RADIJ. KOMUNIKACIJE

VAJE

1. tiha vaja

① Če dve majhni tuljavi razmaknemo na dvakratno razdaljo, medsebojna induktivnost $M = ?$ upade na vrednost: (M/8)

$r = 2m$
$M = 2$
$A_{1,2} = 1m^2$
$r \Rightarrow 2r = 4m$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ Vo/Am$

$$M_1 = \mu_0 \frac{A_1 \cdot A_2}{r^3} = 1{,}57 \cdot 10^{-7}$$

$$M_2 = \mu_0 \frac{A_1 \cdot A_2}{(2r)^3} = 1{,}963 \cdot 10^{-8}$$

$$M = \frac{M_2}{M_1} = M/8 \ \checkmark$$

② Radijski oddajnik dela na frekvenci $f = 100MHz$. Valovno št. $h = ?$ v praznem prostoru ($c_0 = 3 \cdot 10^8\ m/s$) znaša: (120°/m)

$f = 100\,MHz$
$c_0 = 3 \cdot 10^8\ m/s$

$h = ?$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3m$$

$$h\lambda = 2\pi$$

$$2\pi\,(rad) = 360^\circ$$

$$h = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{360^\circ}{3m} = 120^\circ/m \ \checkmark$$

③ Koaks. kabel ima karakt. imp. $Z_K = 60\Omega$ in $C/\ell = 1pF/cm$. Kolikšna je induktivnost $L/\ell = ?$ (3,6nH/cm)

$Z_K = 60\Omega$
$C/\ell = 1pF/cm$

$L/\ell = ?$

$$Z_K = \sqrt{\frac{L/\ell}{C/\ell}}$$

$$Z_K^2 = L/C$$

$$L = Z_K^2 \cdot 1pF$$

$$L = 60^2\Omega^2 \cdot 1pF = 3{,}6nH \ \checkmark$$

④ Odbojnost bremena Γ znaša: (-0,333)

$R = 25\,\Omega$
$Z_k = 50\,\Omega$

$\Gamma = \frac{R - Z_k}{R + Z_k} = \frac{25-50}{25+50} = -0,333$ ✓

⑤ Valovitost $R_0 = ?$ znaša: (4,000)

$\Gamma = 0,6$

$R_0 = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} = \frac{1+0,6}{1-0,6} = 4$

⑥ Velikine so izgube $l = 20m$ kabla do antene na $f' = 200\,MHz$? (2,500 dB)

$a/l = \frac{25dB}{100m}$
$f = 800\,MHz$
$l = 20m$
$f' = 200\,MHz$

⑦ Na kateri razdalji $r = ?$ bo sevano polje enako veliko kot bližnje polje:

$f = 918\,kHz$

$\lambda = \frac{c}{f} = 326m$

$r = ?$

$k_3 = k_B$

$k = \frac{2\pi}{\lambda} = 0,019$

BLIŽNJE POLJE

$r = 1/k = 52,63m$ ✓

(52m)

⑧ Izračunaj je gostota sevane moči $S=?$ na razdalji $r=20\,cm$: $0{,}995\,mW/cm^2$

$P=20\,W$
$r=20\,cm$

$S=?$

$$S=\frac{P}{4\pi r^2}=\frac{20\,W}{12{,}56\cdot 20^2}=0{,}947\,mW/cm^2 \checkmark$$

⑨ Izračunaj je slabljenje zveze $P_s/P_0=?$ (v dB) na $r=1\,km$ brez ovir? $-76\,dB$

$\eta=1$
$\lambda=2\,m$
$r=1\,km$

$P_0/P_0=?$

$$\frac{P_s}{P_0}=10\log\frac{\eta\lambda^2}{(4\pi r)^2}=10\log\frac{1\cdot 4m^2}{12560^2\,m^2}=-76\,dB \checkmark$$

⑩ Na kateri razdalji $r=?$ dobimo daljnje polje antene? $41{,}3\,km$

$d=66\,m$
$f=1421\,MHz$

$r=?$

$$\lambda=\frac{c_0}{f}=0{,}211\,m$$

$$r=\frac{2d^2}{\lambda}=\frac{2\cdot 66m^2}{0{,}211\,m}=41289\,m=41{,}3\,km \checkmark$$

2. tiha vaja

① Vez dolžine $l = 15cm$ vmaša med CPU in RAM zakasnitev t:

$\varepsilon_r = 4$
$l = 15cm$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r}} = 149931690\ m/s$$

$$\Delta t = \frac{l}{c} = 1ns \checkmark$$

② Približevanje na $r' = 1km$, da polje E': (3mVeff/m)

$E = 1mVeff/m$
$r = 3km$
$r' = 1km$

③ Na kateri razdalji $r = ?$ dobimo daljnje polje? (16m)

$d = 40cm$
$f = 15GHz$
$c_0 = 3 \cdot 10^8\ m/s$

$$r = \frac{2d^2}{\lambda} \qquad \lambda = \frac{c_0}{f} = 0{,}02m$$

$$r = \frac{2 \cdot 0{,}4m^2}{0{,}02m} = 16m \checkmark$$

④ Simetrični tankožični dipol dolžine $l = 10m$ ima najnižjo impedanco napajalni točki sredi dipola na frekvenci: (15MHz)

$l = 10m$

⑤ Čist smerni diagram GP antene brez toka po nosilcu antene dosežemo z radiali (poševne palične srajčke) dolžine: $0,30\lambda$

Ground Plane Antena

$l = 0,28 \ldots 0,32\lambda$

⑥ Pravokotna Al cev z notranjim prerezom $h = 16\,mm \times w = 36\,mm$ je uporabna kot votel kovinski valovod v frekv. pasu: $4,2 - 8,3\,GHz$

$h = 16mm$
$w = 36mm$

BREZ VIŠJIH RODOV: $2w < \lambda < 2h$, $\lambda < w$

EN ROD: $2w < \lambda < w$

OSNOVNI ROD – POGOJ: $w > \frac{\lambda}{2}$

$f_1 = \frac{c_0}{\lambda_1} = \frac{3 \cdot 10^8\,m/s}{7,2cm} \simeq 4,2\,GHz$

$f_2 = \frac{c_0}{\lambda_2} = \frac{3 \cdot 10^8\,m/s}{3,6cm} \simeq 8,3\,GHz$

$w > \frac{\lambda}{2}$

$\lambda_1 = 72mm = 7,2cm$

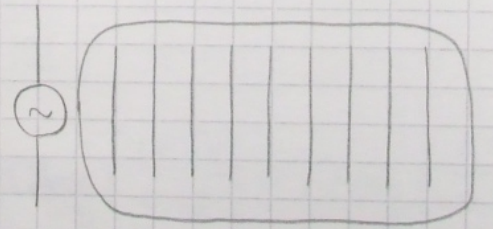
$w = \lambda_2 = 36mm = 3,6cm$

$\Rightarrow 4,2GH - 8,3GHz$ ✓

⑦ Umetni dielektrik z $\varepsilon_r > 1$ naredimo iz kovinskih palic, ki so: $l < \frac{\lambda}{2}$

malo krajše od lambda/2 ✓

UMETEN DIELEKTRIK (Yagi-Uda)



Palice $l < \frac{\lambda}{2}$

$\Gamma = \frac{Z - Z_R}{Z + Z_R}$

⑧ Krožnih premera $d = 0{,}5\,m$ za satelitsko TV na $f = 12\,GHz$ z izkoristkom osvetlitve $\eta = 70\%$ ima dobitek G: **34,4 dBi**

$d = 0{,}5\,m$
$f = 12\,GHz$
$c_0 = 3 \cdot 10^8\,m/s$
$\eta = 70\%$

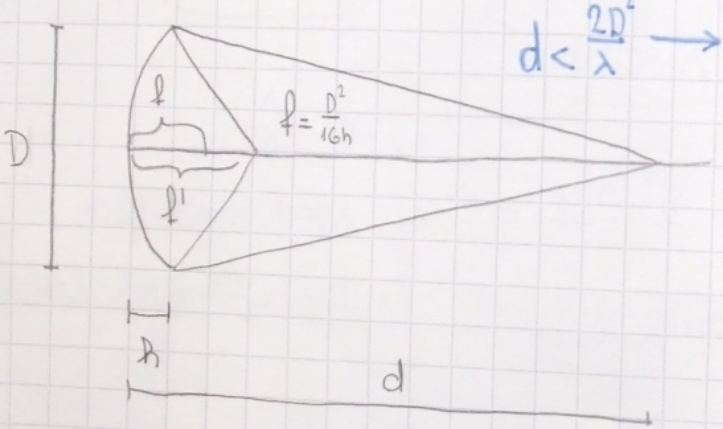
$$\lambda = \frac{c_0}{f} = 0{,}025\,m$$

$$G_0 = \eta \frac{4\pi}{\lambda^2} A_0$$

$$G_0 = 10 \log_{10}\left(0{,}7 \frac{4\pi}{0{,}025^2\,m^2} \cdot (\pi \cdot 0{,}25^2\,m^2)\right) = 34{,}4\,dBi \checkmark$$

⑨ Krožno-simetrično parabolično zrcalo s premerom $d = 1{,}2\,m$ in globino $h = 18\,cm$ ima goriščnico f: **0,5 m**

$d = 1{,}2\,m$
$h = 0{,}18\,m$



$$d < \frac{2D^2}{\lambda} \rightarrow \frac{1}{f'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$$

$$f = \frac{d^2}{16h} = 0{,}5\,m \checkmark$$

⑩ Bočna skupina dveh polvalovnih dipolov doseže smernost na optimalni razdalji do največ (približno): **6 dBi**

3. tiha vaja

① Kolikšno razdaljo $d=?$ izberemo za bočno skupino dveh enakih anten, če ima vsaka $-3dB$ kot sevanja $\Delta = 60°$ pri $f = 1GHz$? (30cm)

$P = -3dB$
$\Delta = 60°$
$f = 1GHz$

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 m/s}{10^9 Hz} = 0{,}3m$$

$$d = \frac{\lambda/2}{\sin \Delta/2} = \frac{0{,}15m}{\sin 30°} = \frac{0{,}15m}{0{,}5} = 0{,}3m = 30cm$$

$d = ?$

② Kolikšna mora biti fazna razlika $\varphi = ?$ pri napajanju bočne skupine $(d = \lambda/2)$ za odklon snopa $-17°$ pod obzorje? (53°)

$d = \lambda/2$
$\gamma = -17°$

$\varphi = ?$

③ Antena ima razmerje krožnih komponent $Q = j0{,}5$. Kolikšno je osno razmerje polarizacije antene $R = ?$ v decibelih? (9,5 dB)

$Q = j0{,}5$

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

$$R_{[dB]} = 20 \log \left(\frac{1 + |Q|}{1 - |Q|} \right) = 20 \log \left(\frac{1{,}5}{0{,}5} \right) = 9{,}54 dB$$

④ Določen je faktor prenosa moči $\eta = ?$ zaradi neskladnosti polarizacij med odd. anteno $Q_0 = j0{,}2$ in sprejemom $Q_s = j0{,}3$? (82,9 %)

$Q_0 = j0{,}2$
$Q_s = j0{,}3$

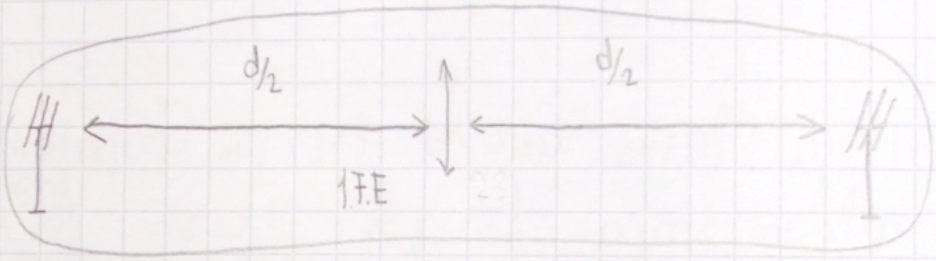
$\eta = ?$

$$\eta = \frac{P}{P_{max}} = \frac{|1 + Q_s Q_0|^2}{(1 + |Q_s|^2) \cdot (1 + |Q_0|^2)}$$

⑤ Določen je najv. polmer 1. Fresnelove cone $r_{01} = ?$ (30,6 m)

$d = 25\,km$
$f = 2\,GHz$

$r_{01} = ?$



$N = 1$ (1. F. E.)

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{3 \cdot 10^8\, m/s}{2 \cdot 10^9\, Hz} = 0{,}15\, m \qquad r_{01} = \sqrt{\frac{(d/2) \cdot \lambda \cdot N}{2}} = \sqrt{\frac{12500\,m \cdot 0{,}15 \cdot 1}{2}} = 30{,}6\,m$$

⑥ Na hrbtni višini $h_s = ?$ nad tlemi je sprejem najmočnejši? (2,5 m)

$f = 1\,GHz$
$h_0 = 30\,m$
$d = 1\,km$

$h_s = ?$

⑦ Moč sprejema P_s mob. telefona upade na 3X razdalji v mestnem okolju brez vidljivosti na vrednost: (Ps/81)

⑧ Kako visoko $h=?$ mora biti vgrajena antena radarja na vojaški ladji, da zazna protiladijsko raketo tik nad gladino na $r=20\,km$? (24m)

$r=20\,km$ → Eff. polmer Zemlje: $\frac{1}{R_e}=\frac{1}{R_z}-\frac{1}{R}$;

$h=?$

$R_z=6378\,km$
$R\approx 25000\,km$ (RADIO)
$R\approx 50000\,km$ (SVETLOBA)

$R_e=8500\,km$ RADIO
ali
$R_e=\frac{4}{3}\cdot R_z\approx 8500\,km$

$$\Rightarrow r=\sqrt{(R_e+h)^2-R_e^2}\approx\sqrt{2R_eh}$$

$$r^2=2R_e\cdot h\Rightarrow h=\frac{r^2}{2R_e}=\frac{400\cdot 10^6\,m^2}{2\cdot 8500\cdot 10^3\,m}\approx 24\,m$$

⑨ Kolikšna je frekvenca plazme $f_p=?$, če na kratkovalovnem radijskem sprejemniku poslušamo Radio Teheran na 24 MHz? (7MHz)

$f=24\,MHz$ → $f=f_p\cdot\frac{R_z+h}{\sqrt{2R_z\cdot h+h^2}}\approx 3{,}5\cdot f_p$

$f_p=?$

$$\Rightarrow f_p=\frac{f}{3{,}5}=\frac{24\,MHz}{3{,}5}\approx 7\,MHz$$

⑩ Valovna dolžina signala $f=100\,MHz$ je v ionosferi: (Malo večja od 3m)

$f=100\,MHz$

$\lambda=?$

$$\lambda>\frac{c_0}{f}=\frac{3\cdot 10^8\,m/s}{10^8\,Hz}>3\,m$$

4. tiha vaja

① Določimo je valovna dolžina $\lambda = ?$ EM vala frekvence $f = 1\,GHz$ v vodi z dielektričnostjo $\varepsilon_r = 81$? $(\lambda = 3{,}3\,cm)$

$f = 1\,GHz$
$\varepsilon_r = 81$
$c_0 = 3 \cdot 10^8\,m/s$
$\lambda = ?$

$$\rightarrow c_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \varepsilon_0}}\,;\quad c_r = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 81}}$$

$$\lambda = \frac{c_v}{f} = \frac{3{,}3 \cdot 10^7\,m/s}{10^9\,Hz} = 3{,}3 \cdot 10^{-2}\,m = 3{,}3\,cm$$

② Določimo je gostota moči $S = ?$ v praznem prostoru? $(S = 2{,}65\,nW/m^2)$

$E = 1\,\mu V_{eff}$
$Z_0 = 377\,\Omega$
$S = ?$

$$\rightarrow S = \frac{E}{Z_0} = \frac{10^{-6}\,V_{eff}}{377\,\Omega} = 2{,}65\,nW/m^2$$

VALOVNA IMP. PRAZNEGA PROSTORA

$\frac{E}{H} \simeq 120\pi\,\Omega \simeq 377\,\Omega$

③ Določimo je odbojnost $\Gamma = ?$ bremena? $(\Gamma = 0{,}111)$

$R = 75\,\Omega$
$Z_k = 60\,\Omega$
$\Gamma_b = ?$

$$\rightarrow \Gamma' = \frac{R - Z_k}{R + Z_k} = -0{,}111$$

$$\Gamma_b = -\Gamma' = 0{,}111$$

④ SAT-TV antena: Na kateri razdalji $r = ?$ dobimo daljne polje antene? $(r = 80\,m)$

$d = 1\,m$
$f = 12\,GHz$
$r = ?$

$$\rightarrow \lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{12 \cdot 10^9} = \frac{1}{4} \cdot 10^{-1} = 0{,}025\,m$$

$$r = \frac{2d^2}{\lambda} = \frac{2m^2}{0{,}025\,m} = 80\,m$$

DALJNE POLJE

$r = \frac{2d^2}{\lambda}$

⑤ Kolikšna je ε_r izolatorja v kablu? $\varepsilon_r = 2{,}25$

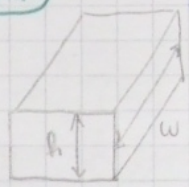
$l = 100\,m$
$t = 500\,ns$
$\varepsilon_r = ?$

$\rightarrow v = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \Rightarrow \varepsilon_r = \left(\frac{c_0}{v}\right)^2$

$v = l/t = \frac{10^2\,m}{5 \cdot 10^{-7}\,s} = 2 \cdot 10^8\,m/s$

⑥ Kot kovinski valovod na $f = 4\,GHz$ uporabimo votlo cev pravokotnega preseka, ki ima notranje izmere: $25 \times 50\,mm$

PRAVOKOTNA CEV
$h \times w$



$w > \frac{\lambda}{2}$
$h = \frac{w}{2}$

$f = 4\,GHz \rightarrow \lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{3 \cdot 10^8\,m/s}{4 \cdot 10^9\,Hz} \Rightarrow 75\,mm$

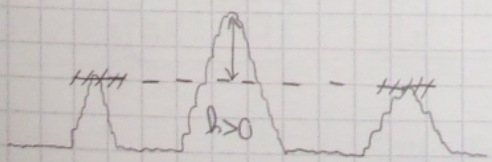
$w > \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 50\,mm$, $h = \frac{w}{2} = 25\,mm$

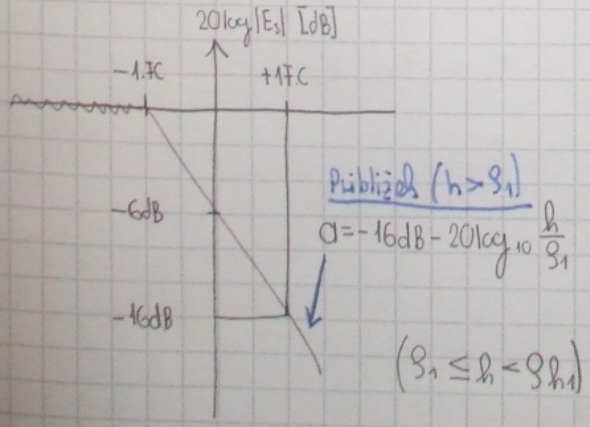
⑦ Enakomerno osvetljena odprtina $5\lambda \times 7\lambda$ brez fazne napake ima D:

$5\lambda \times 7\lambda$

$D = 26{,}4\,dBi$

⑧ TV sprejem moti sleme sosedove hiše, ki ravno pokuje prvo F. cono. Dodatno slabljenje ovire znaša: 16dB





(9) Zaradi loma v nižjih plasteh ozračja je radij. domet:

$R \approx 25000\,km$ RADIO

$R \approx 50000\,km$ SVETLOBA

- Efekt. polmer Zemlje: $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_z} - \frac{1}{R}$

večji od optičnega

$R_e = \left(\frac{1}{R_z} - \frac{1}{R}\right)^{-1}$

$h = 1\,km$

$R_e = 8500\,km$ RADIO $\quad d_{radio} = \sqrt{2R_e \cdot h} = 131\,km$

$R_e = 7500\,km$ OPTIKA $\quad d_{opt} = \sqrt{2R_e \cdot h} = 121\,km$

(10) Kdo ima ionosfera $f_p = 5\,MHz$, slišimo daljnje radijske postaje v tujih jezikih vse do najvišje frekvence: $f = 16\,MHz$

$f_p = 5\,MHz$

$f \approx 3{,}5 \cdot f_p = 16\,MHz$

(11) Ojačevalnik ima šumno št. $F = 1{,}5\,dB$. Kolikšna je njegova šumna temperatura $T = ?$ ($T_0 = 293\,K$, $k_b = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\,J/K$) $T = 121\,K$

$F = 1{,}5\,dB$

$T_0 = 293\,K$

$k_b = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\,J/K$

$T = ?$

$F = 10\log_{10}\left(1 + \frac{T}{T_0}\right) \rightarrow T_k = T_0\left(10^{\frac{F}{10}} - 1\right)$

$T_k = 293\,K\left(10^{0{,}15} - 1\right)$

$T_k = 121\,K$

(12) Ojačevalnih z $G = 10\,dB$ ima šumno temp. $T = 500\,K$. Koliko je T' verige treh takih ojačevalnikov? $T' = 555\,K$

$G = 10\,dB$
$T = 500\,K$
$T' = ?$

$$T' = T + \frac{T}{G} + \frac{T}{G \cdot G}$$
$$= 500\,K + 50\,K + 5\,K$$
$$= 555\,K$$

(13) Šumna glava ima $T_H = 293\,K$ in $T_V = 1000\,K$. Kolikšno razmerje Y (v dB) da merilev sprejemnika, ki ima $T_S = 150\,K$? $Y = 4,14\,dB$

$T_H = 293\,K$
$T_V = 1000\,K$
$T_S = 150\,K$
$Y = ?$

$$Y = \frac{P_S}{P_0} = \frac{T_V + T_S}{T_H + T_S} = \frac{1000 + 150}{293 + 150} = 2,6$$
$$Y_{(dB)} = 10 \log_{10} Y = 10 \log_{10} 2,6 = 4,14\,dB$$

(14) Koliko bitov informacije I vsebuje beseda iz polj. 6 črk ang. abecede (A–Z, nabor 26 različnih)? $I = 28,2$ bitov

$N = 6$
$m = 26$

$$I = N \cdot \log_2 m = 6 \cdot \log_2 26 = 6 \cdot \frac{\ln 26}{\ln 2} = 6 \cdot 4,7 = 28,2\,bit$$

(18) Kolikšna je lahko najvišja spektralna učinkovitost $C/B = ?$ modulacije 128-QAM?

128-QAM

$C/B = ?$

7 bit/znak

$I = \log N$, (N – nabor znakov, A ... Ž = N = 26)

$C = \Omega \cdot I$, (Ω – št. znakov/s)

ali $2^{(7)} = 128$

$C/B = \log_2 N = \frac{\ln N}{\ln 2} = \frac{\ln 128}{\ln 2} = 7$ bit/s/Hz

7 bit/s/Hz

$\log_2 X = \frac{\ln x}{\ln 2}$

(19) Kolikšna je poraba (enosmerne) moči $P_{dc} = ?$ izhodne stopnje oddajnika v razredu "A" z močjo zasičenja $P1dB = +34,5$ dBm?

10 W

$P_{1(dB)} = +34,5$ dBm

PRIMER: 300 W = +25 dBW = +55 dBm

$10\log_{10} 300$; $25 + 30$

$X_{(dBm)} = X_{(dBW)} + 30$

$10\log_{10}(W) = (dBW)$

$\eta = \frac{P_{1dB}}{P_{dc}} = 30\% \Rightarrow P_{dc} = X \cdot \eta = 10$ W

$34,5$ dBm $= 4,5$ dBW

$10\log_{10} X = 4,5 \Rightarrow X = 10^{\frac{4,5}{10}} = 2,82$ W

(20) Na kateri frekvenci $f_2 = ?$ se nahaja drugi oddajnik, če slišimo en oddajnik na $f_1 = 95,4$ MHz in motnjo na $f_{IMD3} = 98$ MHz?

96,7 MHz

$f_1 = 95,4$ MHz

$f_{IMD3} = 98$ MHz

$f_2 = ?$

IMD 3. REDA: $2f_2 - f_1 = f_{IMD3}$

$f_2 = \frac{f_1 + f_{IMD3}}{2}$

$f_2 = \frac{193,4}{2}$

$= 96,7$ MHz