči $P_s=-90\text{dBm}$, dodatno slabljenje zaradi padavin v zemeljskem ozračju pa znaša $a=5\text{dB}$.

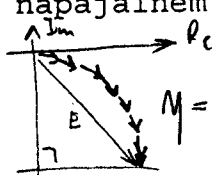
$$G_0=35\text{dB} = \underline{3162} \quad \lambda = \frac{c}{f} = \underline{2.5\text{cm}}$$

$$G_s=30\text{dB} = \underline{1000}$$

$$P_s = -90\text{dBm} = \underline{10^{-12}\text{W}} \quad a = 5\text{dB} = \underline{3.16}$$

$$P_0 = P_s \frac{a}{G_0 G_s} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 10^{-12}\text{W} \frac{3.16}{3162 \cdot 1000} \left(\frac{4\pi \cdot 4 \cdot 10^7\text{m}}{0.025\text{m}} \right)^2 = \underline{\underline{404\text{W}}}$$

2. Enakomerno osvetljena odprtina krožnega prereza ima kvadratno napako faze, ki na robu odprtine doseže vrednost $\pi/2$ glede na središče. Določite dobitek G odprtine, če znaša njen premer $2a=5\lambda$ in imamo zaradi neidealne prilagoditve valovitost (razmerje amplitude stojnega vala) enako 3:1 na napajalnem vodu! Drugih izgub smernosti ali dobitka ni.



$$M = \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi/2} \right)^2 = \underline{0.811} \quad |M| = \frac{2-1}{3+1} = \frac{3-1}{3+1} = \underline{0.5} \quad A = \pi a^2 = \pi \cdot \left(\frac{5\lambda}{2} \right)^2 = \underline{6.25\pi\lambda^2}$$

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A M (1-|M|^2) = \frac{4\pi}{\lambda^2} 6.25\pi\lambda^2 \cdot 0.811 \cdot (1-0.25) = \underline{\underline{150 = 21.8\text{dBi}}}$$

3. Izračunajte šumno moč na vhodnih sponkah sprejemnika v pasovni širini $B=10\text{MHz}$, ko brezizgubno anteno z dobitkom $G=20\text{dBi}$ obrnemo v Sonce. Šumna temperatura Sonca znaša $T_s=100000\text{K}$ na uporabljeni valovni dolžini, Sonce pa vidimo pod zornim kotom $\alpha=0.5$ stopinje. Šumno temperaturo ozadja za Soncem zanemarimo. ($k_B=1.38\text{E}-23\text{J/K}$)

$$\Omega_s = 2\pi (1 - \cos \frac{\alpha}{2}) = \underline{5.98 \cdot 10^{-5} \text{ str}} \quad P = B k_B T_A = 10^7 \text{s}^{-1} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K} \cdot 47.6\text{K} = \underline{\underline{6.54 \cdot 10^{-15} \text{W}}}$$

$$G = 20\text{dBi} = \underline{100}$$

$$T_A = T_s \frac{\Omega_s}{4\pi} G = 10^5 \text{K} \cdot \frac{5.98 \cdot 10^{-5}}{4\pi} \cdot 100 = \underline{47.6\text{K}}$$

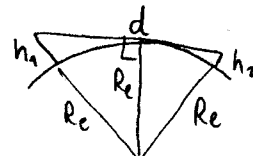
4. Radijsko zvezo na valovni dolžini $\lambda=4\text{m}$ in razdalji $d=30\text{km}$ moti hrib v obliki klinaste ovire, ki vnaša dodatno uklonsko slabljenje $a=20\text{dB}$ v radijsko zvezo. Izračunajte višino hriba $H=?$, če se nahaja ovira točno sredi radijske poti!

$$\beta_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{4\text{m} \frac{15 \cdot 15 \cdot 10^3 \text{m}^2}{30 \cdot 10^3 \text{m}}} = \underline{173\text{m}}$$

$$a = 16\text{dB} + 20\text{dB} \log \frac{H}{\beta_1} \rightarrow H = \beta_1 \cdot 10^{\frac{a-16\text{dB}}{20\text{dB}}} = 173\text{m} \cdot 10^{\frac{20-16}{20}} = \underline{\underline{274.5\text{m}}}$$

5. Določite domet d (radijsko vidljivost) antene oddajnika, ki je postavljena na $h_1=50\text{m}$ visok stolp nad ravno okolico! Sprejemnik se nahaja na $h_2=5\text{m}$ nad tlemi. Polmer Zemlje je $R_z=6400\text{km}$, krivinski polmer radijskih žarkov v troposferi pa $R=25000\text{km}$. Odboj od tal zanemarimo.

$$R_e = \frac{R R_z}{R - R_z} = \frac{25000 \cdot 6400 \text{km}^2}{25000 - 6400 \text{km}} = \underline{8602\text{km}}$$



$$d = \sqrt{(h_1 + R_e)^2 - R_e^2} + \sqrt{(h_2 + R_e)^2 - R_e^2} = \sqrt{2h_1 R_e + h_1^2} + \sqrt{2h_2 R_e + h_2^2} = 29.3\text{km} + 9.27\text{km} = \underline{\underline{38.6\text{km}}}$$

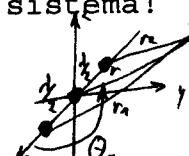
1. Efektivna sevana moč (zmnožek moči oddajnika in dobitka oddajne antene) televizijskega satelita znaša EIRP=60dBW. Določite potrebno velikost (premer 2r) sprejemne antene na Zemlji na razdalji d=40000km, če zahtevamo razmerje Psignala/Pšuma=15dB v pasovni širini B=30MHz in ima sprejemnik skupaj z anteno šumno temperaturo T=150K! Izkoristek osvetlitve sprejemne antene znaša eta=70%, kb=1.38E-23J/K.

$$P_0 G_0 = 60 \text{ dBW} = 10^6 \text{ W} \quad P_s = \frac{P_0 G_0}{4\pi d^2} A_s \eta_s \rightarrow A_s = \frac{S/N B k_B T \cdot 4\pi d^2}{P_0 G_0 \eta_s}$$

$$S/N = 15 \text{ dB} = 31.6$$

$$P_n = B k_B T; \quad P_s = \frac{S}{N} B k_B T \quad 2r = 2\sqrt{\frac{A_s}{\pi}} = 4d \sqrt{\frac{S/N B k_B T}{P_0 G_0 \eta_s}} = 1.6 \cdot 10^8 \sqrt{\frac{31.6 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 150}{10^6 \cdot 0.7}} = \underline{0.268 \text{ m}}$$

2. Skupina anten je sestavljena iz treh izotropnih izvorov, ki so nameščeni na osi X na enakih razdaljah d=lamba/2 in so napajani sofazno z enako velikimi tokovi (I1=I2=I3). Zapišite smerni diagram sevanja takšne skupine F(theta, phi)=?, kjer sta theta in phi koordinati običajnega krogelnega koordinatnega sistema!

$$E = \alpha I \left(\frac{e^{jkr_1}}{r_1} + \frac{e^{jkr_2}}{r_2} + \frac{e^{jkr}}{r} \right) \approx \alpha I \frac{e^{jkr}}{r} \left(e^{jkd \cos \theta_x} + e^{-jkd \cos \theta_x} + 1 \right) = \alpha I \frac{e^{jkr}}{r} (2 \cos(kd \cos \theta_x) + 1)$$


$$F(\theta, \phi) = 2 \cos(kd \cos \theta_x) + 1 = 2 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2} \sin \theta \cos \phi\right) + 1 = \underline{2 \cos(\pi \sin \theta \cos \phi) + 1}$$

$$\cos \theta_x = \sin \theta \cos \phi$$

3. V radijski zvezi uporabimo dve anteni z desno krožno polarizacijo, ki imata osno razmerje R=2dB. Določite meji (največje in najmanjše) dodatnega slabljenja (v decibelih), ki ga v zvezo lahko vnese polarizacijska neskladnost anten, ko eno anteno sukamo vzdolž osi glede na drugo anteno.

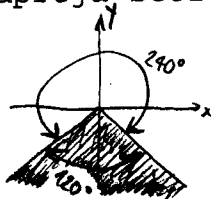
$$R = 2 \text{ dB} = 1.259$$

$$\alpha = \frac{|1 + Q_1 Q_2|^2}{(1 + |Q_1|^2)(1 + |Q_2|^2)}$$

$$|Q| = \frac{R-1}{R+1} = 0.115$$

$$\alpha_{\max/\min} = \frac{(1 \pm |Q|^2)^2}{(1 + |Q|^2)^2} = \left(\frac{1 \pm 0.013}{1 + 0.013} \right)^2 = 1; 0.974 = \underline{0 \text{ dB}; -0.114 \text{ dB}}$$

4. Radijsko zvezo med dvema planinskima vrhovoma na razdalji d=40km in valovni dolžini lambda=1m moti ovira, hrib v obliki stožca, ki se s svojim vrhom ravno dotika zveznice med sprejemnikom in oddajnikom. Ovira je od oddajnika oddaljena d1=15km. Določite dodatno slabljenje (v decibelih), ki ga v zvezo vnaša ovira, če znaša kot odprtja stožca (kot v vrhu) alfa=120stopinj!



$$\frac{E}{E_0} = \frac{360^\circ - \alpha}{360^\circ} = \frac{2}{3}$$

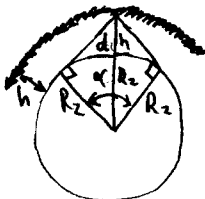
$$\alpha = 20 \log\left(\frac{E}{E_0}\right) = 20 \log\left(\frac{2}{3}\right) = \underline{-3.52 \text{ dB}}$$

5. Izračunajte največjo koncentracijo elektronov Nmax=? in višino maksimuma h=? ionosferske plasti, če znaša MUF=25MHz in domet zveze v enem "skoku" preko ionosfere d=3800km (merjeno po zemeljski površini)! (Rz=6378km, Qe=-1.6E-19As, me=9.1E-31kg)

$$\alpha = \frac{d}{R_2}; \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{R_2}{R_2 + h} \rightarrow h = \frac{R_2}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R_2 = \underline{294 \text{ km}}$$

$$n = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2}\right) = \cos \frac{\alpha}{2} = 0.956$$

$$f_p = \text{MUF} \sqrt{1 - n^2} = 7.34 \text{ MHz} \quad N = \frac{(2\pi f)^2 m_e \epsilon_0}{Q_e^2} = \frac{(2\pi \cdot 7.34 \cdot 10^6)^2 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31}}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^3 \cdot (1.6 \cdot 10^{-19})^2} = \underline{6.68 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}}$$



1. Sevalna upornost majhne krožne zanke znaša $R_s = 0.001 \Omega$ pri frekvenci $f = 10 \text{ MHz}$ v praznem prostoru (v zraku). Kolikšna je sevalna upornost $R_s' = ?$ iste zanke pri isti frekvenci, če zanko potopimo v čisto vodo (relativna dielektričnost vode znaša $\epsilon_r = 80$)?

$$R_s' = \frac{8\pi^2 Z_0^2 \Delta A^2}{3\lambda^4} = (\sqrt{\epsilon_r})^3 \frac{8\pi^2 Z_0 \Delta A^2}{3\lambda^4} = (\sqrt{\epsilon_r})^3 R_s = (\sqrt{80})^3 \cdot 0.001 \Omega = \underline{\underline{0.715 \Omega}}$$

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon}} = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_r}} ; \lambda = \frac{c}{f} = \frac{c_0}{f\sqrt{\epsilon_r}}$$

2. Zapišite smerni diagram antene $F(\theta, \phi) = ?$, ki jo sestavljajo štiri majhne krožne zanke v ravnini XY, razporejene v ogliščih kvadrata s stranico $a = \lambda/4$! Tudi kvadrat leži v ravnini XY, stranici sta vzporedni s pripadajočima koordinatnima osema. Vse štiri krožne zanke so napajanje sofazno.

$$F(\theta, \phi) = F_e \cdot F_x \cdot F_y = \sin\theta \cdot \cos\left(\frac{ka}{2} \cos\theta_x\right) \cdot \cos\left(\frac{ka}{2} \cos\theta_y\right) = \underline{\underline{\sin\theta \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} \sin\theta \cos\phi\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} \sin\theta \sin\phi\right)}}$$

$$ka = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2} ; \cos\theta_x = \sin\theta \cos\phi ; \cos\theta_y = \sin\theta \sin\phi$$

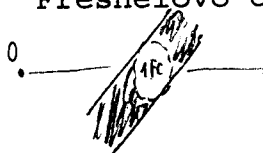
3. Določite šumno moč na priključku neusmerjene antene $P = ?$ v pasovni širini $B = 7 \text{ MHz}$, če znaša šumna temperatura Zemlje $T_z = 290 \text{ K}$ in šumna temperatura neba $T_n = 10 \text{ K}$! Električni izkoristek antene znaša $\eta = 80\%$ in tudi sama antena se nahaja na temperaturi Zemlje. ($k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$)

$$P = B \cdot k_B \cdot T = B \cdot k_B \cdot \left[\frac{T_n + T_z}{2} \cdot \eta + T_z \cdot (1 - \eta) \right] = 7 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot \left[\frac{10 + 290}{2} \text{ K} \cdot 0.8 + 290 \text{ K} \cdot 0.2 \right]$$

$$P = 9.66 \cdot 10^{-17} \text{ W/K} \cdot 178 \text{ K} = \underline{\underline{1.72 \cdot 10^{-14} \text{ W}}}$$

4. Določite dodatno slabljenje ovire v obliki neskončno dolgega traku iz neprosojne snovi, ki ga postavimo prečno na radijsko zvezo! Širina traku ustreza premeru prve Fresnelove cone in trak je postavljen tako, da točno pokriva celotno prvo Fresnelovo cono.

Klinasta ovira: $a_k = 16 + 20 \log \frac{H}{s_1} \text{ [dB]}$



Trak: $E_{\text{TRAK}} = 2E_{\text{KUNNA}} \rightarrow a_{\text{TRAK}} = a_k - 6 \text{ dB}$

$H = s_1 \rightarrow a_{\text{TRAK}} = 16 \text{ dB} - 6 \text{ dB} = \underline{\underline{10 \text{ dB}}}$

5. Določite domet GSM bazne postaje, ki je opremljena z oddajnikom moči $P_0 = 10 \text{ W}$ na frekvenci $f = 950 \text{ MHz}$ in anteno z dobitkom $G_0 = 18 \text{ dBi}$ na višini $h_0 = 50 \text{ m}$! Prenosni sprejemnik ima neusmerjeno anteno ($G_s = 1$) na višini $h_s = 1.5 \text{ m}$, najnižja dopustna moč na vhodnih sponkah sprejemnika pa znaša $P_{\text{min}} = 1 \text{ pW}$ vključno z rezervo zveze.

$$P_s = P_0 G_0 G_s \frac{h_0^2 h_s^2}{d^4} \rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{P_0}{P_s} G_0 G_s h_0^2 h_s^2} = \sqrt[4]{\frac{10 \text{ W}}{10^{-12} \text{ W}} \cdot 63 \cdot 1 \cdot 50^2 \text{ m}^2 \cdot 1.5^2 \text{ m}^2} = \underline{\underline{43.4 \text{ km}}}$$

$$G_0 = 18 \text{ dBi} = 63 ; G_s = 1$$

1. Izračunajte sevalni izkoristek $\eta = ?$ okvirne antene, ki ima obliko tuljave s presekom $A = 1 \text{ m}^2$ in $N = 10$ ovoji na frekvenci $f = 500 \text{ kHz}$! Tuljava je navita z žico z ohmsko upornostjo $R = 10 \text{ ohm}$, izgube v ugaševalnem kondenzatorju pa so zanemarljivo majhne.

$$R_s = \frac{8\pi^3 Z_0 A^2 N^2}{3\lambda^4} = \frac{8\pi^3 \cdot 120\pi \Omega \cdot 1 \text{ m}^4}{3 \cdot 600^4 \text{ m}^4} \cdot 10^2 = \underline{24.05 \mu\Omega}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 600 \text{ m} \quad \eta = \frac{R_s}{R_s + R} = \frac{0.000024 \Omega}{10.000024 \Omega} = \underline{2.4 \cdot 10^{-5} = 2.4 \cdot 10^{-3} \%}$$

2. Zapišite smerni diagram $F(\theta, \phi) = ?$ ter izračunajte smernost $D = ?$ skupine dveh izotropnih izvorov, ki sta postavljena na osi Z na medsebojni razdalji $d = 0.1 \text{ m}$! Skupino napajamo z oddajnikom s frekvenco $f = 100 \text{ MHz}$. Anteni napajamo z enako velikima tokovoma ter faznim zamikom $\phi = 180^\circ$ stopinj (protifazno).

$$F(\theta, \phi) = \cos\left(\frac{\phi}{2} + \frac{kd}{2} \cos\theta\right) = \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{2\pi \cdot 0.1}{3} \cos\theta\right) = \underline{-\sin(0.0667\pi \cos\theta)}; \theta_{\max} = 0; \pi$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3 \text{ m} \quad D = \frac{4\pi |F(\theta_{\max}, \phi_{\max})|^2}{\int_{-1}^{+1} |F(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta d\phi} = \frac{2 \sin^2(0.0667\pi)}{\int_{-1}^{+1} \sin^2(0.0667\pi u) du} = \frac{1 - \cos(0.1333\pi)}{0.1333\pi} = \frac{0.0865}{0.0290} = \underline{2.98 = 4.75 \text{ dBi}}$$

3. V danem frekvenčnem pasu seva Sonce nepolariziran šum s spektrano gostoto moči $S = 3.0 \text{ E-}17 \text{ W/m}^2/\text{Hz}$. Izračunajte, za koliko se poveča $P = ?$ na vходу sprejemnika s pasovno širino $B = 1 \text{ MHz}$, ko anteno premera $2r = 1 \text{ m}$ zasukamo iz hladnega neba v Sonce! Izkoristek osvetlitve antenske odprtine znaša $\eta = 70\%$, antena pa sprejema eno samo polarizacijo.

$$P = \frac{1}{2} S B A_{\text{eff}} = \frac{1}{2} S B \pi r^2 \eta = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^{-17} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ Hz}} \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot \pi \cdot 0.5^2 \text{ m}^2 \cdot 0.7 = \underline{8.27 \text{ pW} = -80.8 \text{ dBm}}$$

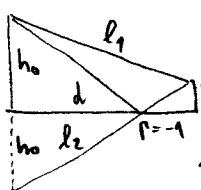
↑ ENA SAMA POLARIZACIJA

4. Usmerjena radijska zveza dela na frekvenci $f = 4 \text{ GHz}$ in premošča razdaljo $d = 30 \text{ km}$. Izračunajte volumen, potreben za razširjanje radijskih valov v prostoru od oddajne do sprejemne antene, če naj bosta prva in druga Fresnelova cona neovirani kjerkoli v preseku radijske zveze!

$$d_1 = d_2 = \frac{d}{2} = 15 \text{ km}; \quad \lambda = \frac{c}{f} = 0.075 \text{ m}; \quad \rho_2 = \sqrt{2\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{\lambda d_1} = \underline{33.5 \text{ m}}$$

$$\text{Volumen podolgovatega elipsoida: } V = \frac{4\pi}{3} a b^2 = \frac{4\pi}{3} \left(d_1 + \frac{\lambda}{2}\right) \rho_2^2 = \underline{70.69 \cdot 10^6 \text{ m}^3}$$

5. Televizijski oddajnik na frekvenci $f = 500 \text{ MHz}$ je postavljen na $h_o = 500 \text{ m}$ visok hrib, ki je oddaljen $d = 10 \text{ km}$ od sprejemnika. Na kakšno višino se spleča postaviti sprejemno anteno $h_s = ?$, da bo sprejem najmočnejši? Okolica sprejemnika je ravnina, lom radijskih valov v troposferi zanemarimo.



$$l_1 = \sqrt{d^2 + (h_o - h_s)^2} \approx d + \frac{(h_o - h_s)^2}{2d} \quad l_2 = \sqrt{d^2 + (h_o + h_s)^2} \approx d + \frac{(h_o + h_s)^2}{2d}$$

$$l_2 - l_1 \approx \frac{2h_o h_s}{d}; \quad \frac{2h_o h_s}{d} = \frac{\lambda}{2}$$

$$h_s = \frac{\lambda d}{4h_o} = \frac{0.6 \text{ m} \cdot 10^4 \text{ m}}{4 \cdot 500 \text{ m}} = \underline{3 \text{ m}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 60 \text{ cm}; \quad \Gamma = -1 \rightarrow l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2}$$

1. Televizijski oddajnik moči $P=1\text{kW}$ je postavljen na $h_0=1000\text{m}$ visok hrib in je opremljen z anteno z dobitkom $G_0=10$. Izračunajte največjo električno poljsko jakost $E_{\text{max}}=?$ na mestu $d=10\text{km}$ oddaljenega sprejemnika, če višino sprejemnika h_s nastavimo za najmočnejši sprejem z upoštevanjem odboja od tal! ($f=500\text{MHz}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$r = \sqrt{h_0^2 + d^2} = \underline{10050\text{m}} \quad E = \sqrt{2SZ_0} = \underline{77\text{mV/m}}$$

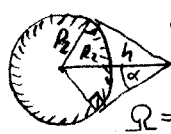
$$S = \frac{PG_0}{4\pi r^2} = \underline{7.88\mu\text{W/m}^2} \quad E_{\text{max}} = 2E = \underline{154\text{mV/m}}$$

2. Na frekvenci $f=12\text{GHz}$ potrebujemo anteno z dobitkom $G=40\text{dBi}$. Izračunajte premer $d=?$ in globino $h=?$ rotacijsko simetričnega paraboličnega zrcala! Zrcalo osvetlimo z žarilcem, ki pri razmerju $f/d=0.4$ doseže izkoristek osvetlitve odprtne eta=80%. Pri računu upoštevajte tudi neidealnost površine zrcala, kar prinese $a=0.5\text{dB}$ izgube dobitka, izgubo zaradi sence žarilca pa zanemarite! ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$D = aG = 40.5\text{dBi} = \underline{11220} \quad \lambda = \frac{c_0}{f} = 2.5\text{cm} \quad f = d \left(\frac{f}{d}\right) = \underline{0.379\text{m}}$$

$$A = \frac{D\lambda^2}{4\pi\eta} = \underline{0.698\text{m}^2} \quad d = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} = \underline{0.942\text{m}} \quad h = \frac{d^2}{16f} = \underline{0.147\text{m}}$$

3. Izračunajte šumno temperaturo $T_a=?$ telekomandne antene na krovu satelita, ki se nahaja na višini $h=3000\text{km}$ nad zemeljsko površino ($R_z=6378\text{km}$)! Zemlja seva kot črna kroglja s povprečno šumno temperaturo $T_z=290\text{K}$, povprečna šumna temperatura neba vključno s Soncem pa znaša $T_n=10\text{K}$. Telekomandna sprejemna antena je neusmerjena in brezizgubna ($\text{eta}=100\%$).



$$\sin \alpha = \frac{R_z}{R_z + h} \quad T_A = \frac{T_z \Omega + T_n(4\pi - \Omega)}{4\pi} = \underline{47.4\text{K}}$$

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \alpha) = 2\pi \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R_z}{R_z + h}\right)^2}\right) = \underline{1.677\text{sr}}$$

4. Oddajnik in sprejemnik se nahajata na razdalji $d=20\text{m}$ in delata na frekvenci $f=10\text{GHz}$. Točno na sredino med oddajnik in sprejemnik postavimo neprosojen zaslon s krožno odprtino na zveznici oddajnik-sprejemnik. Kolikšen mora biti polmer odprtine $r_0=?$, da se jakost sprejema zmanjša za $a=20\text{dB}$ glede na prazen prostor brez zaslona? ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = 3\text{cm} \quad d_1 = d_2 = \frac{d}{2} = 10\text{m} \quad g = g_1 \sqrt{\frac{2}{\pi} \arcsin \left(\frac{|E|}{2|E_{\text{ref}}|}\right)}$$

$$g_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 d_2}} = \underline{0.387\text{m}} \quad |E| = |E_{\text{ref}}| 10^{-\frac{a}{20}} = \frac{|E_{\text{ref}}|}{10} \quad g = \underline{0.069\text{m} = 6.9\text{cm}}$$

5. Določite domet (radijsko vidljivost) oddajnika na $h=300\text{m}$ visokem kuclju nad ravno okolico na frekvenci $f=900\text{MHz}$! Lom radijskih valov troposferi ukrivlja žarke na polmer $R=25000\text{km}$ in tako povečuje domet radijskih zvez. Odboj od ravnih tal zanemarite! ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$, $R_z=6378\text{km}$)

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_z} - \frac{1}{R}} = \underline{8562\text{km}} \quad d \approx \sqrt{(R_e + h)^2 - R_e^2} \approx \sqrt{2R_e h} = \underline{71.7\text{km}}$$

23.06.2009

Pisni izpit iz ANTEN IN RAZŠIRJANJA VALOV (VSP) -

1. Na kateri razdalji $d=?$ doseže vstavitveno slabljenje radijske zveze vrednost $a=80\text{dB}$ v povsem praznem prostoru med dvema polvalovnima dipoloma? Električni izkoristek vsakega dipola je $\eta=98\%$. Dipola zasukamo za največji prenos moči oddajnika s frekvenco $f=1\text{GHz}$. ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$D = 2.16\text{dBi} = 1.644 \quad P_s = P_o G_o G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \rightarrow r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{G_o G_s \left(\frac{P_o}{P_s}\right)} = 384.7\text{m}$$

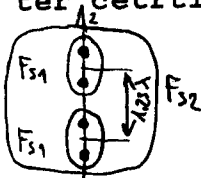
$$G = \eta D = 1.611 \quad \lambda = \frac{c}{f} = 30\text{cm} \quad \frac{P_o}{P_s} = a = 80\text{dB} = 10^8$$

2. Anteno napajamo s koaksialnim kablom s karakteristično impedanco $Z_k=50\text{ohm}$ in oddajnikom, ki je brezhibno prilagojen na impedanco kabla na frekvenci $f=30\text{MHz}$. Z reflektometrom izmerimo razmerje stojnega vala (neubranost) $\rho_0=2.6$ za dano anteno. Izračunajte dodatno slabljenje $a=?$ (v decibelih) zaradi neprilagoditve impedance antene! ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$S = \frac{1+|\Gamma|^2}{1-|\Gamma|^2} \rightarrow |\Gamma|^2 = \frac{S-1}{S+1} = 0.444$$

$$a = -10 \log(1-|\Gamma|^2) = 0.956\text{dB}$$

3. Zapišite smerni diagram $F(\theta, \phi)=?$ skupine štirih enakih neusmerjenih izvorov, ki se nahajajo na osi z! Izvori so napajani z enakimi tokovi $I_1=I_2=I_3=I_4$ in so enako polarizirani. Razdalja med prvim in drugim izvorom znaša $h_{12}=0.5\lambda$, med drugim in tretjim izvorom $h_{23}=0.75\lambda$ in med tretjim ter četrtem izvorom $d_{34}=0.5\lambda$.



$$F_{s1} = \cos\left(\frac{k \cdot 0.5\lambda}{2} \cos\theta\right) = \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)$$

$$F_{s2} = \cos\left(\frac{k \cdot 1.25\lambda}{2} \cos\theta\right) = \cos\left(\frac{5\pi}{4} \cos\theta\right)$$

$$F(\theta, \phi) = F_{s2} \cdot F_{s1}$$

$$F(\theta, \phi) = \cos\left(\frac{5\pi}{4} \cos\theta\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)$$

4. Usmerjena radijska zveza premošča razdaljo $d=30\text{km}$ na frekvenci $f=8\text{GHz}$. Izračunajte površino $A_{\text{max}}=?$ največje prve Fresnel-ove cone! Zveza poteka v praznem prostoru brez ovir, smernosti uporabljenih anten znašajo $D_o=D_s=30\text{dBi}$ za desno krožno polarizacijo. ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

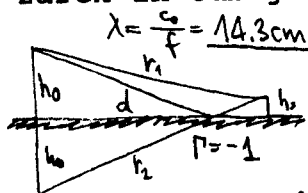
$$\text{max: } d_1=d_2 = \frac{d}{2} = 15\text{km}$$

$$r_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1+d_2}} = 16.77\text{m}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3.75\text{cm}$$

$$A = \pi r_1^2 = 883.6\text{m}^2$$

5. Uporabnik drži mobilni telefon na višini $h_s=1.5\text{m}$ nad tlemi, antena bazne postaje na frekvenci $f=2.1\text{GHz}$ pa se nahaja na drogu na višini $h_o=30\text{m}$. Izračunajte največjo vodoravno razdaljo $d=?$ med bazno postajo in telefonom, ko se neposredni žarek in odboj od tal med sabo konstruktivno seštevata!



$$\lambda = \frac{c}{f} = 14.3\text{cm}$$

$$r_1 = \sqrt{d^2 + (h_o - h_s)^2} \approx d + \frac{1}{2d} (h_o^2 + h_s^2 - 2h_o h_s)$$

$$r_2 = \sqrt{d^2 + (h_o + h_s)^2} \approx d + \frac{1}{2d} (h_o^2 + h_s^2 + 2h_o h_s)$$

$d \gg h_o, h_s$

$$\text{max: } r_2 - r_1 = \frac{\lambda}{2} \approx \frac{2h_o h_s}{d} \rightarrow d = \frac{4h_o h_s}{\lambda} = 1260\text{m}$$

1. Srednjevalovni radijski sprejemnik na frekvenci $f=918\text{kHz}$ moti elektromotor kavnega mlinčka na oddaljenosti $d=5\text{m}$. Na katero razdaljo $d'=?$ moramo umakniti motilec, da jakost motenj v sprejemniku upade za $a=20\text{dB}$? ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$\lambda = \frac{c}{f} = \underline{324\text{m}} \gg d \Rightarrow \text{bližnje statično polje} \propto d^{-3}$$

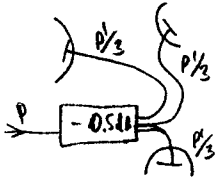
$$a = 20 \log_{10} \left(\frac{E}{E'} \right) = 20\text{dB} \rightarrow \frac{E}{E'} = 10 = \left(\frac{d'}{d} \right)^3 \rightarrow d' = d \sqrt[3]{10} = \underline{10,8\text{m}}$$

2. Izračunajte premer $d=?$ in globino $h=?$ paraboličnega zrcala, če zahtevamo dobitok celotne $G=45\text{dBi}$ na frekvenci $f=12\text{GHz}$! Žarilec doseže največji izkoristek $\eta=75\%$ pri razmerju $f/d=0.35$ in je zadosti majhen, da lahko zanemarimo vpliv njegove sence na dobitok zrcalne antene. ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$G = 45\text{dBi} = \underline{31623}, \quad \lambda = \frac{c}{f_0} = \underline{2,5\text{cm}}, \quad d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \underline{1,634\text{m}}$$

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \eta \Rightarrow A = \frac{G \lambda^2}{4\pi \eta} = \underline{2,097\text{m}^2} \quad h = \frac{d^2}{16f} = \frac{d}{16(f/d)} = \underline{0,292\text{m}}$$

3. Antensko skupino sestavimo iz treh enakih anten, ki pokrivajo tri različne smeri tako, da se snopi posameznih anten ne prekrivajo. Vsaka antena ima dobitok $G_e=18\text{dBi}$, spojno vezje pa vnaša dodatne izgube $a=0,5\text{dB}$. Kolikšen bo dobitok takšne skupine $G=?$



$$G = G_e - a - 10 \log_{10} 3 = 18\text{dBi} - 0,5\text{dB} - 4,77\text{dB} = \underline{12,73\text{dBi}}$$

4. Radijska zveza premošča razdaljo $d=60\text{km}$ na frekvenci $f=450\text{MHz}$, pri tem pa zvezo moti gorski greben točno sredi radijske poti. Izračunajte višino grebena $h=?$ nad zveznico oddajnik-sprejemnik, če je izmerjeno slabljenje zveze za $a=30\text{dB}$ večje od izračuna v praznem prostoru! ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$d_1 = d_2 = \frac{d}{2} = \underline{30\text{km}}, \quad \lambda = \frac{c}{f} = \underline{0,667\text{m}}, \quad \rho_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 d_2}} = \underline{100\text{m}}$$

$$a = 16\text{dB} + 20 \log_{10} \frac{H}{\rho_1} \rightarrow H = \rho_1 10^{\frac{a-16}{20}} = \underline{501\text{m}}$$

5. Ob vstopu vesoljske ladje v zemeljsko ozračje se v neposredni okolici ladje vzpostavi oblak ioniziranega plina, ki prekine radijsko zvezo na frekvenci $f=259\text{MHz}$. Izračunajte gostoto elektronov $N_e=?$ v oblaku! ($m_e=9,1\text{E}-31\text{kg}$, $Q_e=-1,6\text{E}-19\text{As}$)

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{N_e Q_e^2}{\epsilon_0 m_e}} \rightarrow N_e = \left(2\pi f \right)^2 \frac{\epsilon_0 m_e}{Q_e^2} = \underline{8,3 \cdot 10^{14} \text{elektronov/m}^3}$$

$$\epsilon_0 \approx \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$