

REŠITEV pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ - 21/6/1995

① $T_s = 300^\circ\text{K} \left(10^{\frac{F_s}{10}} - 1\right) = 2700^\circ\text{K}$ $T_1 = T_a + T_s = \underline{3000^\circ\text{K}}$

$T_0 = 300^\circ\text{K} \left(10^{\frac{F_0}{10}} - 1\right) = 300^\circ\text{K}$ $T_2 = T_a + T_0 + \frac{T_s}{10^{\frac{G_0}{10}}} = \underline{900^\circ\text{K}}$

$P_s \propto r^{-4}$ $\frac{r_2^4}{r_1^4} = \frac{T_1}{T_2}$ $r_2 = r_1 \sqrt[4]{\frac{T_1}{T_2}} = \underline{\underline{13.51\text{km}}}$

② $\left. \begin{matrix} f_1 = 99\text{MHz} \\ f_2 = 98\text{MHz} \end{matrix} \right\} \text{IMD3} = 97; 100\text{MHz} ; \text{IMD5} = 96; 101\text{MHz} ; \text{IMD7} = 95; 102\text{MHz}$

10 dB slabilec \longrightarrow IMD7 produkti -70dB
 koristen signal -10dB
 razlika $\underline{\underline{+60\text{dB}}}$ izboljšanja razmerja signal/motnja

③ $p(E) = \frac{E}{\sigma^2} e^{-\frac{E^2}{2\sigma^2}}$ $P_{\text{izpada}} = \int_0^{E_{\text{min}}} p(E) dE = 1 - e^{-\frac{E_{\text{min}}^2}{2\sigma^2}}$

$P_1 = 1\% = 1 - e^{-\frac{E_{\text{min}}^2}{2\sigma_1^2}} \longrightarrow \sigma_1^2 = -\frac{E_{\text{min}}^2}{2} \ln 0.99 \approx 0.01 \frac{E_{\text{min}}^2}{2}$

$P_2 = 0.1\% = 1 - e^{-\frac{E_{\text{min}}^2}{2\sigma_2^2}} \longrightarrow \sigma_2^2 = -\frac{E_{\text{min}}^2}{2} \ln 0.999 \approx 0.001 \frac{E_{\text{min}}^2}{2}$

Faktor povečanja moči = $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = 10 \longrightarrow \underline{\underline{10\text{W}}}$

④ $T_g = 2\pi \sqrt{\frac{a_g^3}{\mu}}$; $a_g = \sqrt[3]{\frac{T_g^2 \mu}{4\pi^2}} = \underline{42163\text{km}}$ za geostacionarno tirnico

Prenosna tirnica: $a_p = \frac{a_g + R_e}{2} = \underline{24270\text{km}}$; $T_p = 2\pi \sqrt{\frac{a_p^3}{\mu}} = \underline{37629\text{s} \approx 10^h 27\text{min}}$

Čas potovanja = pol tinnice $\longrightarrow t = \frac{T_p}{2} \approx \underline{\underline{5\text{h } 14\text{min}}}$

⑤ $\Delta t_1 = \Delta t_{12} \frac{f_1^{-2}}{f_2^{-2} - f_1^{-2}} = \Delta t_{12} \cdot 1.546$

Δt_{12}	Δt_1	Δl_1
10ns	15.5ns	<u>4.6m</u>
50ns	74.3ns	<u>23.2m</u>

Ker so napake vseh treh satelitov na obzorju enake, se spremeni le izračunana višina za:
 $\Delta h = \Delta l_1' - \Delta l_1'' = \underline{\underline{+18.5\text{m}}}$

Rešitev pisnega izpita iz Radiokomunikacij - 14/11/1995

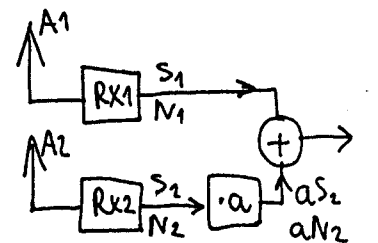
① $P_s = P_0 \frac{G_0 G_s \lambda^2}{(4\pi r)^2} = 3.56 \cdot 10^{-12} \text{ W}$ $P_N = k_B T \Delta f = 6.21 \cdot 10^{-14} \text{ W}$

$\frac{dI}{dt} = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_N}\right) = 176 \text{ Mbit/s}$ $\frac{\frac{dI'}{dt} - \frac{dI}{dt}}{\frac{dI}{dt}} = 16.8\%$
 $P_s' = 2 \cdot P_s = 7.12 \cdot 10^{-12} \text{ W}$ $\frac{dI'}{dt} = 206 \text{ Mbit/s}$

② $T = T_a + T_0$; $T_0 = 300^\circ\text{K} \cdot \left(10^{\frac{NF}{10}} - 1\right) = 300^\circ\text{K}$ $T = 600^\circ\text{K}$

$P_{N_V} = k_B T \Delta f = 8.28 \cdot 10^{-15} \text{ W} = -110.8 \text{ dBm}$ $P_{N_i} = A \cdot P_{N_V} = -90.8 \text{ dBm}$

$P_{\text{IMB3}_i} = \frac{P_{\text{LIN}_i}^3}{IP3_i^2}$ $P_{\text{LIN}_i} = \sqrt[3]{P_{\text{IMB3}_i} \cdot IP3_i^2} = -23.6 \text{ dBm}$ $P_{\text{LIN}_V} = \frac{P_{\text{LIN}_i}}{A} = -43.6 \text{ dBm}$

③  $S_1 = S_2$ $N_1^2 = \frac{S_1^2}{10}$ $N_2^2 = \frac{S_2^2}{20}$
 $|a_{\text{opt}}| = \frac{S_2}{S_1} \frac{N_1^2}{N_2^2} = 2$...in popravimo fazo!

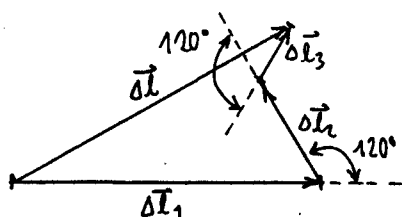
④ Satelit nad severnim tečajem $\rightarrow i = 90^\circ$; \vec{v} vsmeri X $\rightarrow \Omega = 180^\circ$
 $r = R_e + h = 7378 \text{ km}$

$W = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{\mu}{r} m = -4.025 \cdot 10^{+6} \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot m$ $a = -\frac{\mu m}{2W} = 49510 \text{ km}$

$\vec{l} = \vec{r} \times \vec{v} \cdot m$; $|\vec{l}| = r \cdot v \cdot m = 7.378 \cdot 10^{+10} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot m$ $e = \sqrt{1 + \frac{2W|\vec{l}|^2}{\mu^2 m^3}} = 0.851$

$\vec{v} \perp r \rightarrow$ perigej ali apogej ; $a > r \rightarrow$ perigej ; $\omega = 90^\circ$; $M = 0^\circ$

⑤ $\Delta l_1 = c \Delta t_1 = 150 \text{ m}$; $\Delta l_2 = c \Delta t_2 = 60 \text{ m}$; $\Delta l_3 = c \Delta t_3 = -30 \text{ m}$



$\Delta l = \sqrt{(150 + 60 \cos 120^\circ + (-30) \cos 240^\circ)^2 + (0 + 60 \sin 120^\circ + (-30) \sin 240^\circ)^2}$

$\Delta l = \sqrt{(150 - 30 + 15)^2 + (0 + 30\sqrt{3} + 15\sqrt{3})^2}$

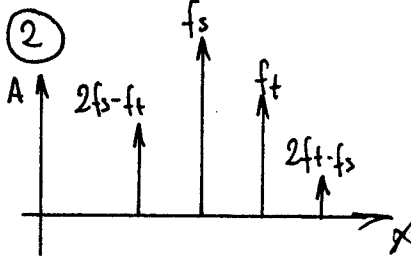
$\Delta l = \sqrt{135^2 + 45^2 \cdot 3} = 90 \cdot \sqrt{3} = 155.9 \text{ m}$

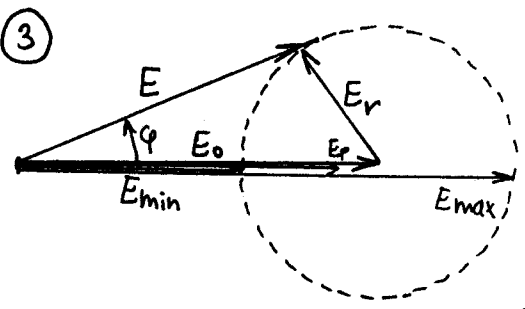
Rešitev pisnega izpita iz RADIO KOMUNIKACIJ - 18/6/1996

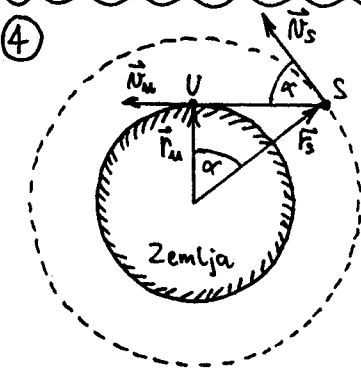
① $A_{\text{off}} = \eta \pi R_0^2 = 0.628 \text{ m}^2$ $A_{\text{seff}} = \eta \pi R_s^2 = 2262 \text{ m}^2$ $\lambda = \frac{c}{f} = 3.75 \text{ cm}$

$P_s = P_0 \cdot \frac{A_{\text{off}} A_{\text{seff}}}{\lambda^2 d^2} = 5.05 \cdot 10^{-16} \text{ W}$ $P_{\text{seff}} = P_s \cdot 10^{\frac{-5 \text{ dB}}{10}} = 1.597 \cdot 10^{-16} \text{ W}$

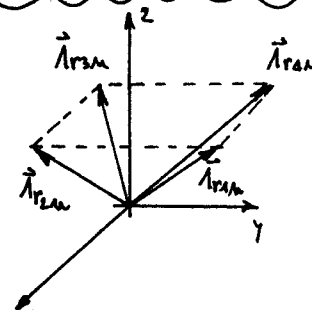
$C = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{\Delta f k_b T} \right) \approx \Delta f \frac{\frac{P_s}{\Delta f k_b T}}{\ln 2} = \frac{P_s}{k_b T \ln 2} = 556.6 \text{ kbit/s}$
 $\Delta f \rightarrow \infty$

②  $2f_s - f_t = 465.75 \text{ MHz} \rightarrow P_{2s-t} = +12 \text{ dBm}$ (večji!)
 $2f_t - f_s = 482.25 \text{ MHz}$ $P_{2s-t} = 2P_s + P_t - 2P_{I\text{P}3}$
 $P_{I\text{P}3} = \frac{2P_s + P_t - P_{2s-t}}{2} = +41.5 \text{ dBm}$
 $P_{2t-s} = 2P_t + P_s - 2P_{I\text{P}3} = +2 \text{ dBm}$

③  $|E_{\text{max}}| = |E_p| \cdot 10^{\frac{+1 \text{ dB}}{20}} = 1.122 |E_p|$
 $|E_{\text{min}}| = |E_p| \cdot 10^{\frac{-1 \text{ dB}}{20}} = 0.891 |E_p|$
 $|E_0| = \frac{|E_{\text{max}}| + |E_{\text{min}}|}{2} = 1.007 |E_p|$
 $|E_r| = \frac{|E_{\text{max}}| - |E_{\text{min}}|}{2} = 0.115 |E_p|$
 $\Delta \varphi_{\text{max}} = \pm \arcsin \frac{|E_r|}{|E_0|} = \pm 6.58^\circ = \pm 0.115 \text{ rd}$

④  $T_s = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = 6307 \text{ s}$ $N_s = \frac{2\pi a}{T_s} = 7.35 \text{ km/s}$
 $a = h + R_e = 7378 \text{ km}$ $N_u = \frac{2\pi R_e}{T_2} = 465 \text{ m/s}$
 $N_r = N_{rsm} \cdot (\vec{N}_s - \vec{N}_u) = N_s \cdot \cos \alpha - N_u = N_s \frac{R_e}{R_e h} - N_u = 5.88 \text{ km/s}$
 $\Delta f = \pm f_0 \frac{N_r}{c} = \pm 2250 \cdot 10^6 \text{ Hz} \frac{5.88 \text{ km/s}}{3 \cdot 10^8 \text{ km/s}} = \pm 44.166 \text{ kHz}$

⑤ IZBEREMO:
 VZNOB = $\vec{1}_x$
 SEVER = $\vec{1}_y$
 GOR = $\vec{1}_z$



$\vec{r}_{1m} = \left(\frac{1}{2\sqrt{2}}, \frac{1}{2\sqrt{2}}, \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$ $\vec{1}_{ei} = \pm \vec{1}_z ; i=1,2,3,4$
 $\vec{r}_{2m} = \left(\frac{1}{2\sqrt{2}}, \frac{-1}{2\sqrt{2}}, \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$
 $\vec{r}_{3m} = \left(\frac{-1}{2\sqrt{2}}, \frac{-1}{2\sqrt{2}}, \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$
 $\vec{r}_{4m} = \left(\frac{-1}{2\sqrt{2}}, \frac{1}{2\sqrt{2}}, \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$
 $\vec{1}_{ei} \cdot (\vec{r}_{im} - \vec{r}_{jm}) = 0$
 $|\frac{d\vec{r}_m}{dt}| \rightarrow \infty$
GDOP $\rightarrow \infty$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ - 22/10/1996

① $T = T_A + T_s = \underline{400\text{ K}}$; $P_s' = C k_B T \ln 2 = \underline{6.122 \cdot 10^{-17}\text{ W}}$; $P_s = 10P_s' = \underline{6.122 \cdot 10^{-16}\text{ W}}$

$\lambda = \frac{c_0}{f} = \underline{0.188\text{ m}}$ $G_s = \frac{P_s}{P_0 G_0} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \underline{175.6 = 22.4\text{ dB}}$

② $2f_2 - f_1 = 2f_3 - f_2 = f_4 = 98\text{ MHz} \longrightarrow$ dva nekoherentna IMB proizvoda na isti frekvenci

$P_{IMB} = 3P_{LIN} - 2P_{IP3} + 3\text{ dB}$

$P_{IP3} = \frac{1}{2} (3P_{LIN} + 3\text{ dB} - P_{IMB}) = \underline{+43.5\text{ dBm}}$

③ $p(E) = \frac{E}{\sigma^2} e^{-\frac{E^2}{2\sigma^2}}$; $P_{IZPADAN1} = \int_0^{E_{min}} p(E) dE = 1 - e^{-\frac{E_{min}^2}{2\sigma_1^2}}$; $P_{IZPADAN2} = \left(1 - e^{-\frac{E_{min}^2}{2\sigma_2^2}}\right)^2$ RAZNOVIKI

$\sigma_1^2 = \frac{E_{min}^2}{2} \frac{-1}{\ln(1 - P_{IZPADAN1})} = \underline{999.500 \frac{E_{min}^2}{2}}$

$P_2 = P_1 \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} = \underline{0.311\text{ W}}$

$\sigma_2^2 = \frac{E_{min}^2}{2} \frac{-1}{\ln(1 - \sqrt{P_{IZPADAN2}})} = \underline{31.120 \frac{E_{min}^2}{2}}$

④ $n = \frac{2\pi}{T} = \underline{7.292 \cdot 10^{-5}\text{ rad/s}}$; $a = \sqrt[3]{\frac{\mu}{n^2}} = \underline{4.216 \cdot 10^7\text{ m} = 42\,160\text{ km}}$

$v = \frac{2\pi a}{T} = \underline{3075\text{ m/s}}$; $\Delta v/t = v \cdot \Delta i/t = \underline{46.12\text{ m/s/leto}}$

$t = \frac{\Delta v}{\Delta v/t} = \frac{400\text{ m/s}}{46.12\text{ m/s/leto}} = \underline{8.67\text{ let}}$

⑤ $\Delta r = \text{GDOP} \cdot \Delta l$; $\Delta l = l_0 \frac{e^{-\frac{h}{h_0}}}{\sin \alpha}$; $\left. \begin{matrix} h_0 = 8500\text{ m} \\ l_0 = 2.31\text{ m} \end{matrix} \right\} \text{ suha troposfera}$

$\text{GDOP}_1 \approx \text{GDOP}_2$; $\alpha_1 = \alpha_2$ zaradi zemljepisne bližine!

$\frac{\Delta r_2}{\Delta r_1} = \frac{e^{-\frac{h_2}{h_0}}}{e^{-\frac{h_1}{h_0}}}$; $\Delta r_2 = \Delta r_1 \frac{e^{-\frac{h_2}{h_0}}}{e^{-\frac{h_1}{h_0}}} = \Delta r_1 e^{\frac{h_1 - h_2}{h_0}} = \underline{11.094\text{ m}}$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ - 2/7/1994

$$\textcircled{1} T = T_A + T_s = \frac{T_w + T_z}{2} + T_s = \frac{0\text{K} + 300\text{K}}{2} + 450\text{K} = \underline{600\text{K}}$$

$$P_w = B k_B T = 15 \cdot 10^3 \text{s}^{-1} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K} \cdot 600\text{K} = \underline{1.242 \cdot 10^{-16} \text{W}}$$

$$P_s = 10 \cdot P_w = \underline{1.242 \cdot 10^{-15} \text{W}}$$

$$P_s = P_o G_o G_s \frac{h_o^2 h_s^2}{d^4} \rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{P_o}{P_s} G_o G_s h_o^2 h_s^2} = \underline{7990 \text{m}}$$

$$\textcircled{2} G_1 = 20\text{dB} = 100; P_{IP31} = +15\text{dBm} = 31.6\text{mW}; G_2 = 10\text{dB} = 10; P_{IP32} = +20\text{dBm} = 100\text{mW}$$

$$\text{Na izhodu verige: } P_{IND1} = \frac{(P_v G_1)^3}{P_{IP31}^2} G_2 \quad ; \quad P_{IND2} = \frac{(P_v G_1 G_2)^3}{P_{IP32}^2}$$

$$\text{Seštevanje kazalcev: } P_{IND} = \left(\sqrt{P_{IND1}} + \sqrt{P_{IND2}} \right)^2 = P_v^3 G_1^3 G_2^3 \left(\frac{1}{G_2 P_{IP31}} + \frac{1}{P_{IP32}} \right)^2 = \frac{P_v^3 G_1^3 G_2^3}{P_{IP3}^2}$$

$$P_{IP3} = \frac{1}{\frac{1}{G_2 P_{IP31}} + \frac{1}{P_{IP32}}} = \underline{0.076 \text{W} = +18.8 \text{dBm}}$$

Celotna veriga \uparrow

$$\textcircled{3} C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s \eta}{P_n} \right) = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s \eta}{(N-1) P_s} \right) = B \log_2 \left(1 + \frac{\eta}{N-1} \right) \approx B \frac{1}{\ln 2} \frac{\eta}{N-1}$$

$$N = \frac{B \eta}{C \ln 2} + 1 = \frac{2 \cdot 10^6 \text{s}^{-1} \cdot 0.25}{10^4 \text{s}^{-1} \cdot 0.693} + 1 = \underline{73}$$

$C \ll B$

$$\textcircled{4} \text{Zemlja: } R_z = 6378\text{km}; T_z = 1436\text{min}; N_o = \frac{2\pi R_z}{T_z} = \underline{465 \text{m/s}}$$

$$\text{Geostac. krož: } r_k = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T_z}{2\pi} \right)^2} = \underline{42163 \text{km}}; N_k = \frac{2\pi r_k}{T_z} = \underline{3075 \text{m/s}}$$

$$\text{Prenosna elipsa: } a = \frac{R_z + r_k}{2} = \underline{24270 \text{km}}; W = -\frac{\mu m}{2a} = \left(\frac{1}{2} v^2 - \frac{\mu}{r} \right) m$$

$$v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)} \rightarrow \begin{aligned} r = R_z &\rightarrow N_p = \underline{10420 \text{m/s}} \\ r = r_k &\rightarrow N_a = \underline{1576 \text{m/s}} \end{aligned}$$

$$\Delta N_1 = N_p - N_o = \underline{9955 \text{m/s}}; \quad \Delta N_2 = N_k - N_a = \underline{1499 \text{m/s}}$$

$$\textcircled{5} t_1 = t_o + \frac{\alpha}{f_1^2}; \quad t_2 = t_o + \frac{\alpha}{f_2^2}$$

$$t_1 f_1^2 - t_2 f_2^2 = t_o (f_1^2 - f_2^2) \rightarrow t_o = \frac{t_1 f_1^2 - t_2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} = \underline{19.9 \text{ns}}$$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ - 15/10/1997

① $P_N = B k_B (T + T_s) = 30 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot (200\text{K} + 50\text{K}) = \underline{1.035 \cdot 10^{-12} \text{ W}}$

$P_s = 10 \cdot P_N = \underline{1.035 \cdot 10^{-11} \text{ W}}$; $P_s = \frac{P_0}{4\pi d^2} \cdot \eta_s \pi R_s^2 \cdot \eta_0 \pi R_0^2 \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2}$; $\lambda = \frac{c}{f} = \underline{13.3 \text{ cm}}$

$R_0 = \sqrt{\frac{P_s d^2 \lambda^2}{P_0 \pi^2 \eta_s \eta_0 R_s^2}} = \sqrt{\frac{1.035 \cdot 10^{-11} \text{ W} \cdot 16 \cdot 10^{16} \text{ m}^2 \cdot 0.133^2 \text{ m}^2}{10 \text{ W} \pi^2 0.7 \cdot 0.7 \cdot 900 \text{ m}^2}} = \underline{26 \text{ cm}}$ $\underline{2R_0 = 52 \text{ cm}}$

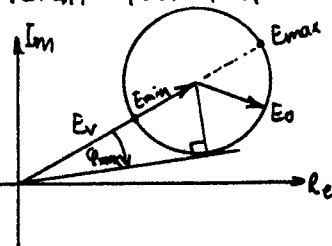
② $P_{\text{ind}} = 3P_{\text{LIN}} - 2P_{\text{IP3}}$; $P_{\text{ind}} = P_{\text{LIN}} - 60 \text{ dB} \rightarrow 2P_{\text{LIN}} - 2P_{\text{IP3}} = -60 \text{ dB} \rightarrow P_{\text{LIN}} = P_{\text{IP3}} - 30 \text{ dB} = \underline{+10 \text{ dBm}}$

8 tranzistorjev : $P_{\text{LIN}}' = P_{\text{LIN}} + 10 \log 8 = \underline{+19 \text{ dBm}}$

③ $|E_o| = |E_v| \cdot 10^{\frac{-1}{20}} = 0.794 |E_v|$; $|E_{\text{max}}| = |E_v| + |E_o|$; $|E_{\text{min}}| = |E_v| - |E_o|$

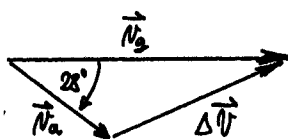
$\frac{|E_{\text{max}}|}{|E_{\text{min}}|} = \frac{1 + 0.794}{1 - 0.794} = \underline{8.724 = 18.8 \text{ dB}}$

$\varphi_{\text{max}} = \pm \arcsin \frac{|E_o|}{|E_v|} = \pm \arcsin 0.794 = \underline{\pm 0.918 \text{ rad} = \pm 52.6^\circ}$



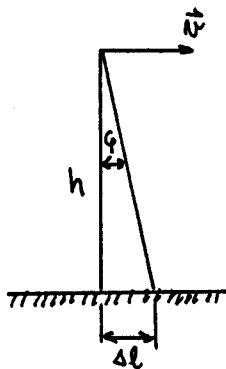
④ Geostacionarna tirnica: $r_g = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{R_e}{2\pi}\right)^2} = \underline{42163 \text{ km}}$; $N_g = \frac{2\pi r_g}{T_2} = \underline{3075 \text{ m/s}}$

Prenosna tirnica: $a = \frac{r_g + (h_p + R_e)}{2} = \underline{24370 \text{ km}}$; $N_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r_g} - \frac{1}{a}\right)} = \underline{1597 \text{ m/s}}$



$\Delta v = \sqrt{N_g^2 + N_a^2 - 2N_g N_a \cos 28^\circ} = \underline{1826 \text{ m/s}}$

⑤



$\Delta v = v \sin \varphi = v \frac{\Delta l}{\sqrt{h^2 + \Delta l^2}} \approx v \frac{\Delta l}{h} \rightarrow \Delta l = \frac{\Delta v}{v} h$

$\Delta f = f_0 \frac{\Delta v}{c} \rightarrow \Delta v = \frac{\Delta f}{f_0} c$

$\Delta l = \frac{\Delta f}{f_0} \frac{c}{v} h = \frac{1 \text{ Hz}}{4 \cdot 10^8 \text{ Hz}} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{7.5 \cdot 10^3 \text{ m/s}} \cdot 8 \cdot 10^5 \text{ m} = \underline{80 \text{ m}}$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ - 10/2/1998

① $P_s = 10P_N = 10 \cdot B \cdot k_B \cdot T = 10 \cdot B \cdot k_B \cdot (T_A + T_s) = 2.4 \cdot 10^{-15} \text{ W}$ $T_s = 290\text{K} \cdot (10^{\frac{F}{10}} - 1) = 870\text{K}$

$P_s = P_0 G_0 G_s \frac{h_0^2 h_s^2}{d^4} \rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{h_0 h_s P_0}{P_s}} = \underline{\underline{8.9 \text{ km}}}$

② $P_{\min} = \frac{S}{N} B k_B T = \frac{S}{N} B k_B (T_A + T_s)$; $P_{\max} = \frac{P_{\text{IP3}}}{\sqrt{\frac{S}{I}}}$ $P_{\text{IP3}} = \frac{P_{\max}^3}{P_{\text{IP2}}^2} \cdot \frac{S}{I} \cdot \frac{P_{\max}^2}{P_{\text{IP3}}}$
 $\frac{S}{N} \equiv$ dopustno razmerje signal/som; $\frac{S}{I} \equiv$ dopustno razmerje signal/IMD

$P'_{\min} = \frac{S}{N} B k_B (T_A + T_0 + \frac{T_s}{G_0})$; $P'_{\max} = \frac{1}{G_0} \frac{P_{\text{IP3}}}{\sqrt{\frac{S}{I}}}$ $F_s = 15\text{dB} \rightarrow T_s = 8880\text{K}$

$\frac{P'_{\max}}{P'_{\min}} = 10^{\frac{-3\text{dB}}{10}} \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{1}{2} \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \rightarrow \frac{1}{G_0} \frac{P_{\text{IP3}}}{\sqrt{\frac{S}{I}}} = \frac{1}{2} \frac{P_{\text{IP3}}}{S/N B k_B (T_A + T_0 + \frac{T_s}{G_0})} = \frac{1}{2} \frac{P_{\text{IP3}}}{S/N B k_B (T_A + T_s)}$ $F_0 = 3\text{dB} \rightarrow T_0 = 290\text{K}$

$2(T_A + T_s) = G_0(T_A + T_0) + T_s \rightarrow G_0 = \frac{2T_A + T_s}{T_A + T_0} = \underline{\underline{16.3 = 12.1 \text{ dB}}}$

③ $P_{\text{izpada}} = \int_0^{E_{\min}} p(E) dE = \int_0^{E_{\min}} \frac{2E}{\langle E^2 \rangle} e^{-\frac{E^2}{\langle E^2 \rangle}} dE = -e^{-\frac{E^2}{\langle E^2 \rangle}} \Big|_0^{E_{\min}} = 1 - e^{-\frac{E_{\min}^2}{\langle E^2 \rangle}}$; $\langle E^2 \rangle = \frac{E_{\min}^2}{-\ln(1 - P_{\text{izpada}})}$

$P_1 = P_0 \frac{\langle E_1^2 \rangle}{\langle E_0^2 \rangle} = P_0 \frac{\ln(1 - P_{\text{izpada}0})}{\ln(1 - P_{\text{izpada}1})} = 1\text{mW} \frac{\ln 0.5}{\ln 0.99} = \underline{\underline{69 \text{ mW}}}$

$P_2 = P_0 \frac{\langle E_2^2 \rangle}{\langle E_0^2 \rangle} = P_0 \frac{\ln(1 - P_{\text{izpada}0})}{\ln(1 - P_{\text{izpada}2})} = 1\text{mW} \frac{\ln 0.5}{\ln 0.9} = \underline{\underline{6.58 \text{ mW}}}$

④ $r_a = h_a + R_2 = 42378\text{km}$; $r_p = h_p + R_2 = 6878\text{km}$; $r_{\min} = h_{\min} + R_2 = 16378\text{km}$

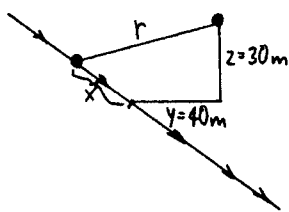
$a = \frac{1}{2}(r_a + r_p) = 24628\text{km}$; $e = \frac{r_a - r_p}{r_a + r_p} = 0.721$; $p = r_p(1+e) = 11835\text{km}$

$r_{\min} = \frac{p}{1 + e \cos \varphi_{\min}} \rightarrow \cos \varphi_{\min} = \frac{1}{e} \left(\frac{p}{r_{\min}} - 1 \right) = -0.385$

$\cos \varphi = \frac{\cos E - e}{1 - e \cos E} \rightarrow \cos E_{\min} = \frac{e + \cos \varphi_{\min}}{1 + e \cos \varphi_{\min}} = 0.465$ $E_{\min} = \arccos 0.465 = 1.087 \text{ rad}$

$M_{\min} = E_{\min} - e \sin E_{\min} = 1.087 - 0.721 \sin 1.087 = 0.449$; $\frac{T_u}{T} = \frac{\pi - M_{\min}}{\pi} = 1 - \frac{M_{\min}}{\pi} = 0.857 = 85.7\%$

⑤ $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$; $\frac{dr}{dt} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} = \frac{x}{r} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{x}{r} v$; $v = 90\text{km/h} = 25\text{m/s}$



$\Delta f = -f_0 \frac{1}{c_0} \frac{dr}{dt} = -\frac{f_0}{c_0} \frac{x}{r} v$

$\frac{d\Delta f}{dt} = -\frac{f_0}{c_0} \left(\frac{1}{r} v - \frac{x}{r^2} \frac{x}{r} v \right) v = -\frac{f_0}{c_0} \frac{v^2}{r} \left(1 - \frac{x^2}{r^2} \right)$; max pri x=0!

$\left(\frac{d\Delta f}{dt} \right)_{\max} = -\frac{f_0}{c_0} \frac{v^2}{\sqrt{y^2 + z^2}} = -\frac{900 \cdot 10^6 \text{ Hz}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \frac{(25 \text{ m/s})^2}{50 \text{ m}} = \underline{\underline{-37.5 \text{ Hz/s}}}$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ - 14/7/1998

① $S/N = 20\text{dB} = 100 \rightarrow C_1 = B \log_2(1 + S/N) = 3 \cdot 10^7 \text{s}^{-1} \log_2(101) = \underline{199.75 \text{Mbps}}$

(DVE POLARIZACIJI)

$S/I = 20\text{dB} = 100 \rightarrow C_2 = 2B \log_2(1 + \frac{S}{I+N}) = 6 \cdot 10^7 \text{s}^{-1} \log_2(51) = \underline{340.35 \text{Mbps}}$

(SUM/MOTNJE NEKORELIRANI)

$\frac{C_2}{C_1} = 1.7039 \rightarrow \underline{+70.39\%}$

② $P_{IMD} = \frac{P_i^3}{P_{IP3}^2}$; $P_{IMD2} = \frac{P_i^3}{P_{IP32}^2}$; $P_{IMD1} = \frac{P_i^3/G_2^2}{P_{IP31}^2}$; $\sqrt{P_{IMD}} = \sqrt{P_{IMD2}} + \sqrt{P_{IMD1}}$ SEŠTEVANJE KAZALCEV!

$\frac{\sqrt{P_i^3}}{P_{IP3}} = \frac{\sqrt{P_i^3}}{P_{IP32}} + \frac{\sqrt{P_i^3}}{P_{IP31}G_2} \rightarrow P_{IP31} = \frac{1}{G_2} \frac{1}{\frac{1}{P_{IP3}} - \frac{1}{P_{IP32}}} = \underline{0.77 \text{W} = +28.87 \text{dBm}}$

$G_2 = 10\text{dB} = 10$; $P_{IP32} = +33\text{dBm} = 2\text{W}$; $P_{IP3} = +32\text{dBm} = 1.58\text{W}$

③ $T_{RX} = 300\text{K} (10^{F/10} - 1)$; $T_{RXS} = 648.7\text{K}$; $T_{RXN} = 77.7\text{K}$; $T_{stari} T_{rest} \frac{T_2 + T_{ndi}}{2} = 798.7\text{K}$; $T_{novi} = 227.7\text{K}$

$P_{IZPADAN} = \int_0^{E_{min}} p(E) dE = \int_0^{E_{min}} \frac{2E}{\langle E^2 \rangle} e^{-\frac{E^2}{\langle E^2 \rangle}} dE = 1 - e^{-\frac{E_{min}^2}{\langle E^2 \rangle}} \rightarrow \frac{E_{min}^2}{\langle E^2 \rangle} = -\ln(1 - P_{IZPADAN}) = \underline{0.1054}$

$\frac{\frac{E_{min}^2}{\langle E^2 \rangle}}{\frac{E_{min}^2}{\langle E^2 \rangle}} = \frac{T_{novi}}{T_{stari}} \rightarrow \frac{E_{min}^2}{\langle E^2 \rangle} = \frac{T_n}{T_s} \frac{E_{min}^2}{\langle E^2 \rangle} = \underline{0.03}$ $P_{IZPADAN_{novi}} = 1 - e^{-0.03} = \underline{2.96\%}$

④ $a = h + R_2 = 6728\text{km}$; $T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = 5492\text{s} = 91.54\text{min}$

$\frac{dT}{da} = 2\pi \cdot \frac{3}{2} \sqrt{\frac{a}{\mu}} = 3\pi \sqrt{\frac{a}{\mu}}$; $\frac{da}{dT} = \frac{1}{3\pi} \sqrt{\frac{\mu}{a}} = 816.7\text{m/s} = \frac{dh}{dT}$; $dT = 1\text{s} \rightarrow dh = 816.7\text{m}$

$\frac{F}{F_0} = \frac{P}{P_0} = 3 \frac{dh}{10\text{km}} = 3 \frac{0.8167}{10} = 1.0939$; $t_1 = 1\text{msec}$; $t_2 = \frac{t_1}{1.0939}$; $t_3 = \frac{t_2}{1.0939}$; ...

$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \dots = t_1 (1 + \frac{1}{1.0939} + \frac{1}{1.0939^2} + \frac{1}{1.0939^3} + \dots) = t_1 \frac{1}{1 - \frac{1}{1.0939}} = 11.65 t_1 = \underline{11.65 \text{mesecev}}$

⑤ $B_{iskanja} = 2 \frac{\Delta f}{f} + 2 \frac{\Delta f}{c} \cdot f = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 1.57542 \cdot 10^9 \text{Hz} + 2 \cdot \frac{1000}{3 \cdot 10^8} \cdot 1.57542 \cdot 10^9 \text{Hz} = 1999\text{MHz}$

$t_{iskanja1} = t_0 \cdot 1023 \left[\frac{B_{iskanja}}{B_{RX}} \right] = 10\text{ms} \cdot 1023 \cdot 20 = \underline{204.6\text{s}}$ } čas iskanja za en satelit

$t = \frac{1}{2} \cdot \frac{24}{8} \cdot t_{iskanja1} = \underline{306.9\text{s} = 5.11 \text{minut}}$

↑
v povprečju polovica iskanja

↑
povprečje vidnih satelitov

Rešitev pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ (UNI) - 5/3/1999

① $P_N = G \cdot F \cdot B \cdot k_B \cdot T = 1000 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ W s/K} \cdot 290 \text{ K} = 4 \cdot 10^{-10} \text{ W}$ (na izhodu)

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_N + P_{N0}} \right) = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_N + \frac{P_s^2}{P_{IP3}^2}} \right) = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{\frac{1}{2} P_N} \right) = 50 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1} \log_2 (1 + 209317) = 884 \text{ Mbit/s}$$

$$\max C \rightarrow \frac{dC}{dP_s} = 0 \rightarrow 0 = \frac{d}{dP_s} \left(\frac{P_s}{P_N + \frac{P_s^2}{P_{IP3}^2}} \right) = \frac{P_N + \frac{P_s^2}{P_{IP3}^2} - P_s \frac{2P_s}{P_{IP3}^2}}{\left(P_N + \frac{P_s^2}{P_{IP3}^2} \right)^2} \rightarrow P_s = \sqrt{\frac{1}{2} P_N P_{IP3}^2} = 126 \mu\text{W}$$

② $F = 3 \text{ dB} = 2$; $G = 7 \text{ dB} = 5$; $F_{Rx} = F + \frac{F-1}{G} + \frac{F-1}{G^2} + \frac{F-1}{G^3} + \dots = 1 + (F-1) \frac{1}{1 - \frac{1}{G}} = 2.25 = 3.52 \text{ dB}$

$$F' = (F_{Rx} - 1) \left(1 - \frac{1}{G'} \right) + 1 = 1.25 \left(1 - \frac{1}{10} \right) + 1 = \frac{5 \cdot 9}{40} + 1 = 2.13 = 3.27 \text{ dB}$$

③ $\frac{E_{\min}^2}{\langle E_{\nu}^2 \rangle} = -\ln(1 - P_{\nu p}) \approx P_{\nu p} = 0.03$; $E_d = \frac{E_{\nu p}}{\sqrt{2}}$ izguba -3 dB zaradi polarizacije 45°

$$P_d = \left(1 - e^{-\frac{E_{\min}^2}{\langle E_d^2 \rangle}} \right)^2 \approx \left(\frac{E_{\min}^2}{\langle E_d^2 \rangle} \right)^2 = \left(2 \frac{E_{\min}^2}{\langle E_{\nu}^2 \rangle} \right)^2 = 0.0036 = 0.36\%$$

④ $v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$; krošnica: $r_k = a_k = h + R_2 = 6678 \text{ km}$; $v_k = \sqrt{\frac{\mu}{a_k}} = \sqrt{\frac{3.986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2}{6678 \cdot 10^3 \text{ m}}} = 7726 \text{ m/s}$

Elipsa: $r_a = h + R_2 = 6678 \text{ km}$; $r_p = h + R_2 = 6478 \text{ km}$; $a = \frac{r_a + r_p}{2} = 6578 \text{ km}$

$$v_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r_a} - \frac{1}{a} \right)} = \sqrt{3.986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2 \left(\frac{2}{6678 \text{ km}} - \frac{1}{6578 \text{ km}} \right)} = 7667 \text{ m/s}$$
 ; $\Delta v = v_k - v_a = 59 \text{ m/s}$

⑤ $d_1 = \sqrt{(x-3)^2 + (y-3)^2}$; $d_2 = \sqrt{(x-10)^2 + (y-10)^2}$; $d_1 - d_2 = d = 3$

$$\sqrt{(x-3)^2 + (y-3)^2} = \sqrt{(x-10)^2 + (y-10)^2} + 3 \quad / \mu^2$$

$$x^2 - 6x + 9 + y^2 - 6y + 9 = x^2 - 20x + 100 + y^2 - 20y + 100 + 9 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{(x-10)^2 + (y-10)^2}$$

$$14x + 14y - 191 = 6 \sqrt{(x-10)^2 + (y-10)^2} \quad / \mu^2$$

$$196x^2 + 196y^2 + 36481 + 392xy - 5348x - 5348y = 36x^2 - 420x + 3600 + 36y^2 - 420y + 3600$$

$$\underline{\underline{160x^2 - 4628x + 160y^2 - 4628y + 392xy + 29281 = 0}}$$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ (UNI) - 4/6/1999

① $T = T_t(1-a) + T_a + T_s = 260K(1-0.891) + 25K + 30K = \underline{\underline{83.3K}}$ (temperatura neba zanemarimo!)

$\Delta G = G - G_0 = (G_0 + a) - G_0 = \underline{\underline{-0.5dB}}$

$\Delta G/T = \Delta G - 10 \log \frac{T}{T_0} = -0.5dB - 10 \log \frac{83.3K}{55K} = -0.5dB - 1.8dB = \underline{\underline{-2.3dB}}$

② $u_v = A \sin \omega t$; $u_i = \alpha_1 u_v + \alpha_3 u_v^3 = \alpha_1 A \sin \omega t + \alpha_3 A^3 \sin^3 \omega t = (\alpha_1 A + \frac{3}{4} \alpha_3 A^3) \sin \omega t - \frac{1}{4} \alpha_3 A^3 \sin 3\omega t$

$\sin^3 x = \frac{3}{4} \sin x - \frac{1}{4} \sin 3x$; $P_{LIN} = \frac{1}{2Z_k} (\alpha_1 A + \frac{3}{4} \alpha_3 A^3)^2$; $P_{IMB} = \frac{1}{2Z_k} (\frac{1}{4} \alpha_3 A^3)^2$

$P_{IMB} = \frac{P_{LIN}^3}{P_{IP3}^2} \rightarrow P_{IP3} = \sqrt{\frac{P_{LIN}^3}{P_{IMB}}} = \sqrt{\frac{[\frac{1}{2Z_k} (\alpha_1 A + \frac{3}{4} \alpha_3 A^3)^2]^3}{\frac{1}{2Z_k} (\frac{1}{4} \alpha_3 A^3)^2}} = \frac{1}{2Z_k} \frac{|\alpha_1 A + \frac{3}{4} \alpha_3 A^3|^3}{|\frac{1}{4} \alpha_3 A^3|} \approx \frac{1}{2Z_k} \cdot \frac{4|\alpha_1^3|}{|\alpha_3|}$ Definicija Pirs veljara majhna A!

$P_{1dB} = -1dB = 0.794 = \frac{P_{LIN}}{\frac{1}{2Z_k} (\alpha_1 A)^2} = \frac{\frac{1}{2Z_k} (\alpha_1 A + \frac{3}{4} \alpha_3 A^3)^2}{\frac{1}{2Z_k} (\alpha_1 A)^2} = (1 + \frac{3}{4} \frac{\alpha_3}{\alpha_1} A^2)^2 \rightarrow A_{1dB} = \sqrt{\frac{4\alpha_1}{3\alpha_3} (\sqrt{0.794} - 1)} = \sqrt{0.145 \frac{\alpha_1}{\alpha_3}}$

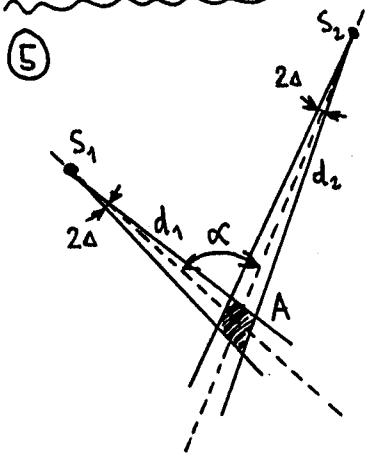
$P_{1dB} = 0.794 \cdot \frac{1}{2Z_k} (\alpha_1 A_{1dB})^2 = \frac{0.794}{2Z_k} \alpha_1^2 (0.145) \frac{|\alpha_1|}{|\alpha_3|} = \frac{1}{2Z_k} \cdot 0.115 \frac{|\alpha_1^3|}{|\alpha_3|}$; $\frac{P_{IP3}}{P_{1dB}} = \frac{4}{0.115} = \underline{\underline{34.73 = 15.4dB}}$

③ $P_i = \int_0^{P_{min}} p(P_s) dP_s = \int_0^{P_{min}} \frac{1}{\langle P_s \rangle} e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}} dP_s = 1 - e^{-\frac{P_{min}}{\langle P_s \rangle}} \rightarrow -\frac{P_{min}}{\langle P_s \rangle} = \ln(1 - P_i) \approx -P_i$ majhen P_i !

$\langle P_s \rangle \approx \frac{P_{min}}{P_i} = \frac{\frac{1}{2Z_k} U_{min}^2}{0.01} = \frac{0.2^2 \cdot 10^{-12} V^2}{0.01 \cdot 50 \Omega} = \underline{\underline{8 \cdot 10^{-14} W}}$; $\langle P_s \rangle = P_0 G_0 G_s \frac{h_m^2 h_b^2}{d^4}$

$P_0 = \frac{\langle P_s \rangle}{G_0 G_s} \cdot \frac{d^4}{h_m^2 h_b^2} = \frac{8 \cdot 10^{-14} W}{1 \cdot 1} \cdot \frac{(10^4 m)^4}{(1.5m)^2 \cdot (100m)^2} = \underline{\underline{0.036 W = 36 mW}}$ $U_{min} = 0.2 \mu V_{eff}$

④ $\Delta f = -\frac{f_0}{c_0} \cdot \frac{d|\vec{r}_s - \vec{r}_a|}{dt} = \underline{\underline{0}}$ za geostacionarni satelit! (relativistiko zanemarimo)



$A = \frac{2\Delta d_1}{\sin \alpha} \cdot \frac{2\Delta d_2}{\sin \alpha} \cdot \sin \alpha$

$A = \frac{4\Delta^2 d_1 d_2}{\sin \alpha} = \frac{4 \cdot (10^{-2})^2 \cdot 50km \cdot 70km}{0.866} = \underline{\underline{1.62 km^2}}$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ - 21/9/1999

① $P_s = P_0 G_0 \frac{\pi r^2}{4\pi d^2} = 10W \cdot 31.6 \frac{0.8 \cdot \pi \cdot (0.5m)^2}{4\pi \cdot (4 \cdot 10^4 m)^2} = 9.88 \cdot 10^{-15} W$ $G_0 = 15dB = 31.6$
 $T = T_a + T_s = 150K$

$C(B=\infty) = \frac{P_s}{k_b T \ln 2} = \frac{9.88 \cdot 10^{-15} W}{1.38 \cdot 10^{-23} Ws/k \cdot 150K \cdot \ln 2} = 6.89 \text{ Mbit/s}$ $C' = \frac{C(B=\infty)}{2} = 3.44 \text{ Mbit/s}$

$C' = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{k_b T} \cdot \frac{1}{B} \right) \rightarrow$ ŠTEVILSKA REŠITEV: NEWTON $x = \frac{B}{C' \ln 2}$; $\frac{P_s}{k_b T} \cdot \frac{1}{B} = \frac{P_s}{k_b T C' \ln 2} \cdot \frac{1}{x} = \frac{2}{x}$

$f(x) = \frac{B}{C'} \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{k_b T} \cdot \frac{1}{B} \right) = 1 = x \ln \left(1 + \frac{2}{x} \right) - 1$; $f'(x) = \ln \left(1 + \frac{2}{x} \right) + \frac{-2/x}{1 + \frac{2}{x}}$

$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$; $x_0 = 1$; $x_1 = 0.772$; $x_2 = 0.796$; $x_3 = 0.794$; $B = x C' \ln 2 = 1.89 \text{ MHz}$

② $P_{IMDS} = \frac{(P_V G)^3}{P_{IPS}^2}$; $P_{IMDS} = \frac{(P_V G)^5}{P_{IPS}^4} = 0.01 P_{IMDS} = 0.01 \frac{(P_V G)^3}{P_{IPS}^2} \rightarrow P_V^2 = 0.01 \frac{P_{IPS}^4}{P_{IPS}^2 G^2}$

$P_V = \frac{0.1 P_{IPS}^2}{G P_{IPS}} \Rightarrow \log P_V = 2 \log P_{IPS} - \log G - \log P_{IPS} - 10dB = +20dB_m - 20dB + 15dB_m - 10dB = -25dB_m$

③ $p(E_{dB}) = \frac{1}{\sigma_{dB} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(E_{dB} - \langle E_{dB} \rangle)^2}{2\sigma_{dB}^2}}$; $P_{12PdB} = \int_{-\infty}^{E_{min}} p(E_{dB}) dE_{dB} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{E_{min} - \langle E_{dB} \rangle}{\sigma_{dB} \sqrt{2}}}} e^{-u^2} du$; $u = \frac{E_{dB} - \langle E_{dB} \rangle}{\sigma_{dB} \sqrt{2}}$

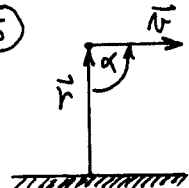
$\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2} du \rightarrow P_{12PdB} = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\frac{\langle E_{dB} \rangle - E_{min}}{\sigma_{dB} \sqrt{2}} \right)$ $du = \frac{dE_{dB}}{\sigma_{dB} \sqrt{2}}$

$\frac{1}{2} \text{erfc}(x) = 10^{-6}$ Graf iz predavanj $\rightarrow x = 3.36$; $\langle E_{dB} \rangle - E_{min} = x \cdot \sigma_{dB} \cdot \sqrt{2} = 3.36 \cdot 1dB \cdot \sqrt{2} = 4.75dB$

④ Geost. tir.: $a_g = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T_g}{2\pi} \right)^2} = 42163 \text{ km}$; $N_g = \sqrt{\frac{\mu}{a_g}} = 3075 \text{ m/s}$

Prenosna tir.: $T = T_g \left(1 + \frac{\Delta\lambda}{2T} \right) = 1476 \text{ min}$; $a = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2} = 42940 \text{ km}$; $N = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{a_g} - \frac{1}{a} \right)} = 3102 \text{ m/s}$

$\Delta N = |\Delta \vec{N}_1| + |\Delta \vec{N}_2| = 2 |N - N_g| = 55.4 \text{ m/s}$

⑤  $\Delta f = -\frac{f_0}{c} \vec{N} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = \frac{f_0}{c} N \cos \alpha = 0$
 $\alpha = \frac{\pi}{2}$

1. Televizijski satelit ima na krovu oddajnik moči $P_0=50W$ na frekvenci $f=12GHz$ in anteno z dobitkom $G_0=30dBi$. Satelit je oddaljen $d=40000km$ od sprejemnika na Zemlji. Določite potrebno razmerje $G/T=?$ sprejemnika, da dosežemo razmerje signal/šum $S/N=10dB$ v pasovni širini $B=40MHz$! $G_0=30dBi=1000$; $P_s/P_r=10dB=10$

$$P_s = P_0 G_0 G \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \rightarrow G = \frac{1}{P_0 G_0} \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 P_s \quad \lambda = \frac{c_0}{f} = 2.5cm$$

$$P_N = B k_B T \rightarrow T = \frac{1}{B k_B} P_N \quad G/T = \frac{B k_B}{P_0 G_0} \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \frac{P_s}{P_N} = 44.6/K = 16.5dB/K$$

2. Izhodna stopnja oddajnika deluje v idealnem razredu B in doseže pri polni izhodni moči $P_{dB}=45W$ izkoristek $\eta_a=60\%$. Določite izkoristek izhodne stopnje $\eta_a'=?$ in porabo enosmerne moči $P_{dc}'=?$, če zaradi zmanjševanja popačenja krmilimo izhodno stopnjo le do izhodne moči $P_{vf}'=5W$!

Brazred: $P_{dc} = \alpha \sqrt{P_{vf}}$ $\rightarrow \alpha = \frac{1}{M} \sqrt{P_{vf}}$ $P_{dc}' = \frac{P_{vf}'}{M'} = 25W$

$$M = \frac{P_{vf}}{P_{dc}} = \frac{P_{vf}}{\alpha \sqrt{P_{vf}}} = \frac{1}{\alpha} \sqrt{P_{vf}} \quad M' = \frac{1}{\alpha'} \sqrt{P_{vf}'} = \frac{M}{\sqrt{P_{vf}}} \sqrt{P_{vf}'} = M \sqrt{\frac{P_{vf}'}{P_{vf}}} = 20\%$$

3. Določite domet GSM bazne postaje, ki razpolaga z oddajnikom moči $P_0=8W$ in anteno z dobitkom $G_0=15dBi$ na višini $h_0=30m$, da bo verjetnost izpada zveze do prenosne postaje manjša od 1%! Sprejemnik je opremljen z neusmerjeno anteno ($G_s=1$) na višini $h_s=1.5m$ in ima občutljivost $P_{smin}=-100dBm$ na frekvenci $f=950MHz$. Slabljenje zveze povečuje odboj od ravnih tal in Rayleigh-ova porazdelitev jakosti sprejemanega signala.

$$P_{izpada} = 1 - e^{-\frac{P_{smin}}{\langle P_s \rangle}} \approx \frac{P_{smin}}{\langle P_s \rangle}; \langle P_s \rangle = P_0 G_0 G_s \frac{h_0^2 h_s^2}{d^4} \rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{P_0 G_0 G_s}{\langle P_s \rangle} h_0^2 h_s^2} = 15km$$

$$P_{smin} = -100dBm = 10^{-13}W; \langle P_s \rangle = \frac{P_{smin}}{0.01} = 10^{-11}W; G_0 = 15dBi = 31.6$$

4. Nosilna raketa pripelje telekomunikacijski satelit v eliptično prenosno tirnico s perigejem na višini $h_p=300km$ in apogejem, ki se dotika geostacionarne tirnice. Določite odstotek mase goriva glede na celotno maso satelita, ki je potreben za doseganje dokončne geostacionarne tirnice, če popravek naklona tirnice ni potreben! Hitrost izpuha raketnega motorja na krovu satelita je $v_i=2.5km/s$, $R_z=6378km$, $T_z=1436min$ in $u=3.986E+14m^3/s^2$.

$$T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{u}{a^3}} \rightarrow a_g = \sqrt[3]{u \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2} = 42163km; v_g = \sqrt{\frac{u}{a_g}} = 3075m/s; a_p = \frac{a_g + R_z + h_p}{2} = 24420km$$

$$v = \sqrt{u \left(\frac{2}{a_g} - \frac{1}{a_p}\right)} = 1608m/s; \Delta v = v_g - v = 1467m/s; \Delta v = v_i \left(\frac{m + m_g}{m_t}\right) \rightarrow \frac{m_g}{m + m_g} = 1 - e^{-\frac{\Delta v}{v_i}} = 44.4\%$$

5. S pomočjo sistema VOR in DME sprejemnik na letalu izmeri oddaljenost $r=20km$ in azimut $=60$ stopinj (kot med smerjo sever in smerjo proti letalu, v smeri urinega kazalca). Določite zemljepisno širino in dolžino položaja letala, če se VOR in DME nahajata na istem mestu na širini $\alpha=46$ stopinj severno in dolžini $\lambda=15$ stopinj vzhodno! Račun si lahko poenostavimo s podatkom, da je oddaljenost letala majhna glede na polmer Zemlje $R_z=6378km$.

$$h_\alpha = R_z = 6378km/rd \quad \alpha' = \alpha + \frac{r \cos \alpha z}{h_\alpha} = 46^\circ + \frac{20km \cdot 0.5}{6378km/rd} = 46.03^\circ = 46^\circ 05' 23''$$

$$h_\lambda = R_z \cos \alpha = 4430.5km/rd \quad \lambda' = \lambda + \frac{r \sin \alpha z}{h_\lambda} = 15^\circ + \frac{20km \cdot \sqrt{3}/2}{4430.5km/rd} = 15.224^\circ = 15^\circ 13' 26''$$

Lamejevi koeficienti

1. Izračunajte domet oddajnika moči $P=10W$ na krovu vesoljskega plovila, ki je opremljen z anteno z dobitkom $G_0=3dBi$ usmerjeno na Zemljo (pokrivanje celotne vidne površine)! Zmogljivost zveze znaša $C=1Mbit/s$ v pasovni širini $B=1.5MHz$. Sprejemnik je opremljen z anteno premera $2r=1m$ in izkoristkom osvetlitve $\eta=80\%$. Skupna šumna temperatura sprejemnika in antene znaša $T=100K$ na frekvenci $f=2.2GHz$, izguba demodulatorja pa znaša $a=12dB$ glede na Shannon-ovo teoretsko mejo. ($k_B=1.38E-23J/K$)

$$P_s = a B k_B T (2^{C/B} - 1) = 16 \cdot 1.5 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 100 \text{ K} (2^{1.5} - 1) = 1.95 \cdot 10^{-14} \text{ W}$$

$$a = 12 \text{ dB} = 16 \quad G_0 = 3 \text{ dB} = 2$$

$$P_s = P_0 G_0 \frac{A_s M_s}{4\pi d^2} \rightarrow d = \sqrt{\frac{P_0 G_0 A_s M_s}{4\pi P_s}} = r \sqrt{\frac{P_0 G_0 M_s}{4P_s}} = 0.5 \text{ m} \sqrt{\frac{10 \text{ W} \cdot 2 \cdot 0.8}{4 \cdot 1.95 \cdot 10^{-14} \text{ W}}} = \underline{7170 \text{ km}}$$

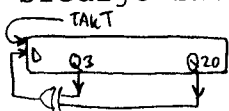
2. Močnostni visokofrekvenčni polprevodniki imajo majhno ojačenje po stopnji, zato je treba upoštevati tudi popačenje krmilnih stopenj razen popačenja izhodne stopnje. Izračunajte moč presečne točke $P_{IP3}'=?$ na izhodu (neskončno) dolge verige enakih ojačevalnih stopenj, kjer ima vsaka stopnja ojačenje $G=6dB$ in $P_{IP3}=+40dBm$! Upoštevajte, da se intermodulacijski produkti seštevajo kot sofazni kazalci!

$$P_{imp} = \frac{P_{LIN}^3}{P_{IP3}^2} ; G=6dB=4 ; U_{ino} = U_{ino} + \frac{U_{ino}}{G} + \frac{U_{ino}}{G^2} + \frac{U_{ino}}{G^3} + \dots = \frac{U_{imp}}{1-1/G}$$

$$P_{kin} = \frac{U_{imp}^2}{R} ; P_{IP3} = +40dBm = 10W$$

$$P_{imp} = \frac{U_{imp}^2}{R} ; P_{ino}' = \frac{U_{ino}^2}{R} = \frac{1}{R} \frac{U_{imp}^2}{(1-1/G)^2} = \frac{P_{imp}}{(1-1/G)^2} = \frac{P_{LIN}^3}{P_{IP3}^2 (1-1/G)^2} ; P_{IP3}' = P_{IP3} (1-1/G) = \underline{7.5W = +38.75dBm}$$

3. Za preizkus zveze uporabimo izvor psevdonaključnega zaporedja kot rezultat dvojiškega polinomskega deljenja s polinomom $1+X^{**3}+X^{**20}$. Izračunajte razdaljo med sosednjima spektralnima črtama izhodnega signala, če pomikalni register krmili takt $f=1.2288MHz$! Določite 20 bitov zaporedja, ki sledijo skupini 20 zaporednih enic!



$$\Delta f = \frac{f}{2^N - 1} = \frac{1.2288 \cdot 10^6 \text{ Hz}}{2^{20} - 1} = \underline{1.172 \text{ Hz}}$$

00011100011100011100

4. Satelit za opazovanje Zemlje izstrelimo v krožnico na višini $h=850km$ nad zemeljsko površino. Določite naklon tirnice $i=?$, da bo tirnica satelita heliosinhrona in bo zemeljska površina pod satelitom vedno enako osvetljena od Sonca!

($u=3.986E+14m^3/s^2$, $J_2=1.0826E-3$, $a_z=6378km$, $1\text{ leto}=365.242\text{ dni}$)

$$e=0 ; a = h + a_z = \underline{7228 \text{ km}} ; n = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} = 1.027 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s} ; \frac{d\Omega}{dt} = \frac{2\pi}{1\text{ leto}} = 1.99 \cdot 10^{-7} \text{ rad/s}$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{3}{2} n \left(\frac{a_z}{a}\right)^2 \frac{\cos i}{(1-e^2)^2} \rightarrow \cos i = -\frac{2}{3} \frac{(1-e^2)^2}{n a_z^2} \left(\frac{a}{a_z}\right)^2 \frac{d\Omega}{dt} = -0.4533 ; i = \arccos(-0.4533) = \underline{1.725 \text{ rad}} = \underline{98.8^\circ}$$

5. Pilot letala uporablja radionavigacijska sistema VOR in DME, ki se nahajata na zemeljski površini na istem mestu. Točnost meritve sistema VOR znaša $\Delta\phi = \pm 0.5$ stopinje, točnost meritve sistema DME pa $\Delta t = \pm 0.5$ mikrosekunde. Izračunajte, na kateri oddaljenosti letala od merilne naprave sta pogreška določanja položaja obeh sistemov enako velika?

$$\Delta l_{DME} = \frac{1}{2} \Delta t c_0 = 75 \text{ m} \quad r = \frac{\Delta l}{\Delta \phi} = \frac{75 \text{ m}}{0.5 \frac{\pi}{180}} = \underline{8.6 \text{ km}}$$

$$\Delta l_{VOR} = r \Delta \phi \quad [\Delta \phi \text{ v radianih!}]$$

1. Umetni satelit bi z oddajnikom moči $P=5W$ dosegel zmogljivost prenosa podatkov na Zemljo $C=10Mbit/s$ v neskončni pasovni širini. Določite pasovno širino $B=?$, ko dosežemo isto zmogljivost zveze C do enake zemeljske sprejemne postaje, če moč oddajnika na krovu satelita podvojimo na $P=10W$! V obeh primerih omejuje zmogljivost zveze toplotni šum z enako spektralno gostoto N_0 .

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P\alpha}{BN_0} \right) = \frac{B}{\ln 2} \ln \left(1 + \frac{P}{P'} \frac{C \ln 2}{B} \right) \rightarrow \frac{C \ln 2}{B} = x$$

$$0 = f(x) = \ln \left(1 + \frac{P}{P'} x \right) - x = \ln(1+2x) - x; f'(x) = \frac{2}{1+2x} - 1$$

Newton: $x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}; x_0 = 1$
 $x_1 = 1.295837$
 $x_2 = 1.256983$
 $x_3 = 1.256431$

$$B = \frac{C \ln 2}{x} = \underline{\underline{5.52 MHz}}$$

2. Spektralni analizator ima na vходу mešalnik s šumnim številom $F=20dB$ in presečno točko tretjega reda $P_{ip3}=+10dBm$. Določite dinamiko merilnika (razmerje med najmanjšim in največjim merjenim signalom v decibelih) pri pasovni širini medfrekvenčnega sita $B=1MHz$ ob upoštevanju, da se šum poveča za intermodulacijske produkte! ($k_B=1.38E-23J/K, T_0=293K$)

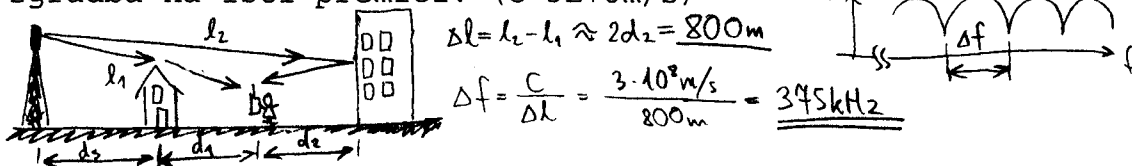
$$P_N = B k_B T_0 10^{\frac{F}{10}} = \underline{\underline{4.04 \cdot 10^{-13} W}}$$

$$P_{ip3} = +10dBm = \underline{\underline{0.01 W}}$$

$$P_{min} = \frac{P_{max}^3}{P_{ip3}^2}; P_{min} = P_N + P_{mb} = P_N + \frac{P_{max}^3}{P_{ip3}^2}$$

$$0 = a - 2x^3; x = \sqrt[3]{\frac{a}{2}}; \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{\sqrt[3]{\frac{a}{2}}}{\frac{1}{3} \sqrt[3]{\frac{4}{a^2}}} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{a^3}{4}} = \frac{1}{3} \sqrt[3]{\frac{27 P_{ip3}^2}{P_N}} = \underline{\underline{4.49 \cdot 10^6 = 66.5 dB}}$$

3. Radijski signal pride od bazne postaje do mobilnega telefona po dveh poteh: preko uklona na strehi hiše med postajo in telefonom, oddaljeno za $d_1=200m$ od telefona ter preko odboja od visoke zgradbe, ki se nahaja na $d_2=400m$ za telefonom točno v obratni smeri kot bazna postaja. Izračunajte periodo presiha polja v frekvenčnem prostoru $\Delta f=?$. Bazna postaja se nahaja na razdalji $d_3=500m$ od hiše, kateri sledijo telefon in velika zgradba na isti premici. ($c=3E+8m/s$)



4. Satelit Molnija izstrelijo v začetno tirnico z višino perigeja $h_p=1000km$, višino apogeja $h_a=36000km$ in naklonom $i=63.5$ stopinje. Zaradi težnostnih vplivov Sonca in Lune se ekscentričnost tirnice čez več let zniža na vrednost $e'=0.5$, vsi ostali Keplerjevi elementi tirnice (razen rektascenzije vozla) pa ostanejo nespremenjeni. Izračunajte, za koliko sekund se pri tem spremeni perioda tirnice satelita $\Delta T=?$ ($R_z=6378km, u=3.986E+14m^3/s^2$)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}}; \left. \begin{matrix} a = \text{konst.} \\ \mu = \text{konst.} \end{matrix} \right\} \Rightarrow \underline{\underline{\Delta T = 0}}$$

5. Bazna postaja mobilnega telefona oddaja na frekvenci $f_0=900MHz$ in je postavljena na $h=20m$ visok stolp, ki je odmaknjen za $d=50m$ proč od ravne ceste. Izračunajte frekvenco signala $f=?$, ki ga sprejme mobilna postaja na krovu avtomobila, ko se ta nahaja na razdalji $l=130m$ od vznožja stolpa! Avtomobil se giblje s hitrostjo $v=72km/h$ in se stolpu približuje. ($c=3E+8m/s$)

$$f = f_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right) = f_0 \left(1 + \frac{v}{c} \cos \alpha \cos \theta_r \right) = f_0 \left(1 + \frac{v}{c} \frac{\sqrt{r^2 - d^2}}{r} \frac{d}{\sqrt{r^2 + l^2}} \right) =$$

$$v = 72 km/h = 20 m/s$$

$$= \underline{\underline{900.0000547 MHz}}$$

Rešitev pisnega izpita iz RADIOKOMUNIKACIJ (UNI) - 2/3/2001

$$\textcircled{1} \lambda = \frac{c_0}{f} = \underline{3.57 \text{ cm}} \quad P_s = P_0 \frac{A_0 \eta_0 A_s \eta_s}{\lambda^2 d^2} = P_0 \frac{\pi r_0^2 \eta_0 \pi r_s^2 \eta_s}{\lambda^2 d^2} = \underline{3.48 \cdot 10^{-19} \text{ W}}$$

$$a = -4 \text{ dB} = \underline{0.398}$$

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{a P_s}{B k_B T} \right); x = \frac{C}{B}; x = \log_2 \left(1 + \frac{a P_s}{C k_B T} x \right); \frac{a P_s}{C k_B T} = \underline{1.116}; B = \frac{C}{x} = \underline{23.4 \text{ kHz}}$$

$$f(x) = x \ln 2 - \ln(1 + 1.116 x) = 0 \quad x_0 = 1; x_1 = 1.34054; x_2 = 1.29240; x_3 = 1.28251;$$

$$f'(x) = \ln 2 - \frac{1.116}{1 + 1.116 x} \quad x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad x_4 = 1.28076; x_5 = 1.28046; x_6 = 1.28041; x_7 = 1.28040$$

$$\textcircled{2} T_A = \frac{\int_{4\pi} T(\theta, \phi) |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega}{\int_{4\pi} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega} = \frac{T_w \int_0^{\pi/2} |F(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta + T_b \int_{\pi/2}^{\pi} |F(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta}{\int_0^{\pi} |F(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta} = \frac{4\text{K} \cdot \frac{3}{4} + 300\text{K} \cdot \frac{1}{4}}{1} = \underline{78 \text{ K}}$$

$$|F(\theta, \phi)|^2 = \cos^2(\theta/2) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\theta; \int |F(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta = -\int \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \mu \right) d\mu = -\frac{\mu}{2} - \frac{\mu^2}{4}; \mu = \cos\theta$$

$$T_s = T_0 \left(10^{\frac{G_p}{10}} - 1 \right) = \underline{453.6 \text{ K}}; G_p = 12 \text{ dB} = \underline{15.85}; T_p = T - T_A - \frac{T_s}{G_p} = 150\text{K} - 78\text{K} - \frac{453.6\text{K}}{15.85} = \underline{43.38 \text{ K}}$$

$$F_p = 10 \log \left(1 + \frac{T_p}{T_0} \right) = \underline{0.587 \text{ dB}}$$

$$\textcircled{3} \text{ Rayleigh-ova porazdelitev} \rightarrow \text{naključna faza vsote} \rightarrow \underline{\langle E_R \rangle = \langle E_i \rangle = 0}$$

$$\textcircled{4} a_g = \sqrt{\mu \left(\frac{r}{2\pi} \right)^2} = \underline{42163 \text{ km}}; v_g = \sqrt{\frac{\mu}{a_g}} = \underline{3075 \text{ m/s}}$$

$$a = \frac{1}{2} (a_g + R_z + h_p) = \underline{24370 \text{ km}}; v_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{a_g} - \frac{1}{a} \right)} = \underline{1597 \text{ m/s}}; \Delta v = v_g - v_a = \underline{1477 \text{ m/s}}$$

$$v' = v_p + \Delta v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{R_z + h_p} - \frac{1}{a} \right)} + \Delta v = 10239 \text{ m/s} + 1477 \text{ m/s} = \underline{11716 \text{ m/s}}$$

$$a' = \frac{1}{\frac{2}{R_z + h_p} - \frac{v'^2}{\mu}} = \underline{-24791 \text{ km}}; e' = 1 - \frac{R_z + h_p}{a'} = \underline{1.265} \quad \text{Niperbola} \quad \underline{h_a = \infty}$$

↙ Minus ↘

$$\textcircled{5} \Delta v = v \cos \alpha = v \frac{\sqrt{d^2 - h^2}}{d} = 850 \text{ km/h} \cdot 0.9798 = 832.8 \text{ km/h} = \underline{231.3 \text{ m/s}}$$

$$f_2 = \left(f_1 \cdot \left(1 + \frac{\Delta v}{c_0} \right) + f_m \right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta v}{c_0} \right) = \underline{1090.001635 \text{ MHz}}$$

1. Satelit oddaja podatke s hitrostjo $C=1\text{Mbit/s}$ z BPSK oddajnikom na nosilni frekvenci $f=1.7\text{GHz}$. Sprejemna postaja, oddaljena $d=300\text{km}$, je opremljena z zrcalom premera $2r=3\text{m}$, izkoristkom osvetlitve $\eta=60\%$ in skupno temperaturo antene in sprejemnika $T=100\text{K}$. Izračunajte potrebno moč oddajnika $P_0=?$ na krovu satelita, če je opremljen z oddajno anteno z dobitkom $G_0=3\text{dBi}$, da bo pogostnost napak $\text{BER}<1.0\text{E}-6!$ $k_B=1.38\text{E}-23\text{J/K}$

Graf: $\text{BER} = 10^{-6} \rightarrow W_B/N_0 = 10.5\text{dB} = 11.22$

$$N_0 = k_B T = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 100\text{K} = 1.38 \cdot 10^{-21} \text{ W/Hz}$$

$$W_B = N_0 \cdot (W_B/N_0) = 1.548 \cdot 10^{-20} \text{ W}$$

$$P_s = C \cdot W_B = 1.548 \cdot 10^{-14} \text{ W} \quad G_0 = 3\text{dBi} = 2$$

$$P_0 = P_s \frac{4\pi d^2}{G_0 A_s \eta} = P_s \frac{4d^2}{G_0 r^2 \eta} = 1.548 \cdot 10^{-14} \text{ W} \frac{4 \cdot (300 \cdot 10^3 \text{ m})^2}{2 \cdot (1.5 \text{ m})^2 \cdot 0.6}$$

$$P_0 = 2.065 \text{ mW}$$

2. Radiodifuzni oddajnik izhodne moči $P=300\text{W}$ ($f=100\text{MHz}$) uporablja analogno frekvenčno modulacijo in izhodno stopnjo z bipolarnimi tranzistorji z razmerjem $P_{ip3}/P_{1\text{dB}}=11\text{dB}$. Določite izhodno moč FM oddajnika $P'=?$, če bipolarne tranzistorje v izhodni stopnji zamenjamo z bolj linearnimi MOS tranzistorji z razmerjem $P_{ip3}'/P_{1\text{dB}}=18\text{dB}$ ter ostaneta napajalnik in izkoristek izhodne stopnje v zasičenju nespremenjena!

FM oddajnik \rightarrow konstantna ovojnica \rightarrow IMD ne tvori novih frekvenc $\rightarrow P' = P = 300\text{W}$

3. Antene baznih postaj mobilnega sistema zvez so postavljene na $h_0=30\text{m}$ visoke stolpove in pokrivajo (približno) krožne celice polmera $r=3\text{km}$. Na kakšni razdalji $d=?$ med dvema baznima postajama smemo ponoviti isti radiofrekvenčni kanal, če sprejemnik na višini $h_s=1\text{m}$ zahteva razmerje signal motnja $S/I=10\text{dB}$ na frekvenci $f=900\text{MHz}$? Presih polja zahteva dodatnih $a=20\text{dB}$ rezerve v radijski zvezi!

$$h_0, h_s \ll r \rightarrow P_s = P_0 G_0 G_s \frac{h_0^2 h_s^2}{r^4} \quad \frac{P_s}{P_m} = \frac{(d-r)^4}{r^4} \rightarrow d-r = r \sqrt[4]{\frac{P_s}{P_m}}; \quad d = r \left(1 + \sqrt[4]{\frac{P_s}{P_m}}\right)$$

$$S/I = 10\text{dB} = 10 \quad a = 20\text{dB} = 100 \quad \frac{P_s}{P_m} = \frac{S}{I} \cdot a = 1000 \quad d = 3\text{km} \left(1 + \sqrt[4]{1000}\right) = 3\text{km} \cdot 6.623 = 19.87\text{km}$$

4. Satelit Molnija leti v eliptični tirnici z višino apogeja $h_a=36000\text{km}$ in višino perigeja $h_p=1000\text{km}$ nad zemeljsko površino. Izračunajte odstotek periode tirnice $t'/T=?$, ko je satelit dovolj visoko $h>10000\text{km}$, da je uporaben kot pretvornik za radijske zveze na velike razdalje! $R_z=6378\text{km}$, $u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$

$$r_a = h_a + R_z = 42378\text{km} \quad r_p = h_p + R_z = 7378\text{km}$$

$$a = \frac{r_a + r_p}{2} = 24878\text{km} \quad e = 1 - \frac{r_p}{a} = 0.903$$

$$r = h + R_z = a(1 - e \cos E) \rightarrow \cos E = \frac{1}{e} \left(1 - \frac{h + R_z}{a}\right) = 0.486$$

$$M = E - e \sin E = \arccos(\cos E) - e \sqrt{1 - \cos^2 E} = 1.064 - 0.903 \cdot 0.874 = 0.449\text{rad}$$

$$\frac{t'}{T} = \frac{2\pi - 2M}{2\pi} = 1 - \frac{M}{\pi} = 1 - 0.143 = 0.857 = 85.7\%$$

5. Letalski višinomer je izveden kot FM radar na osrednji frekvenci $f_0=4.4\text{GHz}$ s kolebom $\Delta f = \pm 100\text{MHz}$. Kolebanje frekvence oddajnika krmili izvor trikotne napetosti s frekvenco $f_m=50\text{Hz}$. Izračunajte višino letala nad površino Zemlje $h=?$, če sprejemnik izmeri razliko frekvenc oddanega in odbitega signala $f_o - f_r = \pm 15\text{kHz}$! $c=3\text{E}+8\text{m/s}$

$$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta f}{\frac{1}{2} f_m} = 2 f_m \Delta f; \quad f_o - f_r = \Delta f = \frac{2h}{c} \frac{df}{dt}; \quad h = (f_o - f_r) \cdot \frac{c}{4 f_m \Delta f} = 15 \cdot 10^3 \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4 \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 1.505 \cdot 10^9} = 225\text{m}$$

1. Izračunajte domet zveze $d=?$ med prenosnim terminalom, ki ga držimo v roki ($H_s=1m$, $G_s=1$, $T_a=293K$, $F_s=3dB$) in bazno postajo moči $P_o=1W$ na frekvenci $f=2.1GHz$, ki ima anteno z dobitkom $G_o=15dBi$ na stolpu višine $h_o=30m$! V zvezi zahtevamo prenos podatkov z zmogljivostjo $C=100kbit/s$, izguba kodiranja znaša $a=6dB$, motnje zanemarimo. ($k_b=1.38E-23J/K$, $T_o=293K$)

$$T = T_a + T_s = T_a + T_o(10^{\frac{F_s}{10}} - 1) = 585K \quad P_s = P_o G_o G_s \frac{h_o^2 h_s^2}{d^4} \rightarrow d = \sqrt[4]{\left(\frac{P_o}{P_s}\right) G_o G_s h_o^2 h_s^2} = 59.7km$$

$$\alpha = 6dB = 4 \quad G_o = 15dBi = 31.6$$

$$P_s = \alpha C k_b T \ln 2 = 2.24 \cdot 10^{-15} W$$

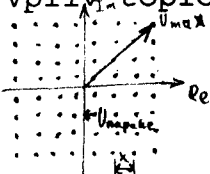
2. Močnostni ojačevalnik ima moč zasičenja $P_{1dB}=+33dBm$ in pripadajoče ojačenje $G_{1dB}=19dB$. Izračunajte moč na vhodnih sponkah ojačevalnika $P_{vh}'=?$, ko znaša ojačenje ojačevalnika $G'=19.75dB$! Nelinearnost ojačevalnika povzroča v glavnem kubni člen prenosne funkcije, člene višjih redov zanemarimo.

$$M_{iz} \approx \alpha_1 U_{vh} + \alpha_3 U_{vh}^3 \rightarrow P_{iz} = G P_{vh} (1 - \alpha' P_{vh})^2 \quad P_{vh,1dB} = P_{1dB} / G_{1dB} = 33dBm - 19dB = +14dBm = 25mW$$

$$U_{vh} = U_{vh} \cos \omega t \quad (1 - \alpha' P_{vh,1dB})^2 = -1dB = 0.794 \quad G = \frac{G_{1dB}}{0.794} = 19dB + 1dB = 20dB \quad G' = 19.75dB - 20dB = -0.25dB$$

$$U_{iz} \approx \sqrt{G} (U_{vh} - \alpha U_{vh}^3) \quad \alpha' = \frac{1 - 0.794}{P_{vh,1dB}} = \frac{0.206}{25mW} \quad P_{vh}' = \frac{1}{\alpha'} \cdot (1 - \sqrt{G'}) = \frac{25mW}{0.206} \cdot 0.028 = 6.55mW = +8.16dBm$$

3. Usmerjena mikrovalovna digitalna radijska zveza uporablja modulacijo 64-QAM za doseganje visoke spektralne učinkovitosti. Radijsko zvezo moti oslabljeni odbiti val, ki pride do sprejemne antene z zakasnitvijo več simbolnih period glede na neposredni val. Izračunajte slabljenje odbitega vala $a=?$ v decibelih, ko se začnejo pojavljati posamične napake v prenosu! Vpliv toplotnega šuma in drugih motenj zanemarimo.



$$a = 20 \log_{10} \left(\frac{|U_{max}|}{|U_{napake}|} \right) = 20 \log_{10} \frac{3.5 \times \sqrt{2}}{x/2} = 20 \log_{10} 7\sqrt{2} = 19.9dB$$

4. Nosilna raketa pripelje komunikacijski satelit v eliptično prenosno tirnico s perigejem $h_p=200km$ nad zemeljsko površino ter apogejem, ki se dotika geostacionarne tirnice. Izračunajte potrebno maso goriva $m_g=?$ za prenos satelita v geostacionarno tirnico, če znaša suha masa satelita (brez goriva) $m_t=3000kg$! Uporabljeno raketno gorivo daje $I_{sp}=270s$, popravek naklona ni potreben. ($u=3.986E+14m^3/s^2$, $R_z=6378km$, $T_z=1436min$, $g=9.81m/s^2$)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} \rightarrow a_g = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T_z}{2\pi}\right)^2} = 42163km \quad \Delta N = N_g - N_p = 1444m/s \quad \Delta N = N_{iz} \ln \left(1 + \frac{m_g}{m_t}\right)$$

$$N_g = \sqrt{\mu/a_g} = 3075m/s \quad ; \quad a = \frac{a_g + h_p + R_z}{2} = 24370km \quad m_g = m_t \left(e^{\frac{\Delta N}{N_{iz}}} - 1 \right) = 2240kg$$

$$N_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{a_g} - \frac{1}{a} \right)} = 1597m/s \quad N_{iz} = g \cdot I_{sp} = 2649m/s$$

5. Pri sprejemu signala s satelita GPS na obeh frekvencah $L1=1575.42MHz$ in $L2=1227.6MHz$ izmerimo zakasnitev modulacije na frekvenci $L2$ glede na $L1$ $\Delta t=15ns$. Koliko znaša doprinos k pogrešku določanja položaja uporabnika $\Delta r=?$, če uporabljamo rezultat meritve na frekvenci $L1$ ter inosferskega pogreška za dani satelit ne popravimo pri faktorju $GDOP=3.5$?

$$\Delta t_1 = \frac{\alpha}{f_1^2} ; \Delta t_2 = \frac{\alpha}{f_2^2} \rightarrow \alpha = \frac{\Delta t}{\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2}} \quad \Delta r = c_0 \Delta t_1 GDOP = 24.3m$$

$$\Delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1 = \alpha \left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right) \quad \Delta t_1 = \frac{\Delta t}{\left(\frac{1}{f_1^2} - 1\right)} = \frac{15ns}{\left(\frac{1.57542}{1227.6}\right)^2 - 1} = 23.2ns$$

1. C/A signal satelitov GPS se posreduje s pomočjo oddajnika moči $P_0=50W$ na frekvenci $f=1575.42MHz$ in oddajno anteno z oblikovanim snopom stožčaste oblike, da pravilno osvetli celotno vidno zemeljsko površino iz krožnice na višini $h=20000km$. Izračunajte razmerje signal/šum $S/N=?$ v decibelih po pasovnem situ širine $B=2MHz$ v sprejemniku, ki je opremljen z anteno, ki pokriva gornjo poloblo ($G_s=3dBi$) ter skupno šumno temperaturo antene in sprejemnika $T=200K$! ($R_z=6378km$, $k_B=1.38E-23J/K$)

$$\sin \alpha = \frac{R_z}{R_z+h}; \quad \Omega = 2\pi(1-\cos \alpha); \quad D_0 = \frac{4\pi}{\Omega} = \frac{2}{1-\sqrt{1-(\frac{R_z}{R_z+h})^2}} = 67.4 = G_0$$

$$P_s = P_0 G_0 G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi h}\right)^2 = 3.869 \cdot 10^{-15} W$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 19cm \quad P_N = B k_B T = 5.520 \cdot 10^{-15} W$$

$$S/N = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_N} = -1.54 dB$$

2. V sistemu kableske televizije nadomestimo izgube $a=-25dB$ v vsakem odseku z ojačevalniki z ojačenjem $G=25dB$, šumnim številom $F=3dB$ in presečno točko tretjega reda $P_{IP3}=+30dBm$. Izračunajte šumno število $F'=?$ in presečno točko $P_{IP3}'=?$ verige desetih odsekov ($N=10$), kjer vsak odsek vsebuje najprej slabljenje kabla in nato ojačevalnik! Kabel se nahaja na temperaturi okolice $T_0=293K$.

Odsek: $\rightarrow \rightarrow \rightarrow$: $G_0 = a + G = 0dB = 1; F_0 = F - a = 28dB = 631; P_{IP30} = P_{IP3} = +30dBm$

Veriga 10 odsekov: $F' = F_0 + \frac{F_0-1}{G_0} + \frac{F_0-1}{G_0^2} + \dots + \frac{F_0-1}{G_0^9} = 10F_0 - 9 = 6301 = 37.99dB, P_{IP3}' = \frac{1}{\frac{1}{P_{IP30}} + \frac{1}{P_{IP30}G_0} + \frac{1}{P_{IP30}G_0^2} + \dots} = \frac{P_{IP30}}{10} = +20dBm$

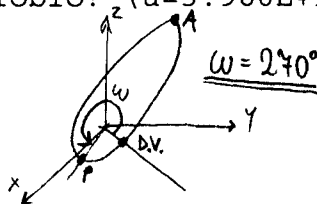
3. Določite potrebno pasovno širino $B=?$ za CDMA sistem mobilne telefonije, ki naj omogoča $N=250$ istočasnih pogovorov, vsak od njih z zmogljivostjo $C=15kbit/s$! Oddajniki imajo dovolj veliko moč, da predstavljajo glavnino šuma v sprejemniku motnje drugih oddajnikov, ker razširitvena zaporedja niso popolnoma ortogonalna med sabo. Moči vseh oddajnikov seveda nastavimo tako, da dajo na vходу sprejemnika enako močen signal. Izguba demodulatorja in dekoderja znaša $a=6dB$ glede na Shannon-ovo mejo.

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n a}\right) \rightarrow B = \frac{C \ln 2}{\ln \left(1 + \frac{1}{(N-1)a}\right)} \approx C (N-1) a \ln 2 = 15 \cdot 10^3 \cdot 249 \cdot 4 \cdot \ln 2 = 10.356 MHz$$

4. Satelit "Tundra" leti v visoki eliptični tirnici z naklonom $i=63.5$ stopinj in periodo, ki je enaka periodi vrtenja Zemlje. Kolikšna je višina apogeja $h_a=?$ nad zemeljsko površino, če znaša višina perigeja $h_p=1000km$ nad zemeljsko površino? Kolikšen naj bo argument perigeja $w=?$, da satelit zadrži najdlje nad severno poloblo? ($u=3.986E+14m^3/s^2$, $R_z=6378km$, $T_z=1436min$)

$$a = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2} = 42163km$$

$$h_a = 2a - 2R_z - h_p = 40540km$$



5. Uporabnik skuša določiti svoj položaj z meritvijo Doppler-jevega pojava na nosilcu z nazivno frekvenco $f=400MHz$, ki ga oddaja satelit sistema TRANSIT v krožnici na višini $h=1000km$ nad zemeljsko površino. Določite največji Doppler-jev pomik $\Delta f=?$ (razlika med frekvenco na začetku in ob koncu sprejema) za naugodnejši prelet (nad glavo uporabnika), če vrtenje Zemlje zanemarimo! ($R_z=6378km$, $u=3.986E+14m^3/s^2$)

$$v = \sqrt{\frac{\mu}{R_z+h}} = 7350m/s$$

$$\cos \alpha = \frac{R_z}{R_z+h}$$

$$\Delta f = f \frac{v}{c} 2 \cos \alpha = \frac{2 f v}{c} \frac{R_z}{R_z+h} = 16.944 kHz$$

1. Izračunajte zmogljivost radijske zveze $C=?$ s plovila v bližini planeta Jupiter na razdalji $d=1.0E+9\text{km}$ od zemeljske sprejemne postaje! Plovilo razpolaga z oddajnikom moči $P_o=40\text{W}$ na frekvenci $f=8.4\text{GHz}$ in anteno premera $2r_o=1\text{m}$. Zemeljski sprejemnik ima anteno premera $2r_s=60\text{m}$ in šumno temperaturo $T=40\text{K}$. Izkoristek osvetlitve obeh anten znaša $\eta_a=70\%$, izguba kodiranja pa $a=-4\text{dB}$ glede na Shannon-ovo mejo. ($c=3E+8\text{m/s}$)

$$P_s = P_o \frac{A_o \eta_o A_s \eta_s}{\lambda^2 d^2} = 3.41 \cdot 10^{-17} \text{ W} \quad C = \frac{\alpha P_s}{k_b T \ln 2} = 35.5 \text{ kbit/s}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3.6 \text{ cm} \quad A_o = \pi r_o^2 = 0.785 \text{ m}^2 \quad A_s = \pi r_s^2 = 2827 \text{ m}^2 \quad a = -4 \text{ dB} = 0.4$$

2. Občutljivost mikrovalovnega sprejemnika za frekvenco $f=38\text{GHz}$ skušamo izboljšati z dodatnimi visokofrekvenčnimi ojačevalnimi stopnjami. Šumno število razpoložljivih tranzistorjev znaša $F_t=4.5\text{dB}$ pri ojačenju $G_t=7\text{dB}$, šumno število mešalnika in medfrekvenčne verige pa znaša $F_m=15\text{dB}$. Koliko ojačevalnih stopenj $N=?$ se splača vgraditi pred mešalnik, da šumno število celotne sprejemne verige ne presega za več kot $\Delta F=+1\text{dB}$ šumnega števila neskončne verige ojačevalnikov? ($T_o=293\text{K}$)

$$G_t = 7 \text{ dB} = 5; T_t = T_o (10^{\frac{F_t}{10}} - 1) = 533 \text{ K}; T_{oo} = \frac{T_t}{1-G_t} = 666 \text{ K}; F_{oo} = 10 \log_{10} \left(\frac{T_{oo}}{T_o} + 1 \right) = 5.15 \text{ dB}$$

$$F_{m_{\text{max}}} = F_{oo} + \Delta F = 6.15 \text{ dB}; T_1 = T_t + \frac{T_m}{G}; T_N = T_t + \frac{T_{N-1}}{G}$$

$$T_{m_{\text{max}}} = T_o (10^{\frac{F_{m_{\text{max}}}}{10}} - 1) = 914 \text{ K}; T_m = T_o (10^{\frac{F_m}{10}} - 1) = 8972 \text{ K}; T_1 = 2227 \text{ K}; T_2 = 998 \text{ K}; T_3 = 732 \text{ K} \Rightarrow N = 3$$

3. Določite domet bazne postaje $r=?$ sistema mobilne telefonije na osrednji frekvenci $f=900\text{MHz}$! Bazne postaje imajo antene na višini $h_o=30\text{m}$, isti radiofrekvenčni kanal ponavljamo na razmaku $d=5\text{km}$. Sprejemniki na $h_s=2\text{m}$ nad ravnino zahtevajo razmerje $P_{\text{signal}}/P_{\text{motenj}} > 15\text{dB}$ z dodatno rezervo jakosti signala $a=15\text{dB}$ zaradi presiha polja. ($c=3E+8\text{m/s}$)

$$\left(\frac{P_s}{P_m} \right) \cdot a > \left(\frac{d_s}{d_m} \right)^{-4}; \frac{d-d_s}{d_s} = \sqrt[4]{\left(\frac{P_s}{P_m} \right) \cdot a}; d_s = \frac{d}{1 + \sqrt[4]{\left(\frac{P_s}{P_m} \right) \cdot a}} = 755 \text{ m}$$

$$d_m = d - d_s \quad \frac{P_s}{P_m} = 15 \text{ dB} = 31.6 \quad a = 15 \text{ dB} = 31.6$$

4. Določite število $N=?$ in jakost potrebnih sprememb hitrosti $\Delta v=?$, da pripeljemo satelit v geostacionatno tirnico iz izstrelišča na zemeljskem ekvatorju z najnižjo porabo goriva! V računu zanemarimo trenje rakete z zemeljskim ozračjem. Pri izstelitvi z ekvatorja spremembe naklona tirnice niso potrebne in hkrati nam Zemlja s svojim vrtenjem pomaga zmanjšati prvo spremembo hitrosti. ($R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$, $u=3.986E+14\text{m}^3/\text{s}^2$)

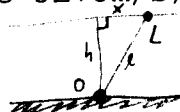
$$N = 2 \text{ Hohmann-ov prenos} \quad v_g = \sqrt{\frac{\mu}{a_g}} = 3075 \text{ m/s}; a = \frac{a_g + R_z}{2} = 24270 \text{ km}$$

$$v_z = \frac{2\pi R_z}{T_z} = 465 \text{ m/s} \quad v_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{R_z} - \frac{1}{a} \right)} = 10420 \text{ m/s}; \Delta v_1 = v_p - v_z = 9955 \text{ m/s}$$

$$a_g = \sqrt[3]{\frac{\mu T_z^2}{(2\pi)^2}} = 42163 \text{ km} \quad v_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{a_g} - \frac{1}{a} \right)} = 1576 \text{ m/s}; \Delta v_2 = v_g - v_a = 1499 \text{ m/s}$$

5. Letalo preleti v vodoravnem letu zemeljski oddajnik na višini $h=300\text{m}$ s hitrostjo $v=200\text{km/h}$. Kolikšna je frekvenca oddajnika $f=?$, če sprememba Doppler-jevega pomika v letalskem sprejemniku doseže največjo vrednost $df/dt=10\text{Hz/s}$? ($c=3E+8\text{m/s}$)

$$l = \sqrt{h^2 + x^2} \approx h \left(1 + \frac{x^2}{2h^2} \right) = h + \frac{x^2}{2h} = h + \frac{v^2 t^2}{2h}; f = f_o - \frac{f_o}{c} \frac{dl}{dt}; \frac{df}{dt} = - \frac{f_o}{c} \frac{d^2 l}{dt^2}$$

$$x = vt; \frac{dl}{dt} = \frac{v^2 t}{h}; \frac{d^2 l}{dt^2} = \frac{v^2}{h}; f_o = - \frac{h c}{v^2} \frac{df}{dt} = 291.6 \text{ MHz}$$


1. Izračunajte domet $d=?$ letalskega oddajnika za klic v sili (ELT) v praznem prostoru, ki oddaja na frekvenci $f=121.5\text{MHz}$ z močjo $P_0=100\text{mW}$ in neusmerjeno oddajno anteno ($G_0=1$). Sprejemnik je prav tako opremljen z neusmerjeno anteno ($G_s=1$) s šumno temperaturo $T_a=1000\text{K}$, šumno število samega sprejemnika pa znaša $F=6\text{dB}$ in pasovna širina $B=10\text{kHz}$. Za zanesljivo proženje alarma je potrebno razmerje signal/šum vsaj $(S/N)_{\min}=15\text{dB}$. ($k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$(S/N)_{\min}=15\text{dB} = 31.6 ; P_s = (S/N)_{\min} B k_b (T_a + T_s) = 8.18 \cdot 10^{-15} \text{ W}$$

$$T_s = T_0 (10^{\frac{F}{10}} - 1) = 873\text{K} \quad P_s = P_0 G_0 G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \rightarrow d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_0 G_0 G_s}{P_s}} = 687 \text{ km}$$

$$T_0 = 293\text{K} ; \lambda = \frac{c}{f} = 2.47 \text{ m}$$

2. Radijski sprejemnik je uglašen na $f_s=6573\text{kHz}$, kjer poleg željenega signala sprejema tudi razmeroma močno motnjo. S spektralnim analizatorjem najdemo najverjetneši vzrok motnje, dva zelo močna signala na frekvencah $f_1=6521\text{kHz}$ in $f_2=6534\text{kHz}$. Za koliko dB ($x=?$) se izboljša razmerje signal/motnja, če med anteno in sprejemnik vgradimo slabilec $a=6\text{dB}$?

$$\left. \begin{array}{l} f_2 - f_1 = 13\text{kHz} \\ f_{\text{m}b3} = 6547\text{kHz} \\ f_{\text{m}b5} = 6560\text{kHz} \\ f_{\text{m}b7} = 6573\text{kHz} = f_s \end{array} \right\} \begin{array}{l} P'_s = \frac{P_s}{a} \\ P'_{\text{m}w} = \frac{P_{\text{m}b7}}{a^2} \end{array} \quad x = 7a - a = 6a = 36\text{dB}$$

3. MMIC ojačevalnik ima linearno ojačenje za male signale $G=10\text{dB}$, šumno število $F=5\text{dB}$ in moč presečne točke tretjega reda $P_{\text{IP}3}=+20\text{dBm}$. Izračunajte ojačenje $G'=?$, šumno število $F'=?$ in moč presečne točke tretjega reda $P_{\text{IP}3}'$ za dvostopenjsko verigo, kjer v prvi stopnji uporabimo en takšen MMIC ojačevalnik, v drugi stopnji pa vzporedno vežemo še štiri enake MMIC ojačevalnike in impedance pravilno zaključimo z brezizgubnimi transformatorji impedance! ($k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$) $P_{\text{IP}31}=P_{\text{IP}3}=+20\text{dBm}=100\text{mW}$

$$G_1=G_2=G=10\text{dB}=10 ; F_1=F_2=F=5\text{dB}=3.16 \quad P_{\text{IP}32}=4P_{\text{IP}3}=400\text{mW}=+26\text{dBm}$$

$$G' = G_1 G_2 = 100 = 20\text{dB} ; F' = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} = 3.379 = 5.29\text{dB} ; P_{\text{IP}3}' = \frac{1}{\frac{1}{P_{\text{IP}32}} + \frac{1}{G_2 P_{\text{IP}31}}} = 0.286\text{W} = +24.56\text{dBm}$$

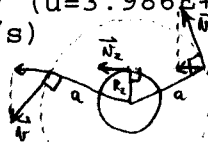
4. Oddajnik na satelitu je opremljen z neidealno krožno polarizirano anteno z razmerjem krožnih komponent $Q_0=0.15$. Stabilizacija lege satelita je izvedena z vrtenjem, os vrtenja kaže v smeri glavnega snopa antene proti sprejemni postaji na Zemlji. Kakšna mora biti polarizacija sprejemne antene na Zemlji $Q_s=?$, da bo globina presiha, to je najmanjša sprejeta jakost signala na Zemlji P_{smin} največja? ($f=2.2\text{GHz}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$\eta = \frac{1 + Q_0^2 Q_s^2}{(1 + |Q_0|^2)(1 + |Q_s|^2)} \rightarrow \eta_{\min} = \frac{(1 - |Q_0||Q_s|)^2}{(1 + |Q_0|^2)(1 + |Q_s|^2)} \rightarrow \underline{Q_s = 0}$$

$$Q_0' = Q_0 e^{j2\alpha} ; \alpha = \text{kot zasukata satelita}$$

5. Na kakšni višini $h=?$ nad zemeljsko površino se nahaja satelit v krožni tirnici v ekvatorialni ravnini ($i=0$), če znaša Doppler-jev pomik natančno nič za sprejemnik na zemeljskem ekvatorju ob vzhodu oziroma zahodu satelita? Pri izračunu upoštevajte premikanje satelita in vrtenje Zemlje, skupaj s katero se vrti tudi sprejemnik. Kolikšna je perioda $T=?$ tirnice satelita? ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$, $f=10\text{GHz}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$u_z = \frac{2\pi R_z}{T_z} = 465 \text{ m/s}$$



$$u_z = u \frac{R_z}{a} ; u = \sqrt{\frac{\mu}{a}} ; u_r = R_z \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} = \frac{2\pi R_z}{T_z} ; T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = T_z$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\left(\frac{u_z}{R_z}\right)^2}} = 42163 \text{ km} ; h = a - R_z = 35785 \text{ km} ; T = T_z = 1436 \text{ min}$$

1. Izračunajte domet $d=?$ med dvema prenosnima radijskima postajama, ki delata na frekvenci $f=160\text{MHz}$ in sta opremljeni z neusmerjenima antenama $G_0=G_s=1$. Moč oddajnika znaša $P_0=5\text{W}$, občutljivost sprejemnika $U_s=0.2\mu\text{V}_{\text{eff}}$ (pri $Z_k=50\Omega$) in domet zveze omejuje odboj od tal $h_0=h_s=1.5\text{m}$. Uporabnik zahteva pogostnost izpada zveze $P_{\text{izpada}} < 1\%$ pri Rayleigh-ovi statistiki presiha polja. ($c=3E+8\text{m/s}$)

$$P_{\text{izpada}} = 1 - e^{-\frac{P_{\text{min}}}{\langle P_s \rangle}} \rightarrow \langle P_s \rangle = -P_{\text{min}} [\ln(1 - P_{\text{izpada}})]^{-1} \approx \frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{izpada}}} = \frac{U_s^2}{Z_k P_{\text{izpada}}} = 8 \cdot 10^{-14} \text{W}$$

$$\langle P_s \rangle = P_0 G_0 G_s \frac{h_0^2 h_s^2}{d^4} \rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{P_0 G_0 G_s h_0^2 h_s^2}{\langle P_s \rangle}} = \underline{\underline{4218 \text{m}}}$$

2. Sprejemnik na frekvenci $f=12\text{GHz}$ gradimo s tranzistorji, ki na dani frekvenci dosega ojačenje $G=12\text{dB}$ in šumno število $F=1.5\text{dB}$. Med anteno in prvo ojačevalno stopnjo vgradimo pasovno sito širine $B_1=500\text{MHz}$ z vstavitvenim slabljenjem $a_1=0.5\text{dB}$, med vse naslednje ojačevalne stopnje pa pasovna sita širine $B_2=200\text{MHz}$ z vstavitvenim slabljenjem $a_2=3\text{dB}$. Kolikšno šumno število $F_s=?$ lahko doseže celoten sprejemnik? ($k_b=1.38E-23\text{J/K}$)

$$F_s = F_2 + \frac{F_2-1}{G_1} + \frac{F_2-1}{G_1^2} + \dots = 1 + \frac{F_2-1}{1-1/G_1} = 3.08 = 4.885\text{dB}$$

$$G_1 = G - a_1 = 11.5\text{dB} = 14.13$$

$$G_2 = G - a_2 = 9\text{dB} = 7.943$$

$$F_1 = F + a_1 = 2\text{dB} = 1.58$$

$$F_2 = F + a_2 = 4.5\text{dB} = 2.818$$

$$F_s = F_1 + \frac{F_s-1}{G_1} = 1.732 = 2.386\text{dB}$$

3. Dvostopenjski ojačevalnik v razredu "A" gradimo s tranzistorji, ki v danem frekvenčnem pasu dajejo $G=12\text{dB}$ ojačenja, razmerje $P_{\text{ip3}}/P_{\text{1dB}}=10\text{dB}$ in izkoristek $\eta_{\text{1dB}}=30\%$. Kolikšen navišji $P_{\text{ip3}}=?$ celotnega dvostopenjskega ojačevalnika lahko dosežemo, če je skupna moč napajanja obeh ojačevalnih stopenj omejena na $P_{\text{dc}}=P_{\text{dc1}}+P_{\text{dc2}}=10\text{W}$? ($G=12\text{dB}=16$; $P_{\text{ip3}}/P_{\text{1dB}}=10\text{dB}=10$)

$$P_{\text{ip3}} = \frac{1}{\frac{1}{G_2 P_{\text{ip31}}} + \frac{1}{P_{\text{ip32}}}} = \frac{P_{\text{ip32}}}{\frac{x}{G} + 1} ; \frac{P_{\text{ip3}}}{P_{\text{dc}}} = \frac{P_{\text{ip32}}/P_{\text{dc2}}}{(\frac{x}{G} + 1)(\frac{1}{x} + 1)} \rightarrow P_{\text{ip3}} = \frac{P_{\text{dc}} (P_{\text{ip3}}/P_{\text{1dB}})^{\eta_{\text{1dB}}}}{(\frac{x}{G} + 1)(\frac{1}{x} + 1)} = 19.2\text{W} =$$

$$f(x) = (\frac{x}{G} + 1)(\frac{1}{x} + 1) = \frac{x}{G} + 1 + \frac{1}{G} + \frac{1}{x}$$

$$\frac{P_{\text{dc2}}}{P_{\text{dc1}}} = \frac{P_{\text{ip32}}}{P_{\text{ip31}}} = x ; P_{\text{dc}} = P_{\text{dc1}} (\frac{1}{x} + 1) ; f'(x) = 0 = \frac{1}{G} - \frac{1}{x^2} \rightarrow x = \sqrt{G} = 4 = \underline{\underline{+42.8\text{dBm}}}$$

4. Komunikacijski satelit se nahaja v zemeljski tirnici s periodo $T=16\text{h}$. Kolikšna je lahko največja ekscentričnost tirnice $e=?$, da satelit ne zaide v ozračje na višini $h=300\text{km}$? Kolikšna je hitrost satelita $v=?$ na tej višini glede na ozračje, če vrtenje Zemlje zanemarimo? ($u=3.986E+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$) $r_p = R_z + h = 6678\text{km}$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} \rightarrow a = \sqrt[3]{\frac{T^2 \mu}{4\pi^2}} = 32236\text{km} ; v_p = \sqrt{\mu (\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a})} = 10345\text{m/s}$$

$$r_p = \frac{p}{1+e} ; a = \frac{p}{1-e^2} \rightarrow \frac{r_p}{a} = \frac{1-e^2}{1+e} = 1-e \rightarrow e = 1 - \frac{r_p}{a} = \underline{\underline{0.793}}$$

5. Letalo se približuje radarju v vodoravnem letu na višini $h=10\text{km}$ s hitrostjo $v=850\text{km/h}$. Izračunajte frekvenco sprejetih odmevov $f_s=?$ in moč sprejetih odmevov $P_s=?$, če znaša odmevna površina letala $\sigma=10\text{m}^2$. Radar ima oddajnik moči $P_0=100\text{kW}$ na frekvenci $f_0=3000\text{MHz}$ ter sprejemno/oddajno anteno z dobitkom $G=40\text{dBi}$. Letalo se nahaja na (poševni) razdalji $r=20\text{km}$ od radarja. ($c=3E+8\text{m/s}$)

$$\Delta f = f_0 \frac{v}{c} 2 \cos \alpha = f_0 \frac{v}{c} 2 \sqrt{1 - (\frac{h}{r})^2}$$

$$P_s = P_0 G_0 \frac{G_s}{4\pi r^2} \left(G_s \frac{\lambda^4}{4\pi} \right) \frac{1}{4\pi r^2} = \frac{P_0 G^2 \sigma \lambda^4}{(4\pi)^3 r^4}$$

$$\Delta f = 4090\text{Hz}$$

$$f_s = f_0 + \Delta f = 3000.00409\text{MHz}$$

$$G = 40\text{dBi} = 10000$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0.1\text{m}$$

$$P_s = 3.15 \cdot 10^{-9} \text{W} = 3.15\text{nW}$$

1. Zveza satelit-zemlja ima zmogljivost $C=50\text{Mbit/s}$ in dela v radiofrekvenčnem kanalu širine $B=36\text{MHz}$. Sprejemnik ima šumno temperaturo $T_s=250\text{K}$ in je opremljen z anteno z dobitkom $G=30\text{dBi}$ in šumno temperaturo $T_a=30\text{K}$. Na kakšno vrednost lahko povečamo zmogljivost zveze $C'=?$, če med anteno in sprejemnik vgradimo nizkošumni predojačevalnik s šumnim številom $F=1\text{dB}$ in ojačenjem $G=20\text{dB}$? ($k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$) $T_0=293\text{K}$

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right) \quad \left(\frac{P_s}{P_n} \right)' = \left(\frac{P_s}{P_n} \right) \frac{T_a + T_s}{T_a + T + \frac{T_s}{G}} = 1.619 \frac{30\text{K} + 250\text{K}}{30\text{K} + 45.5\text{K} + \frac{250\text{K}}{10}} = 4.183$$

$$\frac{P_s}{P_n} = 2^{\frac{C}{B}} - 1 = 1.619$$

$$G = 20\text{dB} = 100; T = T_0 \left(10^{\frac{F}{10}} - 1 \right) = 45.9\text{K}$$

$$C' = B \log_2 \left(1 + \left(\frac{P_s}{P_n} \right)' \right) = 85.45 \text{ Mbit/s}$$

2. Idealni ojačevalnik v razredu "B" ima $P_{\text{ip3}} = +45\text{dBm}$ za velike signale. Pri izhodni moči $P_{\text{1dB}} = +35\text{dBm}$ znaša njegov električni izkoristek $\eta = 50\%$. Kolikšno moč $P=?$ (v dBm) lahko proizvede ojačevalnik na svojem izhodu, če smemo $U=12\text{V}$ baterijo obremeniti z največnim povprečnim tokom praznjenja $I=100\text{mA}$?

$$P_{\text{1dB}} = +35\text{dBm} = 3.16\text{W}$$

$$P_{\text{dc}} = \frac{P_{\text{1dB}}}{\eta} = \frac{3.16\text{W}}{0.5} = 6.33\text{W}$$

$$\sqrt{\frac{P}{P_{\text{1dB}}}} = \frac{UI}{P_{\text{dc}}} \rightarrow P = P_{\text{1dB}} \left(\frac{UI}{P_{\text{dc}}} \right)^2 = 3.16\text{W} \left(\frac{1.2\text{W}}{6.33\text{W}} \right)^2 = 0.114\text{W}$$

razred "B"

3. Delovanje širokopasovne mobilne brezvrvične zveze moti razširjanje radijskih valov po več različnih poteh (odboji in ukloni), kar popačuje modulacijo signala in povzroča napake pri enosu. Pri izhodni moči oddajnika $P_o=1\text{W}$ izmerimo pogostnost napak $P_{\text{napak}}=1.0\text{E}-4$. Na kakšno vrednost se spremeni pogostnost napak $P_{\text{napak}}'=?$, če moč oddajnika povečamo na $P_o'=5\text{W}$? Sprejemnik ostane enak, toplotni šum sprejemnika je v obeh slučajih zanemarljiv v primerjavi z odbitimi valovi.

$$P_{\text{motenj}} \gg P_{\text{šum}} \rightarrow \underline{P_{\text{NAPAK}}' = P_{\text{NAPAK}} = 1.0 \cdot 10^{-4}}$$

Pogostnost napak ni odvisna od jakosti signala, ko je toplotni šum zanemarljiv.

4. Vesoljsko plovilo se nahaja v zemeljski prenosni tirnici z apogejem $h_a=36000\text{km}$ in perigejem $h_p=250\text{km}$. Kje moramo vključiti raketni motor in koliko znaša potrebeni $\Delta v=?$, da plovilo ubeži težnostnemu polju Zemlje? ($\mu=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$). Motor vključimo v perigeju!

$$r_p = h_p + R_z = 6628\text{km}$$

$$r_a = h_a + R_z = 42378\text{km}$$

$$v_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a} \right)} = 10198.5\text{m/s}$$

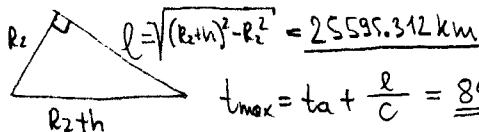
$$\Delta v = v_p' - v_p = 768.6\text{m/s}$$

$$a = \frac{r_p + r_a}{2} = 24503\text{km}$$

$$v_p' = \sqrt{\mu \frac{2}{r_p}} = 10967.1\text{m/s}$$

5. Radionavigacijski sateliti GPS koržijo na višini $h=20000\text{km}$ nad zemeljsko površino. Izračunajte največni čas $t_{\text{max}}=?$ in najmanjši čas $t_{\text{min}}=?$ potovanja radijskega signala od satelita do uporabniškega sprejemnika na zemeljski površini, če skupna zakasnitev ionosfere in troposfere doseže največjo vrednost $t_a=300\text{ns}$ na frekvenci $L1=1575.42\text{MHz}$! ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$, $R_z=6378\text{km}$)

$$t_{\text{min}} = \frac{h}{c} = 66.6667\text{ms}$$



$$l = \sqrt{(R_z + h)^2 - R_z^2} = 25595.312\text{km}$$

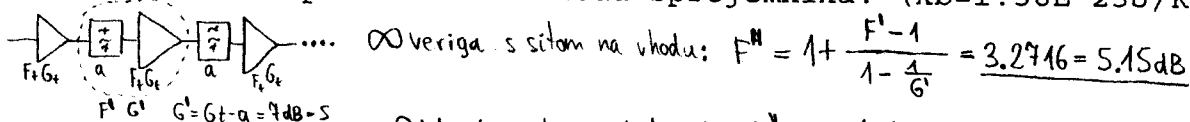
$$t_{\text{max}} = t_a + \frac{l}{c} = 85.3180\text{ms}$$

1. Vremenski satelit oddaja na frekvenci $f=1707\text{MHz}$ z efektivno izsevano močjo $EIRP=1\text{W}$ v smeri zemeljske postaje. Izračunajte razmerje signal/šum $S/N=?$ v decibelih v sprejemniku z anteno z dobitkom $G=20\text{dBi}$, skupno šumno temperaturo $T=150\text{K}$ in pasovno širino $B=30\text{kHz}$. Razdalja satelit-sprejemnik znaša $d=3000\text{km}$. ($c=3E+8\text{m/s}$, $k_B=1.38E-23\text{J/K}$)

$$P_s = P_o G_o G \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = 2.17 \cdot 10^{-15} \text{W} ; P_n = B k_B T = 6.21 \cdot 10^{-17} \text{W}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0.17597 \text{m} ; G = 20\text{dBi} = 100 ; S/N = 10 \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n} \right) = 15.44 \text{dB}$$

2. Izračunajte šumno število sprejemnika $F=?$, ki ga gradimo s tranzistorji s šumnim številom $F_t=3.5\text{dB}$ in ojačenjem $G_t=8\text{dB}$! Da preprečimo ojačevanje širokopasovnega šuma, moramo med ojačevalne stopnje vgraditi pasovna sita, ki vnašajo slabljenje $a=1\text{dB}$ ter se nahajajo na sobni temperaturi $T_o=293\text{K}$. Pasovno sito ni potrebno na vходу sprejemnika! ($k_B=1.38E-23\text{J/K}$)



$$F^N = 1 + \frac{F^1 - 1}{1 - \frac{1}{G^1}} = 3.2716 = 5.15\text{dB}$$

$$F = F_t + a = 4.5\text{dB} = 2.8184$$

$$\text{Odstranimo sito na vходу; } F = F^N - a = 4.15\text{dB}$$

3. Na UKV radijskem sprejemniku (frekvenčna modulacija) slišimo motnjo na frekvenci $f_m=101.2\text{MHz}$, ki vsebuje modulacijo treh različnih radijskih oddajnikov. Zato sklepamo, da motnjo povzroča intermodulacijsko popačenje tretjega reda v vhodnih stopnjah sprejemnika. Prva dva oddajnika najdemo na frekvencah $f_1=99.8\text{MHz}$ in $f_2=100.2\text{MHz}$. Na kateri frekvenci $f_3=?$ oddaja tretji oddajnik? Poiščite vse rešitve naloge!

$$f_m = f_1 + f_2 - f_3^I \rightarrow f_3^I = f_1 + f_2 - f_m = 98.8 \text{MHz}$$

$$f_m = f_1 - f_2 + f_3^{II} \rightarrow f_3^{II} = -f_1 + f_2 + f_m = 101.6 \text{MHz}$$

$$f_m = -f_1 + f_2 + f_3^{III} \rightarrow f_3^{III} = f_1 - f_2 + f_m = 100.8 \text{MHz}$$

4. Oddajnik na satelitu in sprejemnik na Zemlji sta opremljena z antenama z linaerno polarizacijo. Zaradi počasnega stabilizacijskega vrtenja satelita pride do globokih presihov sprejema. Kolikšno rezervo moči $a=?$ (v decibelih) potrebuje takšna radijska zveza, da izguba podatkov ne preseže $P_{izgube}=1\%$?

$$a = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{max}}}{P} \right) = -20 \log_{10} (\sin(\omega t)) = -20 \log_{10} \left(\sin \left(\frac{\pi}{2} P_{\text{izgube}} \right) \right) = 36.08 \text{dB}$$

$$\frac{P_s}{P_{\text{max}}} = \sin^2(\omega t) ; \omega t = \frac{\pi}{2} P_{\text{izgube}}$$

5. Satelit oddaja na frekvenci $f=22\text{GHz}$, ki ustreza absorpcijskemu vrhu vodnih hlapov. Dodatno slabljenje tik nad zemeljsko površino znaša $a=0.2\text{dB/km}$, delni tlak vodne pare pa upade na vrednost $1/e$ na višini $h=1.5\text{km}$. Kolikšna je najnižja elevacija satelita nad obzorjem $\alpha=?$, da dodatno slabljenje ne preseže vrednosti $a_{\text{max}}=10\text{dB}$?

$$l = \frac{a_{\text{max}}}{a} = 50 \text{km} \quad \alpha = \arcsin \frac{h}{l} = 0.03 \text{rd} = 1.72^\circ$$

1. Izračunajte povprečno moč $\langle P \rangle = ?$ signala mobilne telefonije s kodnim multipleksom (CDMA), če na zaslonu spektralnega analizatorja vidimo spekter širine $B=4\text{MHz}$ z ravnim temenom in strmimi boki! Na osrednji frekvenci $f_0=2150\text{MHz}$ odčitamo $P_0=-22\text{dBm}$ na amplitudni skali sprektalnega analizatorja. Medfrekvenčno pasovno širino spektralnega analizatorja nastavimo na $B_{mf}=100\text{kHz}$, video sito za logaritemskim detektorjem pa na $B_v=1\text{kHz}$.

$$\langle P \rangle = P_0 + 10 \log_{10} \frac{B}{B_{mf}} + 2.51 \text{dB} = -22 \text{dBm} + 10 \log_{10} \frac{4 \cdot 10^6 \text{Hz}}{10^5 \text{Hz}} + 2.51 \text{dB} =$$

$$= -22 \text{dBm} + 16.02 \text{dB} + 2.51 \text{dB} = \underline{\underline{-3.47 \text{dBm} = 445 \mu\text{W}}}$$

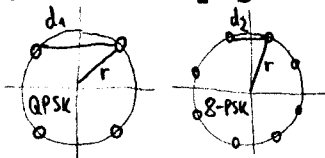
2. Sprejemnik ima šumno število $F=5\text{dB}$ in pasovno širino $B=200\text{kHz}$ na osrednji frekvenci $f=100\text{MHz}$. Moč presečne točke IMD tretjega reda znaša $P_{IP3}=-10\text{dBm}$ na vhodnih sponkah sprejemnika. Pri kateri jakosti vhodnega signala $P=?$ (v dBm) bo moč intermodulacijskih produktov enaka moči toplotnega šuma $P_{ind}=P_n$? Šumna temperatura antene je enaka temperaturi okolice $T_a=T_0=293\text{K}$. ($k_B=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$T = T_0 \cdot (10^{\frac{F}{10}} - 1) = 633.5 \text{K} \quad P_n = B k_B (T_a + T) = 2 \cdot 10^5 \text{Hz} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K} \cdot 926.5 \text{K} = 2.56 \cdot 10^{-15} \text{W}$$

$$P_n = P_{ind} = 2.56 \cdot 10^{-15} \text{W} = -145.9 \text{dBm} \quad P_{\text{dBm}} = \frac{1}{3} (P_{IP3} + 2P_n) = -45.3 \text{dBm} = \underline{\underline{29.4 \text{nW}}}$$

$$P_{ind} [\text{dBm}] = 3P_{IP3} [\text{dBm}] - 2P_n [\text{dBm}]$$

3. Zmogljivost sistema mobilnih zvez s štirifazno modulacijo QPSK (naprimer GSM) želimo povečati z uporabo simetrične osemfazne modulacije 8-PSK (nadgradnja EDGE). Za koliko decibelov $a=?$ moramo povečati razmerje signal/(šum+motnje), da ostane pogostnost napak nespremenjena?



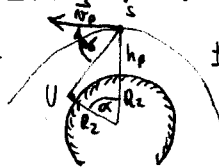
$$a = 20 \log \frac{d_1}{d_2} = 20 \log \frac{2r \sin 45^\circ}{2r \sin 22.5^\circ} = 20 \log \frac{\sin 45^\circ}{\sin 22.5^\circ} = \underline{\underline{5.33 \text{dB}}}$$

4. Satelit Molnija se nahaja v eliptični tirnici z višino perigeja $h_p=1000\text{km}$ in višino apogeja $h_a=36000\text{km}$ nad zemeljsko površino. Kolikšen največji Doppler-jev pomik frekvence $\Delta f=?$ zazna opazovalec na Zemlji, ko satelit v perigeju oddaja na frekvenci $f_0=4\text{GHz}$? Vrtenje Zemlje zanemarimo. ($R_z=6378\text{km}$, $u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$a = (h_p + h_a + 2R_z) / 2 = 24878 \text{km}$$

$$r_p = h_p + R_z = 7378 \text{km}$$

$$v_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a} \right)} = 9593 \text{m/s}$$



$$\pm \Delta f_{\text{max}} = f_0 \cdot \frac{v_p \cos \alpha}{c} = f_0 \cdot \frac{v_p}{c} \cdot \frac{R_z}{R_z + h_p}$$

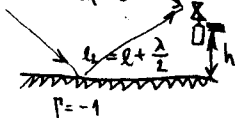
$$\pm \Delta f_{\text{max}} = 4 \text{GHz} \cdot \frac{9593 \text{m/s}}{3 \cdot 10^8 \text{m/s}} \cdot \frac{6378 \text{km}}{7378 \text{km}} = \underline{\underline{110.57 \text{kHz}}}$$

5. Radionavigacijski GPS sprejemnik na frekvenci $L_1=1575.42\text{MHz}$ moti odboj od tal. Kolikšen je pogrešek $dl=?$ pri meritvi razdalje do satelita, ki ravno vzhaja nad obzorjem, v trenutku, ko doseže jakost signala svoj prvi maksimum? Odbojnost tal za nizke vpadne kote znaša $\Gamma=-1$ ne glede na polarizacijo. Sprejemnik se nahaja na višini $h=1\text{m}$ nad tlemi in upošteva povprečni čas prihoda neposrednega in odbitega žarka.

$$(c=3\text{E}+8\text{m/s})$$

$$l_1 = l_2$$

$$\Gamma = -1 \rightarrow l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{f_{L1}} = 9.52 \text{cm} \quad dl = \frac{1}{2} (l_2 - l_1) = \underline{\underline{4.76 \text{cm}}}$$



1. Izračunajte moč oddajnika na krovu televizijskega satelita $P_o=?$, ki je opremljen z anteno z dobitkom $G_o=30\text{dBi}$. Satelit je oddaljen $d=40000\text{km}$ od sprejemnika na Zemlji, ki ima anteno z dobitkom $G_s=35\text{dBi}$ in šumno temperaturo $T_a=70\text{K}$. Sprejemnik ima šumno število $F=0.8\text{dB}$ in pasovno širino $B=36\text{MHz}$, kjer hočemo razmerje signal/šum $S/N=15\text{dB}$. ($f=12\text{GHz}$, $k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $T_o=293\text{K}$)

$$T_s = T_o(10^{\frac{F}{10}} - 1) = 59.2\text{K}; \quad \lambda = \frac{c}{f} = 2.5\text{cm} \quad P_o = \frac{P_s}{G_s G_o} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 259.6\text{W}$$

$$P_n = B k_b (T_a + T_s) = 6.42 \cdot 10^{-14}\text{W}$$

$$S/N = 15\text{dB} = 31.6; \quad P_s = P_n \cdot S/N = 2.03 \cdot 10^{-12}\text{W}$$

$$G_o = 30\text{dBi} = 1000 \\ G_s = 35\text{dBi} = 3162$$

2. Analogni UHF TV oddajnik deluje na kanalu 37, ki mu je dodeljen frekvenčni pas 598-606MHz. Dodeljena frekvenca slikovnega nosilca je $f_s=599.25\text{MHz}$, tonskega nosilca $f_t=604.75\text{MHz}$ in barvnega nosilca $f_b=603.68\text{MHz}$. Izračunajte frekvence vseh intermodulacijskih produktov tretjega reda, ki padejo izven dodeljenega frekvenčnega pasu kanala 37! Koliko zapornih krogov $N=?$ potrebujemo za vse te signale?

$$2f_s - f_t = 593.75\text{MHz} \quad 2f_t - f_b = 605.82\text{MHz} \quad f_t + f_b - f_s = 609.18\text{MHz}$$

$$2f_t - f_s = 610.25\text{MHz} \quad 2f_b - f_t = 602.64\text{MHz}$$

$$2f_s - f_b = 594.82\text{MHz} \quad f_s + f_t - f_b = 600.32\text{MHz}$$

$$2f_b - f_s = 608.11\text{MHz} \quad f_s + f_b - f_t = 598.48\text{MHz}$$

$$N = 5 \text{ zapornih krogov}$$

3. V radijski zvezi zamenjamo običajno QPSK modulacijo s $\text{PI}/4$ -QPSK modulacijo s ciljem izboljšanja izkoristka oddajnika: običajna QPSK modulacija zahteva izhodno stopnjo v razredu "A" z izkoristkom $\eta_a=30\%$, $\text{PI}/4$ -QPSK pa omogoča uporabo izhodne stopnje v razredu "B" z izkoristkom $\eta_a'=50\%$. Kolikšna naj bo izhodna moč $\text{PI}/4$ -QPSK oddajnika $P'=?$, da bo pogostnost napak enaka kot pri QPSK oddajniku moči $P=1.5\text{W}$?

$$\text{PI}/4\text{-QPSK je enako učinkovita kot običajna QPSK} \rightarrow P' = P = 1.5\text{W}$$

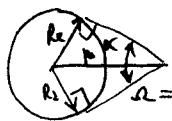
4. Satelit se nahaja v eliptični tirnici z ekscentričnostjo $e=0.5$ in periodo $T=10\text{h}$. Izračunajte najvišjo $T_{\text{amax}}=?$ in najnižjo $T_{\text{amin}}=?$ šumno temperaturo neusmerjene, brezizgubne antene na krovu satelita, če seva Zemlja kot črno telo s $T=280\text{K}$, temno nebo s $T_n=4\text{K}$ in ostale izvore šuma zanemarimo!

$$(R_z=6378\text{km}, u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2) \sin \alpha = \frac{R_z}{r} \quad T_A = \frac{\Omega T + (4\pi - \Omega) T_n}{4\pi}$$

$$a = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2} = 23565\text{km}$$

$$r_p = a(1-e) = 11482\text{km}$$

$$r_a = a(1+e) = 35347\text{km}$$



$$\Omega = 2\pi(1-\cos \alpha)$$

$$\Omega_p = 1.0002\text{srd}$$

$$\Omega_a = 0.1031\text{srd}$$

$$\Omega = 2\pi \left[1 - \frac{r^2 - R_z^2}{r^2} \right]$$

$$T_p = T_{\text{amax}} = 25.94\text{K}$$

$$T_a = T_{\text{amin}} = 6.27\text{K}$$

5. Radionaviacijski GPS sprejemnik je opremljen z neusmerjeno anteno, zato ga moti odboj od tal. Določite največjo odbojnost tal $\Gamma_a=?$, ki še omogoča sprejem vseh vidnih GPS satelitov! Vsi GPS sateliti oddajajo na isti frekvenci $f=1575.42\text{MHz}$ z uporabo CDMA, uporabljeni nabor razširitvenih kod pa dopušča največji razpon moči različnih signalov $P_{\text{max}}/P_{\text{min}}=17\text{dB}$.

$$\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{min}}} = 17\text{dB} = 50 = \left(\frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \right)^2 \rightarrow |\Gamma| = \frac{\sqrt{50}-1}{\sqrt{50}+1} = 0.752$$

1. Izračunajte potrebno moč $P_0 = ?$ radiodifuznega oddajnika na frekvenci $f = 99 \text{ MHz}$, ki oddaja FM zvok z najvišjo frekvenco $f_z = 15 \text{ kHz}$ in kolebom $\Delta f = \pm 75 \text{ kHz}$. Uporabnik ima sprejemnik s šumno temperaturo $T_s = T_0 = 293 \text{ K}$ in neusmerjeno anteno $G_s = 1$ ter zahteva (nizkofrekvenčno) razmerje signal/šum = 60 dB . Oddajnik ima anteno z dobitkom $G_0 = 7 \text{ dBi}$, radijska zveza nima ovir na razdalji $d = 50 \text{ km}$. ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$) $G_0 = 7 \text{ dBi} = 5$

$$m = \frac{\Delta f}{f_z} = 5 \quad \left(\frac{S}{N}\right)_R = \left(\frac{S}{N}\right)_T \frac{1}{3 \text{ m}^2} = 10^6 \frac{1}{3 \cdot 25} = 13333 \quad P_0 = \frac{P_s}{G_0 G_s} \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = 0.167 \text{ W}$$

$$B_R = 2f_z + 2\Delta f = 180 \text{ kHz} \quad T_A = T_S = T_0 = 293 \text{ K}$$

$$P_N = B_R k_B (T_A + T_S) = 1.956 \cdot 10^{-15} \text{ W} \quad P_s = P_N \left(\frac{S}{N}\right)_R = 1.944 \cdot 10^{-11} \text{ W} \quad \lambda = \frac{c}{f} = 3.03 \text{ m}$$

2. Šumno število ojačevalnika znaša $F' = 1.5 \text{ dB}$ takoj po vklopu in naraste na $F = 1.8 \text{ dB}$, ko se polprevodniki v notranjosti segrejejo na delovno temperaturo. Za koliko se segreje notranjost ojačevalnika $\Delta T = ?$, če znaša temperatura okolice $T_0 = 290 \text{ K}$ in je šum ojačevalnika premosorazmeren temperaturi njegovih sestavnih delov?

$$T = T_0 (10^{\frac{F}{10}} - 1) \quad \frac{T}{T'} = \frac{T_0 + \Delta T}{T_0} \rightarrow \Delta T = T_0 \left(\frac{T}{T'} - 1\right) = 71 \text{ K}$$

$$T' = 119.64 \text{ K}$$

$$T = 148.93 \text{ K}$$

3. Teoretska zmogljivost CDMA sistema mobilnih zvez znaša $N = 100$ uporabnikov zaradi nepopolne ortogonalnosti razširitvenih zaporedij. Izračunajte zmogljivost sistema $N' = ?$, ko v izhodnih stopnjah oddajnikov uporabimo ojačevalnike s $P_{IP3} = 40 \text{ dBm}$ pri izhodni moči $P_{LIN} = 32 \text{ dBm}$ in se intermodulacijski produkti pojavijo kot dodatne motnje v uporabljenem frekvenčnem pasu širine $B = 5 \text{ MHz}$!

$$P_{IP3} = 40 \text{ dBm} = 10 \text{ W} \quad P_{IM3} = \frac{P_{LIN}^3}{P_{IP3}^2} = 39.8 \text{ mW}$$

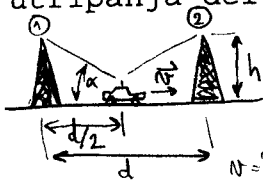
$$P_{LIN} = 32 \text{ dBm} = 1.585 \text{ W} \quad \frac{N'-1}{N-1} = \frac{P_{LIN}}{P_{LIN} + P_{IM3}} \rightarrow N' = (N-1) \frac{P_{LIN}}{P_{LIN} + P_{IM3}} + 1 = 97.57 \rightarrow 97 \text{ uporabnikov}$$

4. Hitrost satelita v perigeju v_p je za 10% večja od hitrosti satelita v apogeju v_a ($v_p = 110\% v_a$). Izračunajte periodo tirnice satelita $T = ?$, veliko polos $a = ?$ in ekscentričnost $e = ?$, če znaša višina perigeja $h_p = 500 \text{ km}$ nad zemeljsko površino! ($R_z = 6378 \text{ km}$, $T_z = 1436 \text{ min}$, $u = 3.986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$)

$$r_p = h_p + R_z = 6878 \text{ km} \quad a = \frac{1}{2}(r_p + r_a) = 7222 \text{ km} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = 6108 \text{ s} = 1 \text{ h } 41 \text{ min } 48 \text{ s}$$

$$r_p = a - f = a - ea \quad \text{II. KZ: } r_p v_p = r_a v_a \rightarrow r_a = r_p \frac{v_p}{v_a} = r_p \cdot 1.1 = 7566 \text{ km} \quad e = \left(1 - \frac{r_p}{a}\right) = 0.048$$

5. Dva oddajnika sta postavljena tik ob cesti na razdalji $d = 300 \text{ m}$ na stolpova višine $h = 30 \text{ m}$. Oba oddajnika oddajata na isti frekvenci $f = 2 \text{ GHz}$. Sprejemnik na krovu avtomobila, ki se pelje po cesti s hitrostjo $v = 72 \text{ km/h}$, zazna utripanje zaradi interference obeh oddajnikov. Izračunajte najvišjo frekvenco utripanja $\Delta f_{\text{max}} = ?$ in kje se to zgodi? ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)



$$\Delta f_1 = f \frac{v \cos \alpha}{c_0}$$

$$\Delta f = \Delta f_1 - \Delta f_2 = 2f \frac{v \cos \alpha}{c_0} = 2f \frac{v}{c_0} \frac{d/2}{\sqrt{(d/2)^2 + h^2}}$$

$$\Delta f_2 = -f \frac{v \cos \alpha}{c_0}$$

$$\Delta f = 261.5 \text{ Hz} \text{ točno sredi oddajnikov (d/2)}$$

$$v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$$

1. Izračunajte spektralno učinkovitost televizijskega oddajnika $C/B=?$, ki zaseda frekvenčni pas širine $B=6\text{MHz}$! Črnobela televizijska slika ima 510 uporabnih vrstic in 680 točk v vsaki vrstici. Hitrost oddaje znaša 30 slik v sekundi. Analogni TV oddajnik zagotavlja razmerje signal/šum $S/N=54\text{dB}$. Mrtvi čas vodoravnega in pokončnega povratka vzamemo kot izgubo modulacije.

$$N_{\text{bitov}} = \frac{S/N [\text{dB}]}{6 \text{ dB/bit}} = 9 \text{ bit} \quad C/B = \frac{93.636 \text{ Mbit/s}}{6 \text{ MHz}} = \underline{\underline{15.606 \text{ bit/s/Hz}}}$$

$$C = 9 \text{ bit/točka} \cdot 680 \text{ točk/vrstica} \cdot 510 \text{ vrstic/slika} \cdot 30 \text{ slik/s} = \underline{\underline{93.636 \text{ Mbit/s}}}$$

2. Radijski sprejemnik s šumno temperaturo $T_s=500\text{K}$ je priključen na anteno s šumno temperaturo $T_a=T_o=293\text{K}$ preko glavne veje smernega sklopnika. Smerni sklopnik s faktorjem sklopa $a=30\text{dB}$ uporabljamo za preizkus sprejemnika (self test) s polprevodniškim šumnim izvorom, ki ima $\text{ENR}=35\text{dB}$. Izračunajte razmerje $Y=?$ (v decibelih), ki ga izmerimo na izhodu brezhibnega sprejemnika! ($B=3\text{MHz}$, $k_b=1.38\text{E-}23\text{J/K}$, $T_o=293\text{K}$)

$$\begin{array}{c} \text{ENR} \xrightarrow{F_{dB}} \xrightarrow{T_s} \boxed{a=30\text{dB}} \xrightarrow{F_{dB}} \text{RX} \xrightarrow{T_s} \\ T=T_a=293\text{K} \end{array} \quad F_{dB} = F_{dB} + a = 34.324\text{dB} \quad Y = \frac{T_s' + T_2}{T_s' + T_1} = 2.168 = 3.361\text{dB}$$

$$T_s' = T_o \cdot (10^{\frac{F_{dB}}{10}} - 1) = 792707\text{K}$$

$$F_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{T_s}{T_o} + 1 \right) = 4.324\text{dB} \quad T_1 = T_o = 293\text{K} \quad T_2 = T_o \cdot 10^{\frac{\text{ENR}}{10}} = 926547\text{K}$$

3. V sistemu mobilne telefonije se presih podreja Rayleigh-ovi statistiki. Verjetnost izpada zveze znaša $P_{\text{izpada}}=1\%$, povprečna jakost motenj pa je enaka moči toplotnega šuma. Kolikšno verjetnost izpada $P_{\text{izpada}}=?$ dobimo, če podvojimo moči vseh oddajnikov?

$$P_{\text{izpada}} = 1 - e^{-\frac{P_{\text{min}}}{\langle P_s \rangle}} \approx \frac{P_{\text{min}}}{\langle P_s \rangle} \quad \langle P_s \rangle = 2 \langle P_s \rangle \quad P_{\text{izpada}}' = \frac{P_{\text{min}}}{\langle P_s \rangle'} = \frac{3/2 P_{\text{min}}}{2 \langle P_s \rangle} = \frac{3}{4} P_{\text{izpada}}$$

$$P_{\text{min}} = \left(\frac{S}{N} \right) \cdot (P_{\text{motenj}} + P_{\text{šuma}}) \quad P_{\text{motenj}} = 2 P_{\text{motenj}} \quad P_{\text{izpada}} = 0.75\%$$

$$P_{\text{min}} = \frac{3}{2} \cdot P_{\text{min}}$$

4. Izračunajte potrebni $\Delta v=?$, da vesoljsko plovilo ubeži težnostnemu polju Zemlje! Plovilo izstrelimo iz ekvatorja in kar se da izkoristimo hitrost vrtenja Zemlje. Trenje v zemeljskem ozračju zanemarimo. ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$)

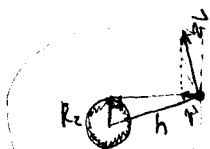
$$v_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)} = \sqrt{\frac{2\mu}{R_z}} = 11.18 \text{ km/s} \quad \Delta v = v_p - v = 10715 \text{ m/s}$$

$$r = R_z \quad a = \infty \quad v_z = \frac{2\pi R_z}{T_z} = 465 \text{ m/s}$$

5. Izračunajte širino frekvenčnega pasu $\Delta f=?$, v katerem išče uklenitev GPS sprejemnik na frekvenci $L_1=1575.42\text{MHz}$! Sateliti GPS krožijo v tirnicah na višini $h=20400\text{km}$ nad površino Zemlje s hitrostjo $v=3.9\text{km/s}$. Odstopanje frekvence oddajnikov je zanemarljivo majhno, relativno odstopanje frekvence sprejemnika pa znaša $\pm 2.5\text{E-}6$. Vrtenje Zemlje zanemarimo ($R_z=6378\text{km}$)

$$n' = n \frac{R_z}{R_z + h} \quad \Delta f = f_0 \left(\frac{2v^2}{c^2} + 2x \right) = 1575.42 \text{ MHz} \left(6.193 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6} \right)$$

$$v = 929 \text{ m/s} \quad \Delta f = 17.63 \text{ kHz}$$



1. Izračunajte zmogljivost satelitske zveze $C=?$, če se satelit nahaja na oddaljenosti $d=40000\text{km}$ in razpolaga z oddajnikom moči $P_0=30\text{W}$ ter anteno dobitka $G_0=40\text{dBi}$. Sprejemnik ima anteno premera $2r_s=50\text{cm}$ in izkoristkom osvetlitve $\eta=75\%$. Skupna šumna temperatura antene in sprejemnika znaša $T=120\text{K}$, izguba demodulatorja pa $a=4\text{dB}$. Kolikšna je spektralna učinkovitost $C/B=?$, če ima pretvornik na krovu satelita pasovno širino $B=80\text{MHz}$? ($k_B=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$, $f_0=12\text{GHz}$)

$$P_s = P_0 G_0 \frac{\pi r_s^2 \eta}{4\pi d^2} = \underline{2.2\text{pW}} \quad \begin{array}{l} a = 4\text{dB} = 2.5 \\ G_0 = 40\text{dBi} = 10^4 \end{array}$$

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{a B k_B T} \right) = \underline{234.6\text{Mbit/s}} \quad \underline{C/B = 2.93\text{bit/s/Hz}}$$

2. Na izhodu ojačevalnika izmerimo moč $P_{\text{im}5}$, ki je $a=10$ -krat manjša od $P_{\text{im}3}$. Intermodulacijsko popačenje nastane iz dveh enako močnih signalov na frekvencah $f_1=99\text{MHz}$ in $f_2=101\text{MHz}$. Moči presečnih točk ojačevalnika znašata $P_{\text{ip}3}=+25\text{dBm}$ in $P_{\text{ip}5}=+22.5\text{dBm}$. Izračunajte moči vseh signalov $P_{\text{lin}}=?$, $P_{\text{im}3}=?$ in $P_{\text{im}5}=?$ na izhodu ojačevalnika! $a=10\text{krat} = 10\text{dB}$

$$P_{\text{im}3} = 3P_{\text{lin}} - 2P_{\text{ip}3}$$

$$P_{\text{im}5} = 5P_{\text{lin}} - 4P_{\text{ip}5} = P_{\text{im}3} - 10\text{dB}$$

$$5P_{\text{lin}} - 4P_{\text{ip}5} = 3P_{\text{lin}} - 2P_{\text{ip}3} - 10\text{dB}$$

$$\rightarrow 2P_{\text{lin}} = 4P_{\text{ip}5} - 2P_{\text{ip}3} - 10\text{dB} \rightarrow P_{\text{lin}} = 2P_{\text{ip}5} - P_{\text{ip}3} - 5\text{dB} = \underline{+15\text{dBm}}$$

$$P_{\text{im}3} = -5\text{dBm} = \underline{316\mu\text{W}}$$

$$= \underline{31.6\text{mW}}$$

$$P_{\text{im}5} = -15\text{dBm} = \underline{31.6\mu\text{W}}$$

3. Določite domet bazne postaje $r=?$ sistema mobilne telefonije na osrednji frekvenci $f=450\text{MHz}$! Domet omejujejo motnje zaradi ponavljanja istega radiofrekvenčnega kanala na razdalji $d=10\text{km}$. Vse bazne postaje so opremljene z enakimi neusmerjenimi antenami na višini $h_0=30\text{m}$. Sprejemniki zahtevajo razmerje signal/motnja $=12\text{dB}$ in še dodatno rezervo $a=20\text{dB}$ za presih. Ovire na poti slabijo signal z $N=4.5$ potenco razdalje.

$$S/N + a = \underline{32\text{dB} = 1585} = \left(\frac{d-r}{r} \right)^N$$

$$\frac{d-r}{r} = \sqrt[N]{1585} = \underline{5.14}$$

$$d = 6.14r \rightarrow \underline{r = 1.628\text{km}}$$

4. Satelit se nahaja v polarni ($i=90$ stopinj) eliptični tirnici z apogejem na višini $h_a=36000\text{km}$ nad severnim tečajem in perigeje na višini $h_p=1000\text{km}$ nad južnim tečajem. Čez koliko dni $t=?$ se tirnica zasuka tako, da bo apogej nad južnim tečajem? ($R_Z=6378\text{km}$, $u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $T_Z=1436\text{min}$) $\gamma_2 = 1.08263 \cdot 10^{-3}$

$$a = R_Z + \frac{h_a + h_p}{2} = \underline{24878\text{km}}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{3}{4} n \left(\frac{R_Z}{a} \right)^2 \frac{5\cos^2 i - 1}{(1-e^2)^2} \gamma_2 = \underline{-0.002907\text{rd/dan}}$$

$$n = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} = \underline{1.609 \cdot 10^{-4}\text{rd/s} = 13.9\text{rd/dan}}$$

$$t = \frac{-\pi}{\frac{d\omega}{dt}} = \underline{1081\text{dni}}$$

$$e = 1 - \frac{h_p + R_Z}{a} = \underline{0.4034}$$

5. Sekundarni radar na letališču ima anteno s širino glavnega snopa $\alpha=5$ stopinj na frekvenci $f_1=1030\text{MHz}$. Radarski odzivnik nakrovu letala odgovarja radarju na frekvenci $f_2=1090\text{MHz}$ z odgovori trajanja $t=25$ mikrosekund. Na kateri oddaljenosti $d=?$ je ločljivost radarja po smeri enaka ločljivosti po razdalji, ki jo določa trajanje odgovora odzivnikov? ($C=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$\Delta = \frac{c \cdot t}{2} = \underline{3750\text{m}} \quad \alpha = 5^\circ = \underline{0.0873\text{rd}} \quad \Delta = d\alpha \rightarrow d = \frac{\Delta}{\alpha} = \underline{43\text{km}}$$

=====

1. Robot na Marsu ima vgrajeno baterijo za enkratno uporabo z napetostjo $U=28V$ in zmogljivostjo $Q=10Ah$. Koliko bitov informacije $I=?$ lahko odda robot na Zemljo z neusmerjeno anteno na frekvenci $f=8.4GHz$ in oddajnikom z izkoristkom $\eta=30\%$? Zemeljska sprejemna postaja na oddaljenosti $d=100$ milijonov km ima sprejemno anteno z efektivno površino $A_{eff}=500m^2$ in skupno šumno temperaturo antene in sprejemnika $T=50K$. Izgube demodulatorja znašajo $\alpha=4dB$. ($k_B=1.38E-23J/K$)

$$P_s = \frac{P_o}{4\pi d^2} A_{eff}; P_o = \eta P_e; P_e = \frac{W}{t} = \frac{QU}{t}; \alpha = 4dB = 2.5, Q = 10Ah = 36000As$$

$$C = \frac{P_s}{k_B T \ln 2}, I = Ct = \frac{\eta QU A_{eff}}{k_B T \ln 2 4\pi d^2} = \underline{1.006 \cdot 10^6 \text{ bitov}}$$

$B \rightarrow \infty$

2. Ojačevalnik sestavimo iz dolge verige MMIC gradnikov, ki imajo ojačenje $G=9dB$, šumno število $F=6dB$ in moč presečne točke $P_{IP3}=+20dBm$ pri vhodni in izhodni impedanci $Z_k=50ohm$. Izračunajte šumno število $F'=?$ in moč presečne točke $P_{IP3}'=?$ neskončno doolge verige! ($k_B=1.38E-23J/K, T_o=293K$)

$$G = 9dB = 8; F = 6dB = 4; P_{IP3} = +20dBm = 0.1W$$

$$F' = 1 + \frac{F-1}{1-1/G} = 4.43 = 6.46dB; P_{IP3}' = P_{IP3} \left(1 - \frac{1}{G}\right) = 87.5mW = 19.4dBm$$

3. Mobilno omrežje ima $N=1000$ uporabnikov in Rayleigh-ovo statistiko presiha. Pri moči uporabniških terminalov $P_o=1W$ je moč toplotnega šuma enaka moči motenj ostalih udeležencev in znaša verjetnost izpada zveze $P_{izpada}=1\%$. Koliko uporabnikov $N'=?$ lahko sprejme isto omrežje, če moči terminalov povečamo na $P_o'=3W$ in naj ostane verjetnost izpada zveze enaka?

$$P_s = \alpha P_o; P_s' = \alpha P_o'; \left(\frac{S}{N}\right) = \frac{P_s}{P_m + P_n} = \frac{P_s'}{P_m' + P_n'} \rightarrow \frac{1}{2N-2} = \frac{3}{3N'+N-4}$$

$$P_m = b(N-1)P_s = P_n; \frac{\alpha P_o}{b(N-1)\alpha P_o + b(N-1)\alpha P_o} = \frac{\alpha 3P_o}{b(N'-1)\alpha 3P_o + b(N-1)\alpha P_o}; N' = \frac{5N-2}{3} = \underline{1666}$$

$$P_m' = b(N'-1)P_s'; P_o' = 3P_o$$

4. Izračunajte periodo $T=?$ tirnice satelita, ki ima na višini $h=1500km$ nad površino Zemlje hitrost $v=8km/s$ v mirujočem koordinatnem sistemu. Sploščenost Zemlje na tečajih zanemarimo. Pri kateri ekscentričnosti $e=?$ se tirnica dotakne gornjih plasti ozračja na $h_p=300km$? ($R_z=6378km, u=3.986E+14m^3/s^2, T_z=1436min$)

$$W = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{\mu m}{r} = -\frac{\mu m}{2a}; r = R_z + h = 7878km; r_p = a - f = a(1-e)$$

$$e = 1 - \frac{r_p}{a} = 1 - \frac{R_z + h_p}{a}$$

$$a = \frac{1}{\frac{2}{r} - \frac{v^2}{\mu}} = 10717km; T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = 11041s = 3.067h; e = 0.377$$

5. Določite odstopanje $\Delta t=?$ izračunanega položaja GPS uporabniškega sprejemnika, ko odboji v neposredni okolici sprejemne antene doprinesejo časovno napako $\Delta t=33ns$. Faktor GDOP znaša $GDOP=2.71$, pogreški troposfere, ionosfere in satelitske oddaje so za nekaj velikostnih razredov manjši in jih lahko zanemarimo. ($c=3E+8m/s, L1=1575.42MHz, L2=1227.6MHz$)

$$\Delta r = GDOP \cdot c \cdot \Delta t = \underline{26.8m}$$

1. Kolikšno največje razmerje signal/(šum+motnje)=? (v dB) lahko dosežemo na izhodu ojačevalnika, ki ima šumno število $F=10\text{dB}$, ojačenje $G=60\text{dB}$ in presečno točko $P_{IP3}=+20\text{dBm}$ v pasovni širini $B=100\text{MHz}$? Šumna temperatura izvora je enaka referenčni temperaturi $T_i=T_o=293\text{K}$. ($k_B=1.38\text{E}-23\text{J/K}$)

$$P_N = G B k_B (T + T_i) = G B k_B T_o 10^{\frac{F}{10}} = 4.04 \mu\text{W}; G = 60\text{dB} = 10^6; P_{IP3} = +20\text{dBm} = 100\text{mW}$$

$$\frac{S}{(N+1)} = \frac{P_s}{P_n + P_{IPD}} = \frac{P_s}{P_n + P_s^3/P_{IP3}^2}; 0 = \frac{d(S/(N+1))}{dP_s} = \frac{P_n + P_s^3/P_{IP3}^2 - P_s \cdot 3P_s^2/P_{IP3}^2}{(P_n + P_s^3/P_{IP3}^2)^2} \rightarrow P_n = 2P_s^3/P_{IP3}^2 \rightarrow P_s = \sqrt[3]{P_n P_{IP3}^2/2} = 2.72\text{mW}$$

$$\frac{S}{(N+1)} = \frac{2}{3} \sqrt[3]{\frac{P_{IP3}^2}{2P_n}} = 44.9 = 26.5\text{dB}$$

2. Kolikšna je šumna temperatura sprejemnika $T_s=?$, če znaša šumna temperatura celotnega sistema $T=350\text{K}$? Antena ima rotacijsko simetričen smerni diagram, je usmerjena v obzorje ter povezana na sprejemnik z vodom z $a=1\text{dB}$ izgub. Povprečna šumna temperatura neba znaša $T_n=25\text{K}$, šumna temperatura tal in izgubnega voda pa sta enaki referenčni temperaturi $T_o=293\text{K}$.

$$T_A = \frac{T_n + T_o}{2} = 159\text{K} \quad F_s' = 10 \log_{10} \left(\frac{T_s'}{T_o} + 1 \right) = 2.18\text{dB}$$

$$T_s' = T - T_A = 191\text{K} \quad F_s = F_s' - a_{\text{dB}} = 1.18\text{dB} \quad T_s = T_o (10^{\frac{F_s}{10}} - 1) = 91.5\text{K}$$


3. V radijski zvezi z Rayleigh-ovo statistiko znaša povprečna moč v sprejemniku $\langle P_s \rangle = -70\text{dBm}$. Kolikšna je verjetnost $P=?$, da moč sprejetega signala preseže $P_s = -65\text{dBm}$?

Rayleigh: $p(P_s) = \frac{1}{\langle P_s \rangle} e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}}$

$$\langle P_s \rangle = -70\text{dBm} = 100\text{pW}$$

$$P_s = -65\text{dBm} = 316\text{pW} \quad P = \int_{P_s}^{\infty} p(P_s) dP_s = e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}} = e^{-\frac{316\text{pW}}{100\text{pW}}} = 0.04233 = 4.233\%$$

4. Satelit v krožni tirnici na višini $h=1200\text{km}$ je opremljen z oddajnikom na frekvenci $f=1.6\text{GHz}$ in neusmerjeno anteno $G_o=1$. Uprabniški sprejemnik na Zemlji ima prav tako neusmerjeno anteno $G_s=1$ in zahteva moč sprejetega signala vsaj $P_{\text{min}}=-90\text{dBm}$. Kolikšna mora biti moč oddajnika $P_o=?$ na krovu satelita? Kolikšna je jakost sprejema $P_s=?$, ko je satelit v zenitu uporabnika? ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)



$$P_{\text{min}} = -90\text{dBm} = 1\text{pW} \quad P_o = \frac{P_s}{G_o G_s} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 75.2\text{kW}$$

$$d = \sqrt{(R_1 + h)^2 - R_1^2} = 4092\text{km}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0.182\text{m} \quad P_s = P_{\text{min}} \left(\frac{d}{h} \right)^2 = 11.6\text{pW} = -79.3\text{dBm}$$

5. Radionavigacijski satelit ima izvedeno stabilizacijo lege z vrtenjem z $n=150\text{vrt/min}$. Kolikšno odstopanje frekvence $\Delta f=?$ občuti uporabnik v smeri osi vrtenja pri meritvi Doppler-jevega pojava na frekvenci nosilca $f_o=150\text{MHz}$? Satelit je opremljen s krožno polarizirano anteno, enako uporabnik na Zemlji. ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$\Delta f = n = 150\text{vrt/min} = 2.5\text{Hz}$$

1. Domet med dvema ročnima radijskima postajama moči $P_0=2W$ na frekvenci $f=150MHz$ omejuje predvsem uničujoča interferenca odboja od tal na vrednost $d=10km$. Izračunajte domet $d'=?$ v istih razmerah, če moč oddajnikov povečamo na $P_0'=5W$ in frekvenco znižamo na $f'=85MHz$. Dobitka anten in toplotni šum ostanejo nespremenjeni!

$$P_s = P_0 G_0 G_s \frac{h_0^2 h_s^2}{d^4} \longrightarrow \frac{P_0}{P_0'} = \frac{d^4}{(d')^4}; d' = d \sqrt[4]{\left(\frac{P_0'}{P_0}\right)} = \underline{\underline{12.6km}}$$

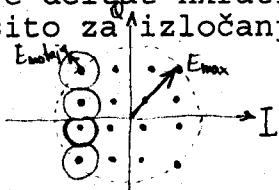
2. Sprejemna veriga vsebuje tri enake ojačevalnike z ojačenjem $G_0=10dB$, šumnim številom $F_0=3dB$ in presečno točko tretjega reda $P_{IP30}=+15dBm$. Med prvi in drugi ojaševalnik ter med drugi in tretji ojačevalnik vstavimo dve pasovni siti z osrednjo frekvenco $f=900MHz$, pasovno širino $B=30MHz$ ter vstavitvenim slabljenjem $a=3dB$. Izračunajte ojačenje $G=?$, šumno število $F=?$ in presečno točko tretjega reda $P_{IP3}=?$ celotne verige treh ojačevalnikov in dveh sit! Sita vsebujejo popolnoma linearne sestavne dele na sobni temperaturi $T_0=293K$.

$$G = 3G_0 - 2a = \underline{\underline{24dB}} \quad G_2 = G_3 = G - a = \underline{\underline{7dB = 5}} \quad F_2 = F_3 = F_0 + a = \underline{\underline{6dB = 4}} \quad F = F_0 + \frac{F_2-1}{G_0} + \frac{F_3-1}{G_0 G_2} = 2 + 0,3 + 0,06 = \underline{\underline{2,36 = 3,73dB}} \quad P_{IP3} = \frac{1}{\frac{1}{P_{IP30}} + \frac{1}{P_{IP30} G_2} + \frac{1}{P_{IP30} G_2 G_3}} = \frac{P_{IP30}}{1 + \frac{1}{G_2} + \frac{1}{G_2 G_3}} = \frac{P_{IP30}}{1 + 0,2 + 0,04} = \frac{31,6mW}{1,24} = \underline{\underline{25,5mW = +14dBm}}$$

3. V sistemu mobilne telefonije uporablja bazna postaja oddajnik moči $P_b=10W$, kar zagotavlja verjetnost izpada zveze $P_{iz}=3\%$ do mobilne postaje z eno samo sprejemno anteno. Zveza v obratni smeri poteka v istem frekvenčnem pasu in z enakimi antenami, le da je bazna postaja opremljena z dvema enakima sprejemnima antenama na dovolj veliki razdalji, da je presih nekoreliran. Določite moč oddajnika mobilne postaje $P_m=?$, da bo verjetnost izpada zveze v obeh smereh enaka!

$$P_{iz} = 1 - e^{-\frac{P_{min}}{P_b}} = 1 - e^{-\frac{P_{min}}{P_b} \cdot \frac{1}{P_{iz1} \cdot P_{iz2}}} = \left(1 - e^{-\frac{P_{min}}{P_m}}\right)^2 \quad P_{min} = -P_b \ln(1 - P_{iz}); P_m = \frac{-P_{min}}{\ln(1 - P_{iz}^2)} = P_b \frac{\ln(1 - P_{iz})}{\ln(1 - P_{iz}^2)} = 10W \frac{-0,03}{-0,13} = \underline{\underline{1,6W}}$$

4. Delovanje 16-QAM radijske zveze motijo odbiti valovi, toplotni šum pa je zanemarljivo majhen. Izračunajte potrebno slabljenje odbitega vala $a=?$ v decibelih, da pri prenosu ne prihaja do napak! Zakasnitev odbitega vala Δt je dosti večja od časa trajanja posameznega simbola T ($\Delta t \gg T$) in je Δt hkrati večji od tistega, kar lahko popravi sito sito za izločanje odbitih valov v sprejemniku.



$$E_{max} = 3\sqrt{2} E_{motija} \quad a = 20 \log_{10} \left(\frac{E_{max}}{E_{motija}} \right) = 20 \log_{10} 3\sqrt{2} = \underline{\underline{12.6dB}}$$

5. Satelit Molnija se nahaja v tirnici z naklonom $i=63stopinj$, višino perigeja $h_p=1000km$, višino apogeja $h_a=37000km$ in argumentom perigeja $w=270stopinj$. Izračunajte Doppler-jev pomik frekvence $\Delta f=?$ za uporabnika, ki se nahaja na zemeljskem površju točno pod satelitom v apogeju tirnice, če satelit oddaja na frekvenci $f=3.8GHz$! ($u=3.986E+14m^3/s^2$, $R_z=6378km$, $T_z=1436min$).

$$\vec{r}_s = r_s \hat{n}_s; \vec{r}_u = r_u \hat{n}_u \longrightarrow \vec{n}_s \perp \vec{r}_s, \vec{r}_u; \vec{n}_u \perp \vec{r}_s, \vec{r}_u \longrightarrow \underline{\underline{\Delta f = 0}}$$

1. Vesoljsko plovilo v bližini planeta Saturna pošilja na Zemljo slike z zmogljivostjo $C=50\text{ kbit/s}$ na frekvenci $f=8.4\text{ GHz}$. Pasovna širina oddaje znaša $B=60\text{ kHz}$, dodatna izguba zaradi neidealnosti demodulatorja in dekoderja na Zemlji pa $a=1.5\text{ dB}$. Izračunajte zmogljivost zveze $C'=?$ z enakim oddajnikom in visokofrekvenčnim delom sprejemnika ($T_a+T_s=30\text{ K}$), vendar brez izgub demodulatorja in brez omejitev pasovne širine!
($c=3E+8\text{ m/s}$, $k_b=1.38E-23\text{ J/K}$)

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad (S/N)' = S/N \cdot 10^{\log_{10} a} = 1,104$$

$$S/N = 2^{C/B} - 1 = 0,782 \quad C' = \frac{P_s}{N_0 \ln 2} = (S/N)' \frac{B}{\ln 2} = 95,59 \text{ kbit/s}$$

2. Televizijski sprejemnik ima šumno število $F_s=10\text{ dB}$. Kolikšno mora biti ojačenje $G=?$ (v dB) antenskega predojačevalnika s šumnim številom $F=3\text{ dB}$, da z vgradnjo predojačevalnika izboljšamo razmerje signal/šum za faktor 5-krat? Šumna temperatura sprejemne antene znaša $T_a=200\text{ K}$ ter izgube v kokasialnem kablju do sprejemnika $a=2\text{ dB}$. Predojačevalnik vgradimo v neposredno bližino antene. ($B=7\text{ MHz}$, $k_b=1.38E-23\text{ J/K}$, $T_0=293\text{ K}$)

$$F_s' = F_s + a = 12\text{ dB} \quad T_2 = T_1/5 = 4550,7\text{ K/S} = 910,2\text{ K} \quad T_{0j} = T_0(10^{F/10} - 1) = 291,6\text{ K}$$

$$T_3' = T_0(10^{F_s'/10} - 1) = 4350,7\text{ K} \quad T_2 = T_a + T_{0j} + \frac{T_3'}{G}$$

$$T_1 = T_a + T_3' = 4550,7\text{ K} \quad G = \frac{T_3'}{T_2 - T_a - T_{0j}} = \frac{4350,7\text{ K}}{910,2\text{ K} - 200\text{ K} - 291,6\text{ K}} = 10,393 = 10,17\text{ dB}$$

3. Močnostni ojačevalnik ima ojačenje $G=15\text{ dB}$, presečno točko IMD tretjega reda $P_{ip3}=+60\text{ dBm}$ in moč nasičenja $P_{1dB}=+45\text{ dBm}$. Določite vse tri veličine ($G'=?$, $P_{ip3}'=?$ in $P_{1dB}'=?$) za vzporedno vezavo $N=8$ enakih ojačevalnikov, če vhodne in izhodne impedance prilagodimo z brezizgubnimi transformatorji impedance!

$$G' = G = 15\text{ dB} \quad P_{ip3}' = P_{ip3} + 10 \log N = 69,03\text{ dBm}$$

$$P_{1dB}' = P_{1dB} + 10 \log N = 54,03\text{ dBm}$$

4. Izračunajte obe potrebni spremembi hitrosti $\Delta v_1=?$ in $\Delta v_2=?$ pri izstrelitvi telefonskega satelita GLOBALSTAR v krožnico na višini $h=1414\text{ km}$ z naklonom $i=52\text{ stopinj}$!

Zemljepisna širina izstrelišča ustreza naklonu tirnice, da izkoristimo vrtenje Zemlje. ($u=3.986E+14\text{ m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{ km}$, $T_z=1436\text{ min}$)

$$v_2 = \frac{2\pi R_z}{T_z} \cos i = 286,4\text{ m/s} \quad \Delta v_1 = v_p - v_2 = 8004,2\text{ m/s}$$

$$a = R_z + \frac{h}{2} = 7085\text{ km} \quad v_k = \sqrt{\mu / (R_z + h)} = 7152,3\text{ m/s}$$

$$v_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{R_z} - \frac{1}{a}\right)} = 8290,5\text{ m/s} \quad \Delta v_2 = v_k - v_a = 366,2\text{ m/s}$$

$$v_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{R_z+h} - \frac{1}{a}\right)} = 6786\text{ m/s}$$

5. Izračunajte jakosti sprejetih signalov v radarskem odzivniku na krovu letala $P_1=?$ in v sekundarnem radarju na tleh $P_2=?$ med opazovanjem potniškega letala na višini $h=12\text{ km}$ pri največjem dometu, ki ga omejuje ukrivljenost Zemlje!

Radar oddaja na frekvenci $f_r=1030\text{ MHz}$ z močjo $P_r=1.5\text{ kW}$, odzivnik pa na frekvenci $f_0=1090\text{ MHz}$ z močjo $P_0=500\text{ W}$. Radar ima usmerjeno anteno z dobitkom $G_r=21\text{ dBi}$, letalo pa anteno s krožnim pokrivanjem in dobitkom $G_0=3\text{ dBi}$. Lom radijskih valov v troposferi zanemarimo. ($R_z=6378\text{ km}$)

$$(R_z+h)^2 = d^2 + R_z^2 \quad \lambda_r = c_0/f_r = 0,291\text{ m} \quad G_r = 21\text{ dBi} = 125,9$$

$$d = \sqrt{2R_z h + h^2} = 391,4\text{ km} \quad \lambda_0 = c_0/f_0 = 0,275\text{ m} \quad G_0 = 3\text{ dBi} = 1,995$$

$$P_s = P_0 G_0 G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad G_0 G_s = 251,2$$

$$P_1 = 1,321\text{ nW} = -58,8\text{ dBm}$$

$$P_2 = 0,393\text{ nW} = -64,1\text{ dBm}$$

=====

1. Domet WLAN zveze z modulacijo 256-QAM in zmogljivostjo $C=48\text{Mbit/s}$ znaša $d=100\text{m}$ v praznem prostoru. Kolikšen bo domet zveze $d'=?$ v praznem prostoru, če znižamo zmogljivost na $C=12\text{Mbit/s}$ in uporabimo QPSK modulacijo? Največja izhodna moč oddajnika, anteni, šumno število sprejemnika ter pogostnost napak so v obeh primerih enaki. Sprejemnik je opremljen s prilagodljivim sitom za izločanje odbitih valov.

$$\left. \begin{array}{l} 256\text{-QAM } 2\text{ bitov/znak} \\ \text{QPSK } 2\text{ bita/znak} \end{array} \right\} R=6\text{Mznakov/s}$$

 v obeh primerih

$$\frac{d'}{d} = \sqrt{\frac{P'}{P}} = \sqrt{\left(\frac{M'}{M}\right)^2} = 15$$

$$d' = 15d = \underline{1,5\text{km}}$$

2. Izhodna moč visokofrekvenčnega tranzistorja upada s temperaturo $\Delta P/\Delta T = -0.03\text{dB/K}$. Ojačevalnik z enim tranzistorjem doseže $P_{\text{dB}} = +33\text{dBm}$ in $P_{\text{IP3}} = +45\text{dBm}$ ter pri tem segreje hladilno rebro na $T = 40\text{C}$. Kolikšno moč zasiženja $P_{\text{dB}}'=?$ in moč presečne točke $P_{\text{IP3}}'=?$ dosežemo z dvema tranzistorjema? Tranzistorja pritrdimo na eno samo enako hladilno rebro in povežemo vzporedno z brezizgubnimi transformatorji impedance. Odvajanje toplote je premo sorazmerno razliki temperature nad sobno temperaturo $T_0 = 25\text{C}$.

$$\Delta P = \frac{\Delta P}{\Delta T} (T - T_0) = -0.95\text{dB}$$

$$\Delta P' = 2 \frac{\Delta P}{\Delta T} (T - T_0) = -0.9\text{dB}$$

$$P_{\text{dB}}' = P_{\text{dB}} + 3.01\text{dB} + (\Delta P' - \Delta P) = \underline{+35.56\text{dBm}}$$

$$P_{\text{IP3}}' = P_{\text{IP3}} + 3.01\text{dB} + (\Delta P' - \Delta P) = \underline{+47.56\text{dBm}}$$

3. Tranzistorski ojačevalnik ima šumno število $F=3\text{dB}$, ojačenje $G=10\text{dB}$ in moč zasiženja $P_{\text{dB}} = +12\text{dBm}$. Koliko takšnih enakih ojačevalnikov $N=?$ lahko vežemo v verigo, da bo šumna moč na izhodu za vsaj $\Delta P = -10\text{dB}$ manjša od P_{dB} ? Pasovno širino ojačevalne verige omejimo z brezizgubnimi siti na $B=200\text{MHz}$ pri osrednji frekvenci $f=1.5\text{GHz}$. Vhod prve stopnje je vezan na prilagojeno breme na sobni temperaturi $T_0 = 293\text{K}$.

$$P_N = B k_B (T_A G^N + T_G^N + T_G^{N-1} + \dots + T_G) = B k_B (T_A G^N + T_G \frac{G^N - 1}{G - 1})$$

$$T = T_0 (10^{\frac{G}{10}} - 1) = \underline{291.6\text{K}}$$

$$G = 10\text{dB} = 10$$

$$N = 7 \rightarrow P_N = 17.03\text{mW}$$

$$\underline{N = 8 \rightarrow P_N = 170.3\text{mW}}$$

$$N = 9 \rightarrow P_N = 1.703\text{mW}$$

$$P_{\text{max}} = P_{\text{dB}} - 10\text{dB} = +2\text{dBm} = \underline{1.585\text{mW}}$$

4. Satelit je opremljen s telemetrijskim oddajnikom na frekvenci $f=2.2\text{GHz}$, $P=1\text{W}$ in desno-krožno polarizirano $Q_0=0$ neusmerjeno oddajno anteno. Sprejemnik na Zemlji ima desno-krožno polarizirano $Q_s=0$ anteno z dobitkom $G_s=40\text{dBi}$. Izračunajte nihanje moči v sprejemniku $\Delta P=?$ (v dB) v primeru odpovedi stabilizacije lege satelita! ($d=40000\text{km}$)

$$M = \frac{|1 + Q_0 Q_s e^{j2\alpha}|}{(1 + |Q_d|^2)(1 + |Q_s|^2)}$$

$$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{min}}} = 1$$

$$\Delta P = 10 \log_{10} \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{min}}} = \underline{0\text{dB}}$$

5. GPS satelit se nahaja v krožnici s periodo $T=11\text{h}58\text{min}$. Izračunajte najmanjšo $t_{\text{min}}=?$ in največjo $t_{\text{max}}=?$ zakasnitev radijskih signalov do uporabnika na površini Zemlje! Zemljo poenostavimo kot kroglo s polmerom $R=6378\text{km}$. Dodatno zakasnitev ter lom radijskih valov v ionosferi in troposferi zanemarimo. ($f=1.57542\text{GHz}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$, $u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$$

$$r_{\text{min}} = h = a - R = \underline{20183\text{km}} \text{ (zenit)}$$

$$r_{\text{max}} = \sqrt{a^2 - R^2} = \underline{25784\text{km}} \text{ (obzorje)}$$

$$a = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2} = \underline{26561\text{km}}$$

$$t_{\text{min}} = \frac{r_{\text{min}}}{c} = \underline{67.28\text{ms}}$$

$$t_{\text{max}} = \frac{r_{\text{max}}}{c} = \underline{85.95\text{ms}}$$

1. Mikrovalovni sprejemnik vsebuje mešalnik in medfrekvenčni ojačevalnik s skupnim šumnim številom $F_m=10\text{dB}$. Koliko $N=?$ ojačevalnih stopenj s šumnim številom $F=3\text{dB}$ in ojačenjem $G=7\text{dB}$ moramo vgraditi pred mešalnik, da skupno šumno število sprejemnika ne preseže $F_s=3.3\text{dB}$? ($T_0=293\text{K}$, $k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$)

$$T_m = T_0 \left(10^{\frac{F_m}{10}} - 1\right) = 2624\text{K} \quad T_s = T + \frac{T}{G} + \frac{T}{G^2} + \dots + \frac{T}{G^{N-1}} + \frac{T_s}{G^N}$$

$$T = T_0 \left(10^{\frac{F}{10}} - 1\right) = 292\text{K} \quad T_s = 292\text{K} + 58\text{K} + 12\text{K} + \dots$$

$$T_s = T_0 \left(10^{\frac{F_s}{10}} - 1\right) = 333\text{K}$$

$$G = 7\text{dB} = 5.012$$

$350\text{K} > 333\text{K} \rightarrow$ NALOGA JE NEIZVEDLJIVA!

2. UKV radijski sprejemnik ima šumno število $F=10\text{dB}$, pasovno širino medfrekvenca $B=230\text{kHz}$ in vhodno moč presečne točke $P_{iip3}=-10\text{dBm}$. Antena je brezizgubna s šumno temperaturo okolice $T_0=293\text{K}$. Najmočnejši od UKV oddajnikov daje na vhodnih sponkah sprejemnika signal jakosti $P_{s1}=-40\text{dBm}$. Kolikšna sme biti moč drugega UKV signala $P_{s2}=?$ na vhodnih sponkah sprejemnika, da jakost intermodulacijskih produktov ne preseže jakosti toplotnega šuma? ($k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$)

$$T_s = T_0 \left(10^{\frac{F}{10}} - 1\right) = 2637\text{K} \quad \text{če je } P_{s1} > P_{s2} \rightarrow P_N = P_{mb2} = 2P_{s1} + P_{s2} - 2P_{iip3} \text{ [vse v dBm]}$$

$$P_N = B k_b (T_A + T_s) = 9.3 \cdot 10^{-15}\text{W}$$

$$P_{s2} = P_N + 2P_{iip3} - 2P_{s1} = -50.3\text{dBm}$$

$$P_N \text{ [dBm]} = 10 \log_{10} \frac{P_N}{1\text{mW}} = -140.3\text{dBm}$$

3. Jakost radijskih motenj dobro opisuje Rayleigh-ova porazdelitev. Kolikšna sme biti povprečna moč motenj $\langle P_m \rangle = ?$ (v dBm), če zahtevanega razmerja signal/motnja $(S/N)_{\text{min}}=10\text{dB}$ ne smemo preseči v več kot $P=3\%$ odstotkih časa? Jakost koristnega signala znaša $P_s=-50\text{dBm}$.

$$P_{m, \text{max}} \text{ [dBm]} = P_s - (S/N) = -60\text{dBm} = 1\text{nW}$$

$$P = \int_{P_{m, \text{max}}}^{\infty} p(P_m) dP_m = \int_{P_{m, \text{max}}}^{\infty} \frac{1}{P_{m, \text{max}}} e^{-\frac{P_m}{P_{m, \text{max}}}} dP_m \rightarrow \langle P_m \rangle = \frac{P_{m, \text{max}}}{-\ln P} = \frac{1\text{nW}}{3.507} = 285\text{pW} = -65.45\text{dBm}$$

4. Nosilna raketa pripelje $m=2000\text{kg}$ težak tovor v prenosno eliptično tirnico. Od tu do geostacionarne tirnice moramo za prevoz poskrbeti sami z raketnim motorjem na našem satelitu, da dosežemo spremembo hitrosti $\Delta v=1.8\text{km/s}$. Kolikšna je razlika v koristnem tovoru na krovu satelita $\Delta m=?$, če raketni motor na trdo gorivo z $I_{sp1}=250\text{s}$ nadomestimo z motorjem na tekoče hipergolno gorivo z $I_{sp2}=300\text{s}$? ($g=9.81\text{m/s}^2$, $u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$)

$$N_{i1} = I_{sp1} \cdot g = 2452.5\text{m/s}$$

$$m_{t1} = m e^{-\frac{\Delta v}{N_{i1}}} = 960\text{kg}$$

$$N_{i2} = I_{sp2} \cdot g = 2943\text{m/s}$$

$$m_{t2} = m e^{-\frac{\Delta v}{N_{i2}}} = 1025\text{kg}$$

$$\Delta m = N_i \ln \frac{m}{m_t} \rightarrow m_t = m e^{-\frac{\Delta v}{N_i}}$$

$$\Delta m = m_{t2} - m_{t1} = 125\text{kg}$$

5. Bazna postaja sistema za brezgotovinsko cestninjenje oddaja nemoduliran nosilec na frekvenci $f=2.45\text{GHz}$. ABC tablica v avtomobilu BPSK modulira odboj s $C=2.4\text{kbit/s}$ podatki. Kolikšna je lahko najvišja hitrost avtomobila $v=?$ skozi ABC prehod, če BPSK demodulator sprejemnika bazne postaje zahteva, da Doppler-jev pomik ne preseže $1/10$ bitne hitrosti? ($C=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$\Delta f = C/\lambda = 240\text{Hz} \quad \Delta f = 2 \frac{v}{c} f \rightarrow v = \frac{\Delta f c}{2f} = 14.7\text{m/s} = 52.9\text{km/h}$$

1. Sprejemnik na krovu vesoljskega plovila ima šumno temperaturo $T_s=30K$ in je povezan preko voda z izgubami do antene s $T_a=50K$. Izračunajte skupno nadomestno šumno temperaturo sistema $T=?$, če ima antenski vod $a=1dB$ izgub in se nahaja na senčni strani plovila na $T_k=200K$! ($k_b=1.38E-23J/K$)

$$T = a(T_s + T_k(1 - \frac{1}{a}) + T_a \frac{1}{a}) = aT_s + (a-1)T_k + T_a$$

$$a = 1dB = 1.259$$

$$T = 1.259 \cdot 30K + (1.259 - 1) \cdot 200K + 50K = 37.8K + 51.8K + 50K = \underline{\underline{139.6K}}$$

2. MMIC gradnik ima ojačenje $G'=10dB$ in presešno točko tretjega reda $P_{IP3}'=+22dBm$. Izračunajte ojačenje $G=?$ in presešno točko $P_{IP3}=?$ dvostopenjskega ojačevalnika, če v prvo stopnjo vgradimo en takšen MMIC, v drugo stopnjo pa vežemo dva enaka MMICja vzporedno in poskrbimo za prilagoditev impedance z brezizgubnimi transformatorji!

$$G' = 10dB = 10 = G_1 = G_2$$

$$P_{IP3}' = +22dBm = 158mW = P_{IP31}$$

$$P_{IP3} = \frac{1}{\frac{1}{P_{IP32}} + \frac{1}{P_{IP31} G_2}} = \frac{1}{\frac{1}{317mW} + \frac{1}{158mW \cdot 10}} = \underline{\underline{264mW = +24.2dBm}}$$

$$G = G_1 G_2 = \underline{\underline{100 = 20dB}}$$

$$P_{IP32} = 2P_{IP31} = 317mW$$

3. Meritve radijske zveze s presihom pokažejo, da se frekvenčni razmak med minimumi spreminja od $\Delta f_{min}=100kHz$ do $\Delta f_{max}=1MHz$. Koliko simbolov $N=?$ moramo hraniti v pomilniku prilagodljivega sita za izločanje odbojev, če prenašamo $C=10Mbit/s$ z modulacijo QAM-16? ($c=3E+8m/s$)

$$\Delta t = \frac{1}{\Delta f} = 1\mu s \dots \text{ } \underbrace{10\mu s}_{\Delta t_{max}}$$

$$N = R \cdot \Delta t_{max} = 2.5 \cdot 10^6 \text{ simb/s} \cdot 10 \cdot 10^{-6} s = \underline{\underline{25 \text{ simbolov}}}$$

$$QAM-16: R = \frac{C}{4} = \underline{\underline{2.5 \cdot 10^6 \text{ simbolov/s}}}$$

4. Geostacionarni satelit s suho maso $m_t=2000kg$ ima na krovu $m_g=300kg$ hidrazina z $I_{sp}=220s$. Izračunajte življenjsko dobo satelita $t=?$, če popravek naklona tirnice zaradi težnosti Sonca in Lune zahteva $\Delta v=50m/s$ letno! ($u=3.986E+14m^3/s^2$, $R_z=6378km$, $T_z=1436min$, $g=9.81m/s^2$)

$$N_i = I_{sp} \cdot g = 2158m/s$$

$$t = \frac{\Delta v_{tot}}{\Delta v_{letni}} = \frac{301.6m/s}{50m/s/letno} = \underline{\underline{6.032 \text{ let}}}$$

$$\Delta v_{tot} = N_i \ln\left(1 + \frac{m_g}{m_t}\right) = 301.6m/s$$

5. Pulzno-Doppler-jev primarni radar deluje na frekvenci $f_0=3GHz$. Kolikšna je najnižja hitrost letala $V_{min}=?$, da ga radar razloči od hribovitega ozadja, če znaša frekvenčna ločljivost radarja $\Delta f=800Hz$? Kot med vektorjem hitrosti letala in smerjo proti radarju znaša $\alpha=75stopinj$. ($c=3E+8m/s$)

$$\Delta f = f_0 \frac{v}{c} 2 \cos \alpha \rightarrow v_{min} = \frac{\Delta f c}{f_0 2 \cos \alpha} = \frac{800Hz \cdot 3 \cdot 10^8 m/s}{3 \cdot 10^9 Hz \cdot 2 \cdot \cos 75^\circ} = \underline{\underline{155m/s}}$$

1. Spektralni analizator s šumnim številom $F=22\text{dB}$ uporabljamo za meritev razmerja signal/šum $S/N=?$ na vходу merjenca (demodulatorja). Kolikšna mora biti spektralna gostota merjenega šuma $N_0=?$ (v W/Hz), da bo pogrešek pri meritvi S/N manjši od $\Delta S/N=0.1\text{dB}$ zaradi lastnega šuma spektralnega analizatorja? ($k_B=1.38\text{E-}23\text{J/K}$, $T_0=293\text{K}$)

$$\Delta S/N = 0.1\text{dB} = \frac{1.0233}{F} \quad N_{0SA} = (F-1)k_B T_0 = (158.5-1) \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 293\text{K} = 6.37 \cdot 10^{-17} \text{ W/Hz}$$

$$F = 22\text{dB} = 158.5$$

$$N_{0SA} = N_0 (\Delta S/N - 1) \rightarrow N_0 = \frac{N_{0SA}}{\Delta S/N - 1} = \frac{6.37 \cdot 10^{-17} \text{ W/Hz}}{1.0233 - 1} = 2.734 \cdot 10^{-17} \text{ W/Hz}$$

2. Zmogljivost usmerjene radijske zveze omejuje popačenje oddajnika moči $P_0=10\text{W}$ na vrednost $C=155\text{Mbit/s}$ v pasovni širini $B=50\text{MHz}$. Izračunajte presečno točko $P_{IP3}=?$ celotnega oddajnika! Toplotni šum, popačenje sprejemnika in izgubo demodulatorja zanemarimo.

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_{LIN}}{P_{IMD}} \right) \rightarrow P_{IMD} = \frac{P_{LIN}}{2^{C/B} - 1} = \frac{10\text{W}}{2^{155/50} - 1} = \frac{10\text{W}}{8.574 - 1} = 1.32\text{W}$$

$$P_{IMD3} = \frac{P_{LIN}^3}{P_{IP3}^2} \rightarrow P_{IP3} = \sqrt{\frac{P_{LIN}^3}{P_{IMD}}} = \sqrt{\frac{(10\text{W})^3}{1.32\text{W}}} = 27.5\text{W} = +44.4\text{dBm}$$

3. Izračunajte verjetnost izpada $P_{izpada}=?$ mobilne radijske zveze, ki se podreja Rayleigh-ovi statistiki presiha! Zveza deluje na frekvenci $f=460\text{MHz}$, kjer postane signal neuporaben zaradi popačenja, ko jakost presiha preseže vrednost $a=-12\text{dB}$ glede na povprečno sprejeto moč $\langle P_s \rangle$. Moč oddajnika P_0 lahko povečujemo, da je toplotni šum sprejemnika zanemarljiv.

$$P_{izpada} = \int_0^{P_{smin}} p(P_s) dP_s = 1 - e^{-\frac{P_{smin}}{\langle P_s \rangle}} = 1 - e^{-\frac{1}{15.85}} = 0.0612 = 6.12\%$$

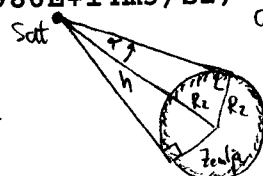
$$P_{smin} = a \langle P_s \rangle = \frac{1}{15.85}; \quad p(P_s) = \frac{1}{\langle P_s \rangle} e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}}$$

4. Na satelit je vgrajena antena s smernim diagramom idealne stožčaste oblike in smernostjo $D=20\text{dBi}$. Izračunajte periodo krožne tirnice $T=?$, če naj antena na krovu satelita natančno osvetljuje celotni vidni del zemeljske površine! ($R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$, $u=3.986\text{E+}14\text{m}^3/\text{s}^2$)

$$D = 20\text{dBi} = 100$$

$$\Omega = \frac{4\pi}{D} = 0.126\text{srd}$$

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\alpha)$$

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\Omega}{2\pi} = 0.98 \quad (\alpha = 11.48^\circ = 0.2\text{rd})$$


$$a = R_z + h = \frac{R_z}{\sin\alpha} = \frac{R_z}{\sqrt{1 - \cos^2\alpha}} = 32051\text{km}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = 57104\text{s} = 15.86\text{h}$$

5. Izračunajte domet $d=?$ sekundarnega radarja, ki oddaja z močjo $P_0=1.5\text{kW}$ in anteno dobitka $G_0=21\text{dBi}$ na frekvenci $f=1030\text{MHz}$. Radarski odzivnik na krovu letala ima neusmerjeno anteno z dobitkom $G_s=0\text{dBi}$ in sprejemnik z občutljivostjo $P_s=-70\text{dBm}$. Na kateri višini $h=?$ se mora nahajati letalo pri največjem dometu radarja, če odboj od tal in lom radijskih valov v troposferi zanemarimo? ($R_z=6378\text{km}$, $c=3\text{E+}8\text{m/s}$)

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0.291\text{m}$$

$$G_0 = 21\text{dBi} = 125.9$$

$$G_s = 0\text{dBi} = 1$$

$$P_s = -70\text{dBm} = 100\text{pW}$$

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_0}{P_s} G_0 G_s} = 1007.2\text{km} \quad (R_z + h)^2 = R_z^2 + d^2$$

$$h = \sqrt{R_z^2 + d^2} - R_z = 79.04\text{km}$$

1. Radijska zveza z zmogljivostjo $C=11\text{Mbit/s}$ uporablja pasovno širino $B=7\text{MHz}$. Kolikšno zmogljivost $C'=?$ bi dosegla zveza z oddajnikom iste moči in enako spektralno gostoto šuma sprejemnika, ko pasovna širina B ni omejeva? Izgube demodulatorja so v obeh primerih enake $a=2\text{dB}$. ($k_B=1.38\text{E-}23\text{J/K}$)

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 B} \right) \rightarrow \frac{P}{N_0} = B \left(2^{C/B} - 1 \right)$$

$$C' = \frac{P}{N_0 \ln 2} = \frac{B}{\ln 2} \left(2^{C/B} - 1 \right) = \underline{19.9 \text{ Mbit/s}}$$

2. Sprejemnik je povezan na anteno s kokasialnim kablom, ki vnaša $a=3\text{dB}$ izgub. Skupna šumna temperatura sistema pri temperaturi okolice $T_0=293\text{K}$ znaša $T=500\text{K}$, preračunano na antenski priključek. Kolikšna bo skupna šumna temperatura sistema $T'=?$, če se antenski kabel poleti segreje za $\Delta T=30\text{K}$? Izgube kabla, šum sprejemnika in šum antene ostanejo nespremenjeni. ($k_B=1.38\text{E-}23\text{J/K}$)

$$a = 3\text{dB} = 2 \rightarrow T' = T_{\text{ANT}} + (T_0 + \Delta T)(a-1) + a T_{\text{SPR}} = T + \Delta T(a-1)$$

$$T = T_{\text{ANT}} + T_{\text{KAB}}(a-1) + a T_{\text{SPR}} \quad T' = 500\text{K} + 30\text{K}(2-1) = \underline{530\text{K}}$$

3. Presih v sistemu mobilnih zvez se podreja Rayleigh-ovi statistiki, zmogljivost pa je omejena z medsebojnimi motnjami zaradi ponovne uporabe istih radiofrekvenčnih kanalov. Verjetnost izpada zveze znaša $P_{\text{IZ}}=3\%$ pri uporabi oddajnikov moči $P_0=2\text{W}$. Izračunajte verjetnost izpada zveze $P'_{\text{IZ}}=?$, če moči vseh oddajnikov povečamo na $P_0'=10\text{W}$ ter ostanejo antene in sprejemniki nespremenjeni!

$$\frac{P_{\text{SIGNAL}}}{P_{\text{MOTNJA}}} = \frac{P'_{\text{SIGNAL}}}{P'_{\text{MOTNJA}}} \rightarrow \underline{P'_{\text{IZ}} = P_{\text{IZ}} = 3\%}$$

4. Satelit za opazovanje Zemlje leti po polarni krožnici na višini $h=800\text{km}$. Pokrivanje celotne zemeljske površine zagotavlja pretvornik v geostacionarni tirnici, ki podatke opazovalnega satelita posreduje zemeljski postaji. V kolikšnem frekvenčnem pasu $\Delta f=?$ mora pretvornik slediti signal opazovalnega satelita, ki oddaja na frekvenci $f=8.4\text{GHz}$? ($u=3.986\text{E+}14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6738\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$, $c=3\text{E+}8\text{m/s}$)

$$v = \sqrt{\frac{\mu}{a}} = \sqrt{\frac{\mu}{R_z + h}} = \underline{7452 \text{ m/s}} ; \Delta f = 2 f_0 \frac{v}{c} = \underline{417.3 \text{ kHz}}$$

5. Radarski višinomer vsebuje oddajnik moči $P_0=+25\text{dBm}$ na frekvenci $f=4.3\text{GHz}$. Izračunajte občutljivost sprejemnika $P_s=?$ (v dBm), ko se letalo nahaja na višini odločanja $h=60\text{m}$ pred pristajalno stezo! Višinomer je opremljen z ločenima oddajno in sprejemno anteno z dobitkoma $G_0=G_s=10\text{dBi}$. Vsaka antena je povezana do višinomerja s kablom z izgubami $a=4\text{dB}$. Odbojnost tal pod letalom znaša najmanj $\Gamma_{\text{min}}=0.1$. ($c=3\text{E+}8\text{m/s}$)

$$a = 4\text{dB} = 2.5 \quad P_s = P_0 \frac{G_0}{a_0} \frac{G_s}{a_s} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 |\Gamma|^2 = \underline{102 \mu\text{W} = -69.65 \text{ dBm}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \underline{6.98 \text{ cm}} \quad P_0 = +25 \text{ dBm} = 316 \mu\text{W} \quad G = 10 \text{ dB} = 10$$

1. Oddajo satelita GPS opazujemo na spektralnem analizatorju, ki je priključen na anteno z dobitkom $G_s=20\text{dBi}$. Nizkošumni predojačevalec omogoča skupno šumno temperaturo antene in sprejemnika $T=200\text{K}$. Efektivna sevana moč satelita ($P_o.G_o$) je $\text{EIRP}=+57\text{dBm}$ za BPSK oddajo C/A z bitno hitrostjo 1.023Mbit/s . Kolikšno največje razmerje signal/šum $(S+N)/N=?$ (v dB) odčitamo na spektralnem analizatorju s sitom pasovne širine $B=30\text{kHz}$? ($f=1.57542\text{GHz}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$, $d=20000\text{km}$, $k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $T_o=293\text{K}$)

$$P_N = B k_B T = 30 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 200 \text{ K} = 8.28 \cdot 10^{-17} \text{ W}$$

$$P_s = P_o G_o G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = 500 \text{ W} \cdot 100 \cdot \left(\frac{0.19 \text{ m}}{4\pi \cdot 2 \cdot 10^7 \text{ m}} \right)^2 = 2.87 \cdot 10^{-14} \text{ W}$$

$$P_s' = P_s \frac{B}{R} = P_s \frac{3 \cdot 10^4 \text{ Hz}}{1.023 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 8.42 \cdot 10^{-16} \text{ W}$$

$$\frac{S+N}{N} = \frac{P_s' + P_N}{P_N} = \frac{8.42 \cdot 10^{-16} \text{ W} + 8.28 \cdot 10^{-17} \text{ W}}{8.28 \cdot 10^{-17} \text{ W}} = 11.17 = 10.5 \text{ dB}$$

2. Merilnik šumnega števila vsebuje sprejemnik s šumnim številom $F=10\text{dB}$ in pasovno širino $B=4\text{MHz}$ ter polprevodniško šumno glavo z $\text{ENR}=15.5\text{dB}$. Kolikšno razmerje vroče/hladno $Y=?$ (v dB) prikaže merilnik, ko med šumno glavo in sprejemnik vstavimo ojačevalnik z ojačenjem $G=10\text{dB}$ in šumnim številom $F=3\text{dB}$? ($T_o=293\text{K}$, $k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$) $\text{ENR}=15.5\text{dB}=35.5$

$$T_A = T_o \left(10^{\frac{F_A}{10}} - 1 \right) = T_o \left(10^{\frac{3}{10}} - 1 \right) = 1.9 T_o$$

$$T_m = T_o \left(10^{\frac{F_m}{10}} - 1 \right) = T_o \left(10^{\frac{10}{10}} - 1 \right) = 9 T_o$$

$$G_A = 10\text{dB} = 10 \quad T = T_A + \frac{T_m}{G_A} = T_o + \frac{9 T_o}{10} = 1.9 T_o$$

$$T_1 = T_o \quad T_2 = T_o \text{ENR} = 35.5 T_o$$

$$Y = \frac{T + T_2}{T + T_1} = \frac{1.9 T_o + 35.5 T_o}{1.9 T_o + T_o} = \frac{37.4}{2.9} = 12.89 = 11.1 \text{ dB}$$

3. Mobilni telefon v odsotnosti motenj dosega pogostnost izpada zveze $P_{izp}=1\%$ pri občutljivostji sprejemnika $P_{min}=-105\text{dBm}$. Pri kateri jakosti motenj $P_m=?$ na sosednjih kanalih se pogostnost izpada zveze podvoji zaradi IMD v sprejemniku telefona, če ima ta $P_{iip3}=-10\text{dBm}$? (Rayleigh)

$$P_{izpada} = 1 - e^{-\frac{P_{min}}{P_s}} \approx \frac{P_{min}}{P_s} = 0.01 \quad P_{min} = -105\text{dBm}, \quad (S/N) \approx 10\text{dB} \rightarrow P_{IMB} = P_N \approx -115\text{dBm}$$

$$P_{izpada} = 2P_{izpada} \rightarrow P_{min} = 2P_{min}$$

$$P_{min} = \frac{P_{iip3}}{(S/N)}; \quad P_{min} = \frac{P_{iip3}}{(S/N)} \quad P_{min} = \frac{P_{iip3}}{(S/N)} \rightarrow P_m = \sqrt[3]{P_{IMB} \cdot P_{iip3}^2}$$

$$P_m = \frac{1}{2} (-115\text{dBm} + 2(-10\text{dBm})) = -45\text{dBm}$$

4. Satelit se premika po polarni ($i=90^\circ$ stopinj) krožnici ($e=0$) na višini $h=1000\text{km}$ nad površino Zemlje. Trenutna lega tirnice glede na Sonce je takšna, da ima satelit ugoden prelet s severa na jug točno opoldne (po lokalnem sončnem času). Čez koliko časa $t=?$ se takšna lega tirnice glede na Sonce ponovi zaradi precesije dvižnega vozla? ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$, $J_2=1.0826\text{E}-3$, $1\text{leto}=365.242\text{dni}$)

$$\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{3}{2} n \left(\frac{R_z}{a} \right)^2 \frac{\cos i}{(1-e^2)^2} J_2 = 0 \rightarrow t = 1\text{leto} = 365.242\text{dni} = 3.156 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$i = 90^\circ \rightarrow \cos i = 0$$

5. Doppler-jev radar za merjenje hitrosti vozil oddaja na frekvenci $f=34\text{GHz}$ z močjo $P_o=10\text{mW}$. Radar uporablja isto anteno z dobitkom $G=25\text{dBi}$ za oddajo in sprejem. Izračunajte jakost $P_s=?$ (v dBm) odboja na vhodu sprejemnika in Doppler-jev pomik $\Delta f=?$ za avtomobil z odmevno površino $\text{Sigma}=1\text{m}^2$ na razdalji $d=500\text{m}$, ki se giblje s hitrostjo $v=72\text{km/h}$ v smeri proti radarju! ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$) $v=72\text{km/h} = 20\text{m/s}$

$$G = 25\text{dBi} = 316 \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{0.009\text{m}}{34\text{GHz}}$$

$$P_s = \frac{P_o G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 d^4} = 6.277 \cdot 10^{-16} \text{ W} = -122\text{dBm}$$

$$\Delta f = 2f_0 \frac{v}{c} = 4533\text{Hz}$$

=====

1. Izračunajte zmogljivost $C=?$ številskega TV oddajnika, ki uporablja modulacijo OFDM z $N=8192$ nosilci na osrednji frekvenci $f=700\text{MHz}$! Vsak nosilec je moduliran s QAM-16. Čas trajanja enega simbola znaša $T=1\text{ms}$. Za sinhronizacijo sprejemnika in popravljanje napak pri prenosu uporabimo $a=12.5\%$ koristnih nosilcev, kar zadošča za odpravljanje posledic popačenja radijske poti, toplotnega šuma in motenj. ($c=3E+8\text{m/s}$)

$$\text{QAM-16} \Rightarrow m = \log_2 16 = \underline{4 \text{ bit/simbol}}$$

$$C = N(1-a) \frac{m}{T} = 8192(1-0.125) \frac{4 \text{ bit}}{10^{-3} \text{ s}} = \underline{\underline{28.672 \text{ Mbit/s}}}$$

2. Antena zemeljske ostaje za sprejem satelitov je usmerjena v nebo s šumno temperaturo $T_n=10\text{K}$ na frekvenci $f=2.2\text{GHz}$. Izmerjena šumna temperatura antene znaša $T_a=50\text{K}$. Kolikšna bo šumna temperatura skupine $T_a'=?$ dveh takšnih enakih anten, če smerni diagram skupine razpolovi prispevek stranskih snopov, ki sprejemajo šum Zemlje? Obe anteni smatramo za brezizgubni. Izgube spojnega vezja skupine znašajo $a=0.3\text{dB}$. ($k_B=1.38E-23\text{J/K}$)

$$T_{ss} = T_a - T_n = \underline{40\text{K}} \quad \alpha = 10^{-\frac{a}{10}} = 10^{-\frac{0.3}{10}} = \underline{0.933} \quad T_0 = 293\text{K}$$

$$T_a' = \left(T_n + \frac{T_{ss}}{2} \right) \alpha + T_0(1-\alpha) = \left(10\text{K} + \frac{40\text{K}}{2} \right) \cdot 0.933 + 293\text{K}(1-0.933) = \underline{\underline{47.6\text{K}}}$$

3. Močnostni ojačevalnik radijskega oddajnika ima ojačenje $G=50\text{dB}$, izhodno moč zasičenja $P_{\text{dB}}=+48\text{dBm}$ in moč presečne točke IMD tretjega reda $P_{\text{ip3}}=+60\text{dBm}$. Ojačevalnik skušamo linearizirati s stopnjo za predpopačenje, ki jo vgradimo na vhodne sponke ojačevalnika. Kolikšna mora biti presečna točka $P_{\text{ip3}}'=?$ stopnje za predpopačenje (merjeno na njenem izhodu), da bo popačenje celotne verige najmanjše?

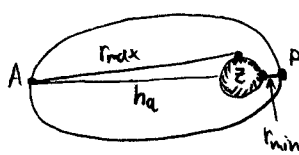
Vhod ojačevalnika:

$$P_{\text{ip3}} = \frac{P_{\text{ip3}}}{G} = \frac{10^3 \text{ W}}{10^5} = \underline{10 \text{ mW} = +10 \text{ dBm}}$$

Linearizator mora imeti enako velik kubni člen z obratnim predznakom:

$$\underline{\underline{P_{\text{ip3}}' = P_{\text{ip3}} = +10 \text{ dBm}}}$$

4. Izračunajte globino presiha $\Delta P_s=?$ (v decibelih) pri sprejemu satelita, ki se giblje po tirnici s perigejem na višini $h_p=300\text{km}$ in apogejem na višini $h_a=1600\text{km}$ nad površino Zemlje! Satelit je opremljen z neusmerjeno oddajno anteno na vaovni dolžini $\lambda=18\text{cm}$. Zemeljska postaja sledi satelit z usmerjeno anteno, da je odboj od tal zanemarljiv in na jakost sprejetega polja vpliva le spreminjanje razdalje do satelita. ($u=3.986E+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $c=3E+8\text{m/s}$)



$$r_{\text{max}} = \sqrt{(h_a + R_z)^2 - R_z^2} = \underline{4793\text{km}}$$

$$\Delta P_s = 10 \log_{10} \left(\frac{r_{\text{max}}}{r_{\text{min}}} \right)^2 = \underline{\underline{24.1 \text{ dB}}}$$

5. Satelitski radionavigacijski sprejemnik GPS je povezan do sprejemne antene preko koaksialnega kabla dolžine $l=15\text{m}$.

Hitrost valovanja v kablu znaša samo $v=2.1E+8\text{m/s}$ zaradi dielektrika, ki vnaša dodatno zakasnitev za radijske signale.

Izračunajte pogrešek izmerjenega položaja sprejemne antene $\Delta r=?$ zaradi dodatne zakasnitve kabla pri faktorju

$\text{GDOP}=2.44!$ ($c=3E+8\text{m/s}$)

Zakasnitev
kabela: $\Delta t = \frac{l}{v}$

Enačba
hiperbode:

$$|\vec{r}_i - \vec{r}_u| - |\vec{r}_j - \vec{r}_u| = c_0[(t_i + \Delta t) - (t_j + \Delta t)] = c_0[t_i - t_j] \Rightarrow \underline{\underline{\Delta r = 0}}$$

pogrešek se izniči, ker je za vse signale enak!

=====

1. Koaksialni kabel ima slabljenje $a=25\text{dB/km}$ in pasovno širino $B=100\text{MHz}$. Izračunajte teoretsko zmogljivost $C=?$ prekooceanske zveze na razdalji $l=5000\text{km}$. Vsakih $d=2\text{km}$ je v kabel vgrajen ojačevalnik s šumnim številom $F=10\text{dB}$, ki nadomešča izgube v kablu. Izhodna moč ojačevalnika znaša $P_0=+15\text{dBm}$. ($T_0=293\text{K}$, $k_B=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$G = d \cdot a = 50\text{dB} \quad P_s = \frac{P_0}{G} = -35\text{dBm} = 316\text{nW}$$

$$F = 10\text{dB} = 10 \quad T_s = T_0(F-1) \quad N = \frac{l}{d} = 2500$$

$$P_N = N B k_B (T_s + T_0) = N B k_B F T_0 = 10.1\text{nW}$$

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_N} \right)$$

$$C = 10^3 \cdot 10^6 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{316}{10.1} \right)$$

$$C = 501.3\text{Mbit/s}$$

2. Radiodifuzni FM radijski oddajnik s povprečno močjo $P_0=1\text{kW}$ deluje na osrednji frekvenci $f_0=102.3\text{MHz}$ s kolebom $\Delta f = \pm 75\text{kHz}$ in najvišjo modulacijsko frekvenco $f_m=15\text{kHz}$. Določite moč presečne točke $P_{ip3}=?$ (v dBm) oddajnika, da bo intermodulacijsko popačenje oslabiljeno za $a=-60\text{dB}$ v sosednjem kanalu na osrednji frekvenci $f=102.5\text{MHz}$!

FM oddajnik \rightarrow konstantna ovojnica \rightarrow ne proizvajajo IMD!

$P_{ip3} = \text{poljubno}$

3. Izračunajte pogostnost izpada zveze $P_{izpada}=?$ zaradi medsebojnih motenj v celičnem omrežju, ko znaša oddaljenost motilca $d_m=3\text{km}$ ter oddaljenost uporabljene bazne postaje $d_u=500\text{m}$! Pri računu upoštevajte, da jakost signalov upada s četrto potenco razdalje in je koristni signal podvržen Rayleigh-ovemu presihu! Moč vseh baznih postaj je enaka in dovolj velika, da toplotni šum ne povzroča dodatnih izpadov. Najmanjše dopustno razmerje signal/motnja je $S/M_{\text{min}}=10\text{dB}$.

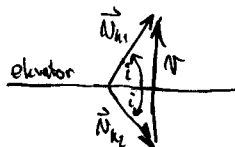
$$\frac{\langle P_s \rangle}{P_m} = \left(\frac{d_m}{d_u} \right)^4 = 1296 \quad P_{\text{izpada}} = 1 - e^{-\frac{P_{\text{min}}}{\langle P_s \rangle}} \approx \frac{P_{\text{min}}}{\langle P_s \rangle} = \frac{10}{1296} = 0.77\%$$

$$\frac{P_{\text{min}}}{P_m} = \left(\frac{S}{M} \right)_{\text{min}} = 10\text{dB} = 10$$

4. Sateliti Iridium se nahajajo v krožnicah na višini $h=780\text{km}$ nad površino Zemlje z naklonom $i=86.3$ stopinje. Izračunajte medsebojno hitrost $v=?$, s katero se srečata dva satelita Iridium nad ekvatorjem! Tirnici obeh satelitov se razlikujeta v rektascenziji dvižnega vozla za $\Delta \Omega = 180$ stopinj. ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$. $T_z=1436\text{min}$)

$$a_k = h + R_z = 7158\text{km}$$

$$v_k = \sqrt{\frac{\mu}{a_k}} = 7462\text{m/s}$$



$$v = 2 v_k \sin i = 14893\text{m/s}$$

5. Bližinski vžigalnik protiletalskega izstrelka je opremljen z oddajnikom moči $P_0=1\text{W}$ na frekvenci $f=1.3\text{GHz}$ ter neusmerjeno anteno z dobitkom $G=0\text{dBi}$. Izračunajte jakost sprejetega signala $P_s=?$ ter Doppler-jev pomik $\Delta f=?$, ko se izstrelak približa letalu na razdaljo $d=30\text{m}$ z relativno hitrostjo $v=700\text{m/s}$! Odmevna površina letala je $\Sigma=1\text{m}^2$. ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0.231\text{m}$$

$$G = 0\text{dBi} = 1 \quad P_s = P_0 G^2 \frac{\Sigma \lambda^2}{(4\pi)^2 d^4} = 33.1\text{pW} = -74.8\text{dBm}$$

$$\Delta f = \frac{2v}{c} f = 6067\text{Hz}$$

1. Sprejemnik zemeljske postaje na frekvenci $f=8.4\text{GHz}$ ima šumno temperaturo $T_s=30\text{K}$ in je povezan na anteno s $T_a=20\text{K}$ preko izgubnega prenosnega voda. Zmogljivost zveze znaša $C=1\text{Mbit/s}$ v neomejeni pasovni širini in izgubah $a=0.5\text{dB}$ v prenosnemvodu na sobni temperaturi $T_o=293\text{K}$. Kolikšno zmogljivost zveze $C'=?$ lahko dosežemo v primeru, da sprejemnik priključimo neposredno na anteno brez dodatnih izgub?

$$F_s = 10 \log_{10} \left(\frac{T_s}{T_o} + 1 \right) = \underline{0.423 \text{ dB}} \quad T = T_a + T_s^* = \underline{89.4 \text{ K}}$$

$$F_s^* = F_s + a = \underline{0.923 \text{ dB}} \quad T' = T_a + T_s = \underline{50 \text{ K}}$$

$$T_s^* = (10^{\frac{F_s^*}{10}} - 1) T_o = \underline{69.4 \text{ K}} \quad C_\infty = \frac{P_s}{k_B T \ln 2} \rightarrow C' = C \frac{T}{T'} = \underline{1.788 \text{ Mbit/s}}$$

2. Glavno vejo kabelske TV sestavlja $N=10$ enakih odsekov. Vsak odsek vsebuje izgubni vod s slabljenjem $a=20\text{dB}$, ki mu sledi ojačevalnik z ojačenjem $G=20\text{dB}$ in presečno točko tretjega reda $P_{ip3}=+26\text{dBm}$. Izračunajte ojačenje $G'=?$ in presečno točko $P_{ip3}'=?$ celotne verige! Vode smatramo za povsem linearne. Popačenja petega in višjih redov zanemarimo.

$$G'_{\text{dB}} = N(G - a) = \underline{0 \text{ dB}} \quad P_{ip3} = +26 \text{ dBm} = \underline{0.4 \text{ W}}$$

$$P'_{ip3} = \frac{1}{\frac{1}{P_{ip3}} + \frac{1}{P_{ip3}(\frac{G}{a})} + \frac{1}{P_{ip3}(\frac{G}{a})^2} + \dots} = \frac{1}{N \cdot \frac{1}{P_{ip3}}} = P_{ip3}/N = \underline{40 \text{ mW} = +16 \text{ dBm}}$$

3. OFDM oddajnik uporablja $N=8192$ nosilcev in prenaša podatke z zmogljivostjo $C=10\text{Mbit/s}$. Vsak nosilec je moduliran s QAM-64, pri tem pa $a=15\%$ nosilcev uporabimo za sinhronizacijo in vnaprejšnje popraviljanje napak pri prenosu. Izračunajte čas trajanja enega OFDM simbola $T=?$ Kolikšno pasovno širino $B=?$ zavzame visokofrekvenčni signal?

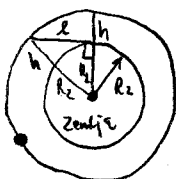
$$R = \frac{C}{6N(1-a)} = \frac{10 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}}{6 \cdot 8192(1-0.15)} = \underline{233.4 \text{ simb/s}}$$

QAM-64

$$T = \frac{1}{R} = \underline{4.178 \text{ ms}}$$

$$B = N \cdot R = \underline{1.961 \text{ MHz}}$$

4. Satelit se giblje po polarni krožnici s periodo $T=100\text{min}$. Oddajnik na krovu je opremljen z neusmerjeno anteno na frekvenci $f=1.7\text{GHz}$. V kolikšnem razponu $a=?$ (v decibelih) se spreminja jakost srejetega signala na Zemlji, ko je satelit viden nad obzorjem? Slabljanje radijskega signala v zemeljskem ozračju in odboj od tal zanemarimo. ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$, $T_z=1436\text{min}$)

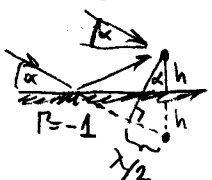


$$h = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2} - R_z = \underline{758.6 \text{ km}}$$

$$a = 20 \log_{10} \left(\frac{l}{h} \right) = \underline{12.5 \text{ dB}}$$

$$l = \sqrt{(R_z + h)^2 - R_z^2} = \underline{3202 \text{ km}}$$

5. Antena svetilnika glideslope na frekvenci $f=330\text{MHz}$ je postavljena na takšno višino h , da skupaj s svojo zrcalno sliko v tleh tvori smerni diagram s prvim maksimumom pod kotom $\alpha=3$ stopinje nad obzorjem. Na kolikšno vrednost naraste pristajalni kot $\alpha'=?$, ko na letališču zapade $d=30\text{cm}$ mokrega snega? ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)



$$\lambda/2 = 2h \sin \alpha \rightarrow h = \frac{\lambda}{4 \sin \alpha} = \underline{4.343 \text{ m}}$$

$$h' = h - d = \underline{4.043 \text{ m}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \underline{0.909 \text{ m}}$$

$$\alpha' = \arcsin \frac{\lambda}{4h'} = \underline{3.223^\circ = 3^\circ 13' 22''}$$

1. Izračunajte zmogljivost radijske zveze $C=?$ s plovila v tirnici okoli Lune. Oddajnik plovila ima efektivno sevano moč $P_o=10\text{W}$ na neusmerjeni anteni na frekvenci $f=2.2\text{GHz}$. Zemeljska sprejemna postaja razpolaga z zrcalom premera $2r=22\text{m}$ na povprečni oddaljenosti $d=390000\text{km}$. Izkoristek osvetlitve zrcala $\eta=70\%$, šumna temperatura celotnega sistema pa $T=100\text{K}$. Pasovna širina ni omejena, izgube demodulatorja znašajo $a=5\text{dB}$. ($k_B=1.38\text{E-}23\text{J/K}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$).

$$\lambda = \frac{c}{f} = 0.136\text{m} \quad P_s = P_o G_o \frac{1}{4\pi d^2} \pi r^2 \eta = 1.392 \cdot 10^{-15}\text{W}$$

$$a = 5\text{dB} = 3.16 \quad C = \frac{1}{a} \frac{P_s}{k_B T \ln 2} = 460\text{ kbit/s}$$

2. Radijski sprejemnik uglasimo na šibek signal na frekvenci $f_s=100\text{MHz}$. Sprejem je moten in sumimo intermodulacijsko popačenje v vhodni stopji sprejemnika, ker dodatni slabilec $a=5\text{dB}$ v antenskem vođu izboljša razmerje signal/motnja za $\Delta(S/M)=20\text{dB}$. Podobno modulacijo (ista melodija) kot motnja ima oddajnik na frekvenci $f_a=103\text{MHz}$. Na kateri frekvenci $f_b=?$ oddaja drugi močen oddajnik, ki proizvaja IMD? Poiščite vse rešitve naloge!

$$\Delta(S/M)_{\text{dB}} = 10 \log_8 \left(\frac{P_s}{P_i} \right) - 10 \log_8 \left(\frac{P_h}{P_n} \right) = -a + Na \quad \begin{matrix} f_s = 3f_a - 2f_b \rightarrow f_b = \frac{3f_a - f_s}{2} = 104.5\text{MHz} \\ \text{ali} \\ f_s = 3f_b - 2f_a \rightarrow f_b = \frac{2f_a + f_s}{3} = 102\text{MHz} \end{matrix}$$

$$\Delta(S/M)_{\text{dB}} = a(N-1) \rightarrow N = \frac{\Delta(S/M)}{a} + 1 = 5 \quad \text{(IMD 5. reda)}$$

3. Mali satelit brez stabilizacije lege je opremljen s telemetrijsko anteno s smernim diagramom $F(\theta) = \sin(\theta)$ in linearno polarizacijo na frekvenci $f=137\text{MHz}$. Zemeljska postaja ima desno-krožno polarizirano sprejemno anteno. Kolikšna je verjetnost izpada sprejema Pizpada=? zaradi nepredvidljive lege satelita in ničel smernega diagrama oddajne antene, če znaša rezerva radijske zveze $P_{\text{max}}/P_{\text{min}}=20\text{dB}$?

$$\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{min}}} = 20\text{dB} = 100 \quad P_{\text{izpada}} = \frac{2A_{\text{kupice}}}{A_{\text{krogle}}} = \frac{2 \cdot 2\pi r h}{4\pi r^2} = 1 - \cos\theta = 1 - \sqrt{1 - \sin^2\theta} = 0.501\%$$

$$\theta_{\text{max}} = \frac{\pi}{2}; \quad \theta_{\text{min}} = \arcsin \sqrt{\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{min}}}} = \arcsin 0.1; \quad h = r(1 - \cos\theta)$$

4. Izračunajte potrebni spremembi hitrosti $\Delta v_1=?$ in $\Delta v_2=?$ za prevoz navigacijskega satelita GPS v dokončno krožnico na višini $h=20000\text{km}$ nad zemeljsko površino z naklonom $i=55^\circ$ stopinj. Izračun poenostavimo kot preprost Hohmann-ov prenos: vrtenje Zemlje in trenje v ozračju zanemarimo ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$)

$$a = \frac{1}{2}(R_z + (R_z + h)) = 16378\text{km} \quad \Delta v_2 = v_k - v_a = \sqrt{\frac{\mu}{R_z + h}} - \sqrt{\mu \left(\frac{2}{R_z + h} - \frac{1}{a} \right)}$$

$$\Delta v_1 = v_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{R_z} - \frac{1}{a} \right)} = 10033\text{m/s} \quad \rightarrow = 3887\text{m/s} - 2426\text{m/s} = 1461\text{m/s}$$

5. Določite najvišje dopustno šumno število $F=?$ (v dB) radarskega odzivnika na krovu letala, ki mora delovati s signalom frekvence $f=1030\text{MHz}$ vse do jakosti sprejema $P_{\text{min}}=-75\text{dBm}$! Pasovna širina sprejemnika je $B=6\text{MHz}$. Zahtevano razmerje signal/šum znaša $(S/N)_{\text{min}}=20\text{dB}$ za zanesljivo detekcijo radarskih impulzov. Šumna temperatura antene je $T_a=T_o=293\text{K}$. ($k_B=1.38\text{E-}23\text{J/K}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$S/N = 20\text{dB} = 100 \quad P_N = B k_B (T_a + T_o (F-1)) = B k_B F \quad F = \left(\frac{P_N}{B k_B} - T_a \right) \frac{1}{T_o} + 1 = 13.04 = 11.2\text{dB}$$

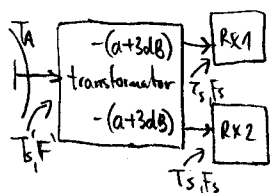
$$P_N = \frac{P_s}{S/N} = -95\text{dBm} = 0.316\text{pW}$$

1. Zemeljska postaja sprejema tok podatkov $C=15\text{Mbit/s}$ z oddaljenega vesoljskega plovila v pasovni širini $B=10\text{MHz}$. Kolikšen pretok podatkov $C'=?$ lahko pričakujemo z novim sprejemnikom, ki bo omogočal skupno šumno temperaturo $T'=50\text{K}$? Vsota šumnih temperatur starega sprejemnika in antene znaša $T=85\text{K}$. ($k_B=1.38\text{E-23J/K}$)

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{B k_B T} \right) \rightarrow \frac{P_s}{B k_B T} = 2^{C/B} - 1 = 1.828$$

$$\frac{P_s}{B k_B T'} = \frac{P_s}{B k_B T} \cdot \frac{T}{T'} = 1.828 \cdot \frac{85\text{K}}{50\text{K}} = 3.108 \quad C' = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{B k_B T'} \right) = 10 \cdot 10^6 \log_2 (1 + 3.108) = \underline{\underline{20.38\text{Mbit/s}}}$$

2. Sprejemnik ima šumno temperaturo $T_s=150\text{K}$. Dva enaka sprejemnika vežemo vzporedno na isto sprejemno anteno s šumno $T_a=200\text{K}$ preko transformatorja za prilagoditev impedance. Kolikšna je šumna temperatura celotne sprejemne verige $T=?$ za vsak sprejemnik posebej, če sta sprejemnika enaka, moč signala se deli 50/50 na oba sprejemnika in lahko njun medsebojni vpliv zanemarimo? Transformator se nahaja na sobni temperaturi $T_o=293\text{K}$ in vnaša dodatne izgube $a=0.5\text{dB}$.



$$F_s = 10 \log_{10} \left(\frac{T_s}{T_o} + 1 \right) = 1.495\text{dB} \quad ; \quad T = T_s' + T_a = \underline{\underline{898.8\text{K}}}$$

$$F = F_s + 3\text{dB} + a = 5.295\text{dB} \quad ; \quad T_s' = T_o (10^{F/10} - 1) = \underline{\underline{698.8\text{K}}}$$

3. V radijskem sprejemniku slišimo dva podobna intermodulacijska produkta na frekvencah $f_a=92\text{MHz}$ z močjo $P_a=-70\text{dBm}$ in $f_b=100\text{MHz}$ z močjo $P_b=-66\text{dBm}$. Za en oddajnik vemo, da oddaja na frekvenci $f_1=94\text{MHz}$ z močjo $P_1=1\text{kW}$. Na kateri frekvenci $f_2=?$ in s kakšno močjo $P_2=?$ oddaja drugi oddajnik, če predpostavljamo, da je vstavitevno slabljenje radijske zveze do obeh oddajnikov enako?

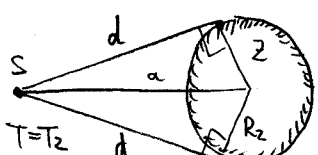
$$\text{IMD: } f_b - f_a = N \Delta f \quad ; \quad N = 3, 5, 7, \dots \quad \frac{f_b - f_a}{f_1 - f_a} = \frac{8\text{MHz}}{2\text{MHz}} = 4 = \frac{2N}{N-1} \rightarrow N = 2$$

ni IMD produkt!

$$f_1 - f_a = \left(\frac{N-1}{2} \right) \Delta f$$

→ f_a in f_b NISO produkti istega reda $N!$

4. Izračunajte zakasnitev radijske zveze $\Delta t=?$ preko telekomunikacijskega satelita v geostacionarni tirnici! Oddajna in sprejemna postaja na Zemlji vidita satelit tik nad obzorjem. Zakasnitev aktivnega pretvornika v satelitu je zanemarljivo majhna. ($u=3.986\text{E+14m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$, $c=3\text{E+8m/s}$)

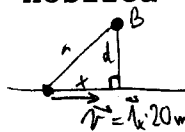


$$n = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} \rightarrow a = \sqrt[3]{\frac{\mu T^2}{(2\pi)^2}} = \underline{\underline{42163\text{km}}}$$

$$d = \sqrt{a^2 - R_z^2} = \underline{\underline{41678\text{km}}}$$

$$\Delta t = \frac{2d}{c} = \underline{\underline{277.8\text{ms}}}$$

5. Avtomobil pelje po ravni cesti s hitrostjo $v=72\text{km/h}$. Ob cesti je postavljena bazna postaja UMTS, ki dela na frekvenci $f=2.1\text{GHz}$. Koliko mora biti oddaljena $d=?$ bazna postaja od ceste, da absolutna vrednost hitrosti spreminjanja frekvence nosilca v sprejemniku ne preseže $df/dt=100\text{Hz/s}$? ($c=3\text{E+8m/s}$)



$$r = \sqrt{x^2 + d^2} \quad \frac{dr}{dt} = \frac{x \frac{dx}{dt}}{\sqrt{x^2 + d^2}} = \frac{x v}{r} \quad ; \quad \frac{df}{dt} = -\frac{f_0}{c} \frac{dr}{dt} = -\frac{f_0 v}{c} \frac{x}{r}$$

$$f = f_0 - \frac{f_0}{c} \frac{dr}{dt} \quad ; \quad \left| \frac{df}{dt} \right|_{\text{max}} = \frac{f_0 v^2}{c d} \rightarrow d = \frac{f_0 v^2}{c \left(\frac{df}{dt} \right)} = \underline{\underline{28\text{m}}}$$

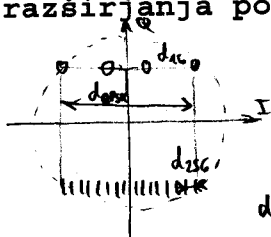
1. Radijski sprejemnik ima pasovno širino $B=30\text{kHz}$, šumno število $F=7\text{dB}$ in presečno točko popačenja $P_{iip3}=-30\text{dBm}$ (na vhodnih sponkah). Sprejemnik je povezan na anteno $T_a=200\text{K}$. Izračunajte, pri kateri moči vhodnega signala $P_s=?$ bo jakost intermodulacijskega popačenja enaka jakosti toplotnega šuma $P_{imd3}=P_n?$ ($k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $T_o=293\text{K}$).

$$T_s = T_o \left(10^{\frac{F}{10}} - 1 \right) = 1176\text{K} \quad P_{iip3} = -30\text{dBm} = 10^{-6}\text{W}$$

$$P_n = B \cdot k_b \cdot (T_a + T_s) = 5.7 \cdot 10^{-16}\text{W} = -122.5\text{dBm}$$

$$P_{imd3} = \frac{P_s^3}{P_{iip3}^2} = P_n \rightarrow P_s = \sqrt[3]{P_n P_{iip3}^2} = 8.3 \cdot 10^{-10}\text{W} = -61\text{dBm}$$

2. Usmerjena radijska zveza uporablja oddajnik z vršno močjo $P_{max}=10\text{W}$ in modulacijo QAM-16. Izračunajte potrebno vršno moč oddajnika $P_{max}'=?$, če zvezo posodobimo na QAM-256, da razpolovimo pasovno širino $B'=B/2$! Zmogljivost zveze ostane enaka $C'=C$ in zahtevamo enako pogostnost napak. Popačenje razširjanja po več poteh zanemarimo.



$$d_{16} = \frac{d_{qpsk}}{3}$$

$$d_{256} = \frac{d_{qpsk}}{15}$$

$$\frac{d_{16}}{d_{256}} = \frac{15}{3} = 5$$

$$P_{max}' = P_{max} \frac{\left(\frac{d_{16}}{d_{256}} \right)^2}{B/B'} = P_{max} \frac{5^2}{2} = 125\text{W}$$

3. Bazna postaja uporablja prostorsko raznolikost, da doseže verjetnost izpada zveze $P_{izpada}=0.5\%$. Sprejemni anteni sta dovolj narazen, da je Rayleigh-ov presih nekoreliran. Postaja izbira anteno za boljši sprejem. Kolikšna bo verjetnost izpada $P_{izpada}'=?$ v primeru odpovedi enega sprejemnika? Kolikokrat $m=P'/P=?$ je treba v tem primeru povečati moči mobilnih postaj, da povrtno verjetnost izpada na 0.5% ?

$$P_{izpada}' = \sqrt{P_{izpada}} = 7.1\% \quad m = \frac{P'}{P} = \frac{\langle P_s' \rangle}{\langle P_s \rangle} = \frac{\ln(1 - P_{izpada})}{\ln(1 - P_{izpada}')} = \frac{-0.073}{-0.005} = 14.6$$

$$P_{izpada}' = 1 - e^{-\frac{P_{min}}{\langle P_s' \rangle}} \rightarrow \langle P_s' \rangle = -\frac{P_{min}}{\ln(1 - P_{izpada}')}$$

$$P_{izpada} = 1 - e^{-\frac{P_{min}}{\langle P_s \rangle}} \rightarrow \langle P_s \rangle = -\frac{P_{min}}{\ln(1 - P_{izpada})}$$

4. Izračunajte potrebni spremembi hitrosti $\Delta v_1=?$ in $\Delta v_2=?$ za prevoz satelita GPS z zemeljske površine v dokončno krožnico s periodo $T=12\text{h}$! Vrtenje Zemlje zanemarimo, spremembe naklona niso potrebne. ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} \rightarrow a_x = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2} = 26610\text{km} \quad v_k = \sqrt{\frac{\mu}{a}} = 3870\text{m/s}$$

$$r_a = a_x = 26610\text{km} \quad r_p = R_z = 6378\text{km} \quad v_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a} \right)} = 10041\text{m/s} = \Delta v_1$$

$$a = \frac{r_a + r_p}{2} = 16494\text{km} \quad v_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r_a} - \frac{1}{a} \right)} = 2407\text{m/s} \quad \Delta v_2 = v_k - v_a = 1464\text{m/s}$$

5. Izračunajte domet $r=?$ radarskega odzivnika na krovu letala, ki oddaja na frekenci $f=1090\text{MHz}$ z močjo $P=100\text{W}$ na neusmerjeno oddajno anteno $G_o=0\text{dB}$. Sprejemnik sekundarnega radarja ima anteno z dobitkom $G_s=22\text{dB}$ in skupno šumno temperaturo $T=1500\text{K}$. Prag sprejemnika je nastavljen na razmerje signal/šum $S/N=20\text{dB}$ v pasovni širini $B=6\text{MHz}$. ($k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$P_n = B k_b T = 1.24 \cdot 10^{-13}\text{W} \quad P_s = P G_o G_s \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \rightarrow r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P G_o G_s}{P_s}} = 782\text{km}$$

$$S/N = 20\text{dB} = 100 \quad P_s = 1.24 \cdot 10^{-11}\text{W} \quad G_o = 1, G_s = 22\text{dB} = 158 \quad \lambda = \frac{c}{f} = 0.275\text{m}$$

1. Dvosmerna radijska zveza dela s paketnim prenosom na istem radijskem kanalu in premošča razdaljo $r=60\text{km}$. Izračunajte efektivno zmogljivost zveze $C_{\text{eff}}=?$, če mora sogovornik potrditi sprejem vsakega oddanega okvirja posebej! Podatkovni okvirji vsebujejo $I_1=1000\text{bitov}$, potrditveni okvirji pa $I_2=50\text{bitov}$. Vsak okvir je opremljen s sinhronizacijsko glavo v trajanju $t_s=75\mu\text{s}$. Surova zmogljivost zveze je $C=1\text{Mbit/s}$. ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$t_1 = \frac{I_1}{C} = \frac{1000\mu\text{s}}{1\text{Mbit/s}}$$

$$t_2 = \frac{I_2}{C} = \frac{50\mu\text{s}}{1\text{Mbit/s}}$$

$$t_r = \frac{r}{c} = \frac{60\text{km}}{3\text{E}+8\text{m/s}} = 200\mu\text{s}$$

$$C_{\text{eff}} = C \frac{t_1}{t_s + t_1 + t_r + t_s + t_2 + t_r} = 1\text{Mbit/s} \frac{1000\mu\text{s}}{75\mu\text{s} + 1000\mu\text{s} + 200\mu\text{s} + 75\mu\text{s} + 50\mu\text{s} + 200\mu\text{s}}$$

$$C = 1\text{Mbit/s} \frac{1000}{1600} = \underline{\underline{625\text{kb/s}}}$$

2. Podmorski koaksialni kabel ima slabljenje $a=4\text{dB/km}$ in pasovno širino $B=1\text{MHz}$. Ojačevalniki s šumnim številom $F=2\text{dB}$ so postavljeni na koncu vsakega odseka dolžine $l=10\text{km}$. Kolikšna je skupna šumna moč $P_n=?$ na koncu zveze dolžine $r=1000\text{km}$, če se kabel nahaja v morski vodi s temperaturo $T_m=4\text{C}$! ($T_0=293\text{K}$, $k_B=1.38\text{E}-23\text{J/K}$, $C=273\text{K}$)

$$G = a \cdot l = 4\text{dB/km} \cdot 10\text{km} = 40\text{dB} = 10^4 \gg 1 \rightarrow T_k = T_m = 277\text{K}$$

$$T_s = T_0 (10^{\frac{F}{10}} - 1) = 293\text{K} (10^{0.2} - 1) = 171.4\text{K} ; N = r/l = 100$$

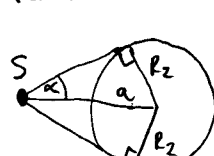
$$P_n = N G B k_B (T_k + T_s) = 100 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \text{Hz} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K} (277\text{K} + 171.4\text{K}) = \underline{\underline{6.19\mu\text{W}}}$$

3. Povprečno moč šuma $\langle P_n \rangle$ merimo s spektralnim analizatorjem z logaritemsko skalo tako, da vključimo video sito $B_v \ll B_mf$. Nato video sito izključimo. Kolikšen odstotek meritev $\eta=?$ tedaj pade pod črto, ki smo jo dobili z video sitom?

$$\text{Rayleigh: } p(P_n) = \frac{1}{\langle P_n \rangle} e^{-\frac{P_n}{\langle P_n \rangle}} \quad P_{\text{črta}} = \langle P_n \rangle - 2.51\text{dB} = 0.561 \langle P_n \rangle$$

$$\eta = \int_0^{P_{\text{črta}}} p(P_n) dP_n = 1 - e^{-\frac{P_{\text{črta}}}{\langle P_n \rangle}} = 1 - e^{-0.561} = 1 - 0.571 = \underline{\underline{0.429 = 42.9\%}}$$

4. Izračunajte smernost $D=?$ oddajne antene na krovu satelita GPS, ki ima smerni diagram oblikovan v stožec tako, da natančno osvetljuje vidni del zemeljske površine! Sateliti GPS se gibljejo po krožnicah z naklonom $i=55\text{stopinj}$ in periodo $T=12\text{h}$. ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$, $T_z=1436\text{min}$, $f=1575.42\text{MHz}$)

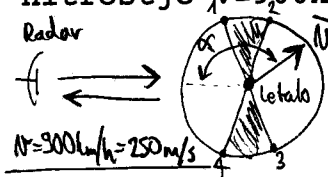


$$a = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T_z}{2\pi}\right)^2} = 26610\text{km} \quad D = \frac{4\pi}{\Omega} = \frac{2}{1 - \cos\alpha} = \frac{2}{1 - \sqrt{1 - (R_2/a)^2}}$$

$$\alpha = \arcsin(R_2/a) = 13.87^\circ \quad D = 68.61 = 18.36\text{dBi}$$

$$\Omega = 2\pi (1 - \cos\alpha) = 0.183\text{sr}$$

5. Pulzno-Doppler-jev radar dela na osrednji frekvenci $f=3\text{GHz}$ in zazna vse odmeve letal z Doppler-evim pomikom večjim od $\Delta f=1\text{kHz}$. Kolikšen odstotek $\eta=?$ potniških letal zazna radar, če letijo v vodoravnem letu v poljubnih smereh s hitrostjo $v=900\text{km/h}$? ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)



$$\Delta f = 2v \frac{f}{c} \quad \eta = \frac{2\pi - (\alpha_2 - \alpha_1) - (\alpha_4 - \alpha_3)}{2\pi} = \frac{4\alpha_1}{2\pi} = \frac{\alpha_1}{\pi/2}$$

$$\text{Simetrija: } \alpha_2 = \pi - \alpha_1, \alpha_3 = \alpha_1 + \pi, \alpha_4 = 2\pi - \alpha_1$$

$$\eta = \vec{n}_r \cdot \vec{n} = \cos\alpha$$

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{c \Delta f}{2v f}\right) = \arcsin(0.2) = 78.46^\circ = 1.369\text{rd} \quad \eta = \underline{\underline{87.2\%}}$$

1. Izračunajte premer $2r=?$ antene na Zemlji, ki sprejema QPSK oddajo satelita z bitno hitrostjo $C=100\text{Mbit/s}$ na frekvenci $f=8.4\text{GHz}$. Satelit je opremljen z oddajnikom moči $P=10\text{W}$ in anteno z dobitkom $G_0=3\text{dBi}$. Skupna šumna temperatura sprejemne antene in sprejemnika znaša $T=70\text{K}$. Izkoristek osvetlilne zrcala pričakujemo $\eta=80\%$. Oddaja je nekodirana in zahteva $W_b/N_0=10.4\text{dB}$. Največja razdalja do satelita je $d=2000\text{km}$.

($c=3\text{E}+8\text{m/s}$, $k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$)

$$N_0 = k_b T = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 70\text{K} = 9.66 \cdot 10^{-22} \text{ J}$$

$$P_s = P_0 G_0 \frac{A_s}{4\pi d^2}; \quad A_s = \pi r^2; \quad G_0 = 3\text{dBi} = 2$$

$$W_b/N_0 = 10.4\text{dB} = 10.97$$

$$P_s = C W_b = C (W_b/N_0) N_0 = 1.059 \text{ pW}$$

$$2r = 4d \sqrt{\frac{P_s}{P_0 G_0 \eta_s}} = 2.058 \text{ m}$$

2. Sprejemnik s šumno temperaturo $T_s=120\text{K}$ je priključen preko izgubnega voda na anteno s šumno temperaturo $T_a=80\text{K}$. Kolikšne smejo biti izgube $a=?$ (v dB) antenskega voda, da skupna šumna temperatura sistema ne preseže $T_{\text{max}}=270\text{K}$, preračunano na antenski priključek? Izgubni antenski vod se nahaja na temperaturi okolice $T_0=293\text{K}$. ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$, $k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$)

$$T_{\text{max}} = T_A + a T_s + (a-1) T_0$$

$$a = \frac{T_{\text{max}} - T_a + T_0}{T_s + T_0} = \frac{270\text{K} - 80\text{K} + 293\text{K}}{120\text{K} + 293\text{K}} = 1.169 = 0.68\text{dB}$$

3. Na vhod radijskega sprejemnika privedemo tri sinusne signale na frekvencah $f_1=5487\text{kHz}$, $f_2=5504\text{kHz}$ in $f_3=5533\text{kHz}$. Moči signalov so $P_1=-23\text{dBm}$, $P_2=-21\text{dBm}$ in $P_3=-24.5\text{dBm}$. Izračunajte, na kateri frekvenci $f_{\text{max}}=?$ dobimo najmočnejši intermodulacijski produkt tretjega reda in na kateri frekvenci $f_{\text{min}}=?$ najšibkejši produkt IMD3? Kolikšno je razmerje moči $a=P_{f_{\text{max}}}/P_{f_{\text{min}}}=?$ (v dB)?

$$P_2 > P_1 > P_3 \rightarrow f_{\text{max}} = 2f_2 - f_1 = 5521\text{kHz}$$

$$f_{\text{min}} = 2f_3 - f_1 = 5579\text{kHz}$$

$$\log a = \log P_{f_{\text{max}}} - \log P_{f_{\text{min}}} = \log \frac{P_2^2 P_1}{P_1 P_2 P_3} - \log \frac{P_3^2 P_1}{P_1 P_2 P_3} = 2 \log P_2 - 2 \log P_3 = 2(-21\text{dBm}) - 2(-24.5\text{dBm}) = 7\text{dB}$$

4. Vesoljsko plovilo kroži na višini $h=100\text{km}$ nad površjem Lune. Kolikšna je perioda takšne tirnice $T=?$ Kolikšna je hitrost plovila $v=?$ glede na Luno, če lastno vrtenje Lune zanemarimo? Privzamemo, da je Luna krogla s polmerom $R=1737.1\text{km}$ in težnostno konstanto $u=4.903\text{E}+12\text{m}^3/\text{s}^2$.

$$a = h + R = 1837.1\text{km}$$

$$v = \sqrt{\frac{\mu}{a}} = \sqrt{\frac{4.903 \cdot 10^{12} \text{ m}^3/\text{s}^2}{1837100\text{m}}} = 1633.7\text{m/s}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = 2\pi \sqrt{\frac{(1837.1 \cdot 10^3 \text{ m})^3}{4.903 \cdot 10^{12} \text{ m}^3/\text{s}^2}} = 7066\text{s} = 117.8\text{min}$$

5. Izračunajte natančnost meritve hitrosti uporabnika $\Delta v=?$ iz Doppler-jevega pomika na frekvenci nosilca satelitov GPS $L_1=1.57542\text{GHz}$, če smo položaj uporabnika že natančno določili iz modulacije C/A oddaje! Točnost merjenja frekvence znaša $\Delta f=1\text{Hz}$. Geometrijski faktor povečanja pogreška je $\text{GDOP}=1.77$ za dano razporeditev satelitov na nebu. Pogreške ionosfere in troposfere zanemarimo. ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

$$\Delta v = \frac{\Delta f}{f_0} c \cdot \text{GDOP} = \frac{1\text{Hz}}{1.57542 \cdot 10^9\text{Hz}} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 1.77 = 0.337\text{m/s}$$

=====

1. Izračunajte občutljivost FM sprejemnika $U_{min}=?$ (v μV_{eff}) za govorno modulacijo $f_m < 3\text{kHz}$ in koleb $\Delta f = \pm 5\text{kHz}$! Sprejemnik ima šumno število $F=4\text{dB}$ in je pri meritvi občutljivosti priključen na merilni izvor, ki ima svojo notranjo šumno temperaturo $T_g = T_o = 293\text{K}$ enako temperaturi okolice. Pasovna širina sprejemnika B je točno prilagojena modulaciji, koleno FM demodulatorja je pri vhodnem $S/N=12\text{dB}$. ($k_b=1.38E-23\text{J/K}$)

$$B = 2f_m + 2\Delta f = 16\text{kHz} \quad S/N = 12\text{dB} = 16 \quad P_s = P_n \cdot S/N = 2.6 \cdot 10^{-15}\text{W}$$

$$T = T_g + T_s = T_o + T_o(10^{\frac{F}{10}} - 1) = 436\text{K}$$

$$P_n = B k_b T = 1.63 \cdot 10^{-16}\text{W} \quad Z_k = 50\Omega \quad U_{min} = \sqrt{P_s Z_k} = 0.36\mu V_{eff}$$

2. Popačenje VF dela radijskega sprejemnika opišemo s $P_{iip3} = -15\text{dBm}$ in $P_{iip5} = -10\text{dBm}$. Kolikšno moč motnje $P_m=?$ (nW) dobimo na frekvenci $f_m=103\text{MHz}$, če na vhod radijskega sprejemnika privedemo dva enako močna signala $P_s=200\text{nW}$ na frekvencah $f_1=98\text{MHz}$ in $f_2=100\text{MHz}$?

$$\left. \begin{array}{l} f_{iip3} = 96\text{MHz}, 102\text{MHz} \\ f_{iip5} = 94\text{MHz}, 104\text{MHz} \end{array} \right\} P_m(f_m=103\text{MHz}) = \underline{\underline{0}}$$

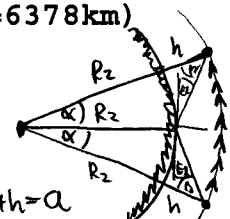
3. V OFDM oddajniku uporabimo izhodni ojačevalnik s $P_{1dB}=1\text{W}$. S kolikšno povprečno močjo $\langle P \rangle=?$ (mW) lahko deluje oddajnik, če naj ne bo P_{1dB} presežen za več kot $\Delta=1\%$ časa delovanja? Pri računu upoštevamo, da je število nosilcev OFDM zadosti veliko, da gostota verjetnosti trenutne moči oddajnika $p(P)$ ustreza Rayleigh-ovi porazdelitvi.

$$p(P) = \frac{1}{\langle P \rangle} e^{-\frac{P}{\langle P \rangle}} \quad \langle P \rangle = \frac{P_{1dB}}{-\ln \Delta} = \frac{1\text{W}}{-(-4.605)} = \underline{\underline{217\text{mW}}}$$

$$\Delta = \int_{P_{1dB}}^{\infty} p(P) dP = -e^{-\frac{P}{\langle P \rangle}} \Big|_{P_{1dB}}^{\infty} = e^{-\frac{P_{1dB}}{\langle P \rangle}}$$

4. Satelit kroži v polarni tirnici s periodo $T=100\text{min}$. Oddajnik na krovu omogoča prenos podatkov z zmogljivostjo $C=1\text{Mbit/s}$ pri elevacijah $E_l > 10\text{stopinj}$ nad obzorjem. Koliko podatkov $I=?$ (Mbit) sprejmemo ob najugodnejšem preletu, če vrtenje Zemlje zanemarimo? ($\mu=3.986E+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$)

Sinusni izrek:



$$a = \sqrt{\mu \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2} = 7137\text{km}$$

$$\frac{\sin \theta}{R_z} = \frac{\sin(E_l + \theta/2)}{a} \quad \theta = \arcsin\left(\frac{R_z}{a} \sin(E_l + \theta/2)\right) = 61.7^\circ$$

$$\alpha = \pi - (E_l + \theta/2) - \theta = 18.34^\circ$$

$$t = T \frac{2\alpha}{2\pi} = T \frac{\alpha}{\pi} = 10.13\text{min}$$

$$I = Ct = \underline{\underline{611.4\text{Mbit}}}$$

5. Kolikšna je povprečna poraba $P_{dc}=?$ (W) oddajnika letalskega radarskega odzivnika na frekvenci $f=1090\text{MHz}$ pri obremenitvi $n=1200\text{vprašanj/s}$ mode-A, odgovorih 7777 ter vključenim SPI? Dolžina impulzov odzivnika je predpisana $\Delta t=450\text{ns}$ z zahtevano vršno močjo $P=+27\text{dBW}$. Izkoristek oddajnika dosega $\eta=30\%$, v času med impulzi oddajnik ne troši moči.

$$P = +27\text{dBW} = 500\text{W}, N = 15\text{impulzov}$$

$$W = NP\Delta t = 3.375\text{mJ}$$

$$P_{dc} = \frac{W_n}{\eta} = \underline{\underline{13.5\text{W}}}$$

=====

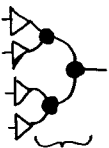
1. Zemeljska postaja je opremljena z anteno s šumno temperaturo $T_a=50K$ in antenskim predojačevalnikom s šumnim številom $F=0.5dB$ ter ojačanjem $G=15dB$. Kolikšna sme biti šumna temperatura sprejemnika $T_s=?$, ki je povezan na izhod predojačevalnika, da sprejemnik ne prispeva več kot $a=10\%$ skupne šumne moči pri sprejemu šibkih signalov iz vesolja. ($k_b=1.38E-23J/K$, $T_o=293K$)

$$T = T_o \left(10^{\frac{F}{10}} - 1 \right) = \underline{35.75K} \quad \sum T = \underbrace{T_a + T}_{1-a=90\%} + \underbrace{\frac{T_s}{G}}_{a=10\%}$$

$$G = 15dB = \underline{31.62}$$

$$T_s = G \frac{a}{1-a} (T_a + T) = \underline{301.3K}$$

2. Radiodifuzni oddajnik velike moči vsebuje vzporedno vezavo $N=128$ izhodnih stopenj, od katerih vsaka proizvaja moč $P_e=10W$. Par stopenj vežemo vzporedno z združevalnikom, ki vnaša $a=0.5dB$ izgub. Postopek ponavljamo, dva para ponovno združimo z enakim združevalnikom, nato dva četvorčka z enakim združevalnikom in tako naprej. Kolikšna je izhodna moč oddajnika $P=?$ in kolikšen je izkoristek $\eta=?$, če znaša izkoristek posamezne stopnje $\eta_{eae}=20\%$?



$$P = \frac{N P_e}{10^{\frac{a \log_2 N}{10}}} = \frac{128 \cdot 10W}{2.239} = \underline{572W} \quad \eta = \frac{\eta_e}{10^{\frac{a \log_2 N}{10}}} = \underline{8.93\%}$$

$$a \log_2 N = 0.5dB \log_2 128 = 0.5dB \cdot 7 = 3.5dB = 2.239$$

3. Komunikacijski sistem s kodnim multipleksom (CDMA) gosti $N=100$ uporabnikov v skupni pasovni širini $B=5MHz$. Kolikšna je skupna zmogljivost sistema $C=?$ Naravni toplotni šum lahko zanemarimo, saj večino šuma proizvajajo sami uporabniki z naključno izbranimi razširitvenimi zaporedji. Sistem poskrbi za optimalno uravnavanje oddajnih moči (enakih) uporabnikov.

$$C = NB \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_N} \right) = NB \log_2 \left(1 + \frac{1}{N-1} \right) = NB \frac{\ln \left(\frac{N}{N-1} \right)}{\ln 2} = \underline{7.25 Mbit/s}$$

$$P_N = (N-1) P_s$$

4. Kolikšna je lahko največja ekscentričnost $e=?$ visoke eliptične tirnice z apogejem na višini $h_a=50000km$ nad površino Zemlje? Satelit se Zemlji ne sme približati na manj kot $h=200km$, da ne zgori v ozračju. Kolikšna je perioda $T=?$ takšne tirnice? ($R_z=6378km$, $u=3.986E+14m^3/s^2$, $T_z=1436min$)

$$h_p = h = 200km \quad a = \frac{r_p + r_a}{2} = 31478km \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} = \underline{55580s = 15h 26' 20s = 926.33min}$$

$$r_p = h_p + R_z = 6578km = a(1-e)$$

$$r_a = h_a + R_z = 56378km \quad e = 1 - \frac{r_p}{a} = \underline{0.791}$$

5. Letalo se premika premočrtno s hitrostjo $v=360km/h$. Medtem se približa pulzno-doppler-jevemu radarju na najmanjšo razdaljo $d=10km$. Koliko časa $t=?$ radar ne vidi letala, če je prag za doppler-jev pomik nastavljen na minimalno hitrost $v_{min}=50m/s$?

$$v_{min} = v \sin \alpha$$

$$\alpha = \arcsin \frac{v_{min}}{v} = \underline{30^\circ = \frac{\pi}{6}}$$



$$t = \frac{2d \tan \alpha}{v} = \frac{2 \cdot 10km \cdot 0.577}{100m/s} = \underline{115.5s}$$

1. Moč oddajnika in dobitok antene na krovu plovila v bližini planeta Mars omogočata teoretsko zmogljivost radijske zveze $C=1\text{Mbps}$ v neomejeni pasovni širini. Kolikšna bo zmogljivost resnične radijske zveze $C'=?$, če uporabimo nekodirano QPSK ter upoštevamo izgubo demodulatorja resničnega sprejemnika $a=2\text{dB}$ pri zahtevanem $\text{BER}<1\text{E}-6$?

razmerje Shannon/QPSK = 12dB @ BER = 10^{-6}

12dB = 15,84

$a=2\text{dB} = 1,58$

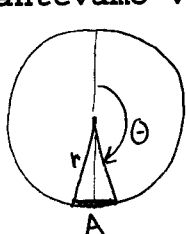
$$C' = \frac{C}{\frac{\text{Shannon}}{\text{QPSK}} \cdot a} = \underline{\underline{40\text{ kbit/s}}}$$

2. Sprejemnik je povezan na anteno preko koaksialnega kabla z izgubami $a=-2\text{dB}$ na sobni temperaturi $T_0=293\text{K}$. Skupna šumna temperatura sistema vključno z anteno znaša tedaj $T=550\text{K}$. Kolikšna bo šumna temperatura sistema $T'=?$, če sprejemnik povežemo neposredno na anteno? ($T_a=120\text{K}$, $k_b=1.38\text{E}-23\text{J/K}$)

$T_{sk} = T - T_a = \underline{430\text{K}}$ $F_s = F_{sk} + a = \underline{1.92\text{dB}}$ $T' = T_a + T_s = \underline{\underline{283\text{K}}}$

$F_{sk} = 10 \log_{10} \left(1 + \frac{T_{sk}}{T_0} \right) = \underline{3.92\text{dB}}$ $T_s = T_0 \left(10^{\frac{F_s}{10}} - 1 \right) = \underline{163\text{K}}$

3. Satelit je opremljen z majhno anteno za telekomando s smernim diagramom $F(\theta) = 1 + \cos(\theta)$. Kolikšno rezervo moči $a=?$ (v dB) potrebuje oddajnik zemeljske postaje glede na najboljši primer, če je lega satelita naključna in zahtevamo verjetnost izpada zveze $P_{izpada} < 0.01\%$?



$P_{izpada} = \frac{A}{4\pi r^2} = \frac{1 + \cos\theta}{2} \rightarrow 1 + \cos\theta = 2 P_{izpada} = \underline{2 \cdot 10^{-4}}$

$A = 2\pi r h = 2\pi r^2 (1 + \cos\theta)$

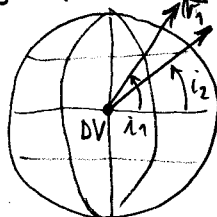
$h = r + r \cos\theta$

$a = 20 \log_{10} \left| \frac{F(\theta_m, \phi_m)}{F(\theta, \phi)} \right| = 20 \log_{10} \frac{2}{2 \cdot 10^{-4}} = \underline{\underline{80\text{dB}}}$

4. Mednarodna vesoljska postaja ISS in kitajska vesoljska postaja TIANGONG1 obe krožita okoli Zemlje na povprečni višini $h=350\text{km}$, torej obstaja nevarnost trčenja. S kolikšno medsebojno hitrostjo $\Delta v=?$ bi postaji trčili v dvižnem vozlu svojih tirnic, če znaša naklon tirnice ISS $i_1=51.8\text{stopinj}$, naklon TIANGONG1 pa $i_2=42.8\text{stopinj}$? ($u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $R_z=6378\text{km}$)

$v = \sqrt{\frac{\mu}{h + R_z}} = \underline{7697\text{m/s}}$

$\vec{\Delta v} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$



$\Delta v = v \cdot 2 \sin \frac{i_1 - i_2}{2}$

$\Delta v = 7697\text{m/s} \cdot 2 \sin \frac{51.8^\circ - 42.8^\circ}{2}$

$\Delta v = \underline{\underline{1208\text{m/s}}}$

5. Antena za frekvenco $L_1=1575.42\text{MHz}$ je povezana s koaksialnim kablom dolžine $l=50\text{m}$ do GPS sprejemnika na krovu letala. Kolikšno je pričakovano odstopanje izračunanega položaja letala $\Delta r=?$ pri $\text{GDOP}=2$? Kabel vsebuje dielektrik z $\epsilon_r=2.6$, kar dodatno upočasnjuje valovanje v kablju. Izgube kabla nadomešča ojačevalnik pri anteni. ($c=3\text{E}+8\text{m/s}$)

Zahasnitev kabla se v navigacijskih enačbah natančno odšteje $\rightarrow \underline{\underline{\Delta r=0}}$
(GPS sprejemnik vedno izračuna položaj antene!)

=====

1. Satelit oddaja telemetrijo z zmogljivostjo $C=1\text{Mbit/s}$ preko QPSK radijske zveze. Sprejemna postaja na Zemlji je načrtovana za pogostnost napak $\text{BER}=1.E-6$ pri izgubi resničnega QPSK demodulatorja $a=1\text{dB}$. Kolikšna je teoretska zmogljivost $C'=?$ istega oddajnika in iste sprejemne postaje v neskončni pasovni širini z idealnim demodulatorjem?

$$\text{BER}=10^{-6} \rightarrow \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{QPSK}} \approx \underline{10.4\text{dB}} \quad C' = 20 \cdot C = \underline{20\text{Mbit/s}}$$

$$\ln 2 = \underline{-1.6\text{dB}}$$

$$a=1\text{dB} \quad 1\text{dB} + 10.4\text{dB} - (-1.6\text{dB}) = 13\text{dB} = 20$$

2. Sprejemnik ima šumno število $F_s=10\text{dB}$ in vhodno presečno točko $\text{IMD3 } P_{\text{ip}3s}=-10\text{dBm}$. Kolikšno šumno število $F=?$ lahko dosežemo z dodatnim predojačevalnikom na vходу sprejemnika, če naj vhodna presečna točka verige ne bo manjša od $P_{\text{ip}3}=-20\text{dBm}$? Sam predojačevalnik ima šumno število $F_0=3\text{dB}$, nastavljivo ojačanje in zanemarljivo majhno popačenje v primerjavi s sprejemnikom. ($k_B=1.38E-23\text{J/K}$, $T_0=293\text{K}$)

$$P_{\text{ip}3} = P_{\text{ip}3s} - G \quad [dB] \quad F_s = 10\text{dB} = 10$$

$$F_0 = 3\text{dB} = 2$$

$$G_{\text{max}} = P_{\text{ip}3s} - P_{\text{ip}3} = \underline{10\text{dB}} \quad F = F_0 + \frac{F_s - 1}{10} = 2 + \frac{10 - 1}{10} = 2.9 = \underline{4.62\text{dB}}$$

3. Na kakšni razdalji $d_m=?$ lahko ponovno uporabimo isti radiofrekvenčni kanal, če znaša uporaben domet oddajnika $d_u=3\text{km}$? Sprejemnik zahteva razmerje signal/šum(motnja) vsaj $S/N=12\text{dB}$. Domet radijske zveze omejuje odboj od tal. Pri Rayleigh-ovi statistiki presih zahtevamo izpad zveze manj kot $P_{\text{izpada}}=1\%$. Presih motilca zanemarimo.

$$P_{\text{izpada}} = 1 - e^{-\frac{P_{\text{min}}}{\langle P_s \rangle}} \approx \frac{P_{\text{min}}}{\langle P_s \rangle} = 1\% = \underline{-20\text{dB}} \quad S/N = 12\text{dB} = 16$$

$$d_m = d_u \sqrt[4]{\left(\frac{S}{N}\right) \cdot \frac{\langle P_s \rangle}{P_{\text{min}}}} = 3\text{km} \sqrt[4]{16 \cdot 100} = 3\text{km} \cdot 6.3 = \underline{19\text{km}}$$

4. Koliko mesecev $t=?$ traja potovanje na planet Mars, če zapustimo Zemljo v najugodnejšem trenutku v periheliju prenosne eliptične tirnice in že v sledečem apoheliju priletimo na Mars? V izračunu privzamemo, da sta tirnici Zemlje in Marsa približno krožnici okoli Sonca, kjer je velika polos Marsove tirnice $a_{\text{Mars}} = 1.524$ a_{Zemlja} . ($T_{\text{Zemlja}} = 12$ mesecev)

III Keplerjev zakon Prenosna tirnica $a_p = \frac{a_{\text{Zemlja}} + a_{\text{Mars}}}{2} = 1.262 a_{\text{Zemlja}}$

$$\left(\frac{T_p}{T_z}\right)^2 = \left(\frac{a_p}{a_{\text{Zemlja}}}\right)^3 \quad T_p = T_{\text{Zemlja}} \sqrt[3]{\left(\frac{a_p}{a_{\text{Zemlja}}}\right)^3} = 12\text{mesecev} \sqrt[3]{(1.262)^3} = 12\text{mes} \cdot 1.418 = \underline{17\text{mesecev}}$$

$$t = T_p/2 = \underline{8.5\text{mesecev}}$$

5. Turbopropellersko letalo ATR-72 se v megli približuje stezi pri Brniku. Šestkraki propelerji amplitudno modulirajo radijske signale ILS na frekvenci $f=110.500\text{MHz}$. Katerim vrtiljajem propelerjev $n=?$ (obr/min) se mora pilot izogibati med približevanjem stezi, da neželjena amplitudna modulacija propelerjev ne moti radionavigacije ILS (90Hz in 150Hz)?

$$f_m = \frac{N \cdot n}{60\text{s/min}} \quad N=6 \quad n = \frac{60\text{s/min}}{6} f_m = \underline{900\text{vrt/min}, 1500\text{vrt/min}}$$

=====

1. Usmerjena mikrovalovna zveza točka-točka dosega zmogljivost $C=100\text{Mbit/s}$ z oddajnikom moči $P=1\text{W}$ v pasovni širini $B=40\text{MHz}$. Kolikšno moč oddajnika P' potrebujemo za povečanje zmogljivosti radijske zveze na $C'=150\text{Mbit/s}$, če ostanejo vsi ostali podatki radijske zveze nespremenjeni, vključno s pasovno širino B . Popačenje kakovostne radijske poti ne moti zveze.

$$C = B \log_2(1 + \frac{S}{N}) \rightarrow \frac{S}{N} = 2^{\frac{C}{B}} - 1 = 2^{\frac{100}{40}} - 1 = 4.657$$

$$(\frac{S}{N})' = 2^{\frac{C'}{B}} - 1 = 2^{\frac{150}{40}} - 1 = 12.45 \quad P' = P \frac{(\frac{S}{N})'}{\frac{S}{N}} = \frac{12.45}{4.657} \cdot 1\text{W} = \underline{\underline{2.67\text{W}}}$$

2. Kolikšno najvišje šumno število $F_{\text{max}}=?$ sme imeti sprejemnik, da skupna šumna temperatura sistema ne preseže vrednosti $T_{\text{max}}=100\text{K}$? Brezizgubna antena je obrnjena v hladno nebo s šumno temperaturo $T_n=10\text{K}$ na frekvenci $f=4\text{GHz}$. Med anteno in sprejemnik je vgrajen predojačevalnik s šumnim številom $F_o=0.5\text{dB}$ in ojačanjem $G_o=20\text{dB}$. ($k_b=1.38\text{E-}23\text{J/K}$, $T_o=293\text{K}$)

brezizgubna antena $T_A = T_N = \underline{10\text{K}}$

$G_o = 20\text{dB} = \underline{100}$

ojačevalnik $T = T_o \cdot (10^{\frac{F_o}{10}} - 1) = 293\text{K} \cdot (10^{\frac{0.5}{10}} - 1) = \underline{35.8\text{K}}$

$T_{\text{max}} = T_A + T + \frac{T_{\text{smax}}}{G_o} \rightarrow T_{\text{smax}} = G_o(T_{\text{max}} - T_A - T) = \underline{5425\text{K}} \quad F_{\text{max}} = 10 \log_{10}(\frac{T_{\text{smax}}}{T_o} + 1) = \underline{\underline{12.9\text{dB}}}$

3. Radijski sprejemnik ima presečno točko IMD tretjega reda $P_{\text{ip}3}=-10\text{dBm}$ in presečno točko petega reda $P_{\text{ip}5}=-15\text{dBm}$, oboje merjeno na vходу sprejemnika. Pri kateri moči vhodnih signalov $P_1=P_2=?$ (v dBm) na pripadajočih frekvencah $f_1=218\text{MHz}$ in $f_2=222\text{MHz}$ bojo vsi intermodulacijski produkti enako močni? Kolikšna je tedaj moč posameznega IMD produkta $P_{\text{imd}}=?$

Račun v log.enotah dBm: $P = P_1 = P_2 = 2P_{\text{ip}3} - P_{\text{ip}5} = 2 \cdot (-10\text{dBm}) - (-15\text{dBm}) = \underline{\underline{-20\text{dBm}}}$

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{im}3} = 3P - 2P_{\text{ip}3} \\ P_{\text{im}5} = 5P - 4P_{\text{ip}5} \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} 5P - 4P_{\text{ip}5} = 3P - 2P_{\text{ip}3} \\ 2P = 4P_{\text{ip}5} - 2P_{\text{ip}3} \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} P_{\text{im}3} = 3(-20\text{dBm}) - 2(-10\text{dBm}) = \underline{\underline{-40\text{dBm}}} \\ P_{\text{im}5} = 5(-20\text{dBm}) - 4(-15\text{dBm}) = \underline{\underline{-40\text{dBm}}} \end{array} \right.$$

4. Satelitsko sprejemno postajo postavimo v kotlino sredi gozda, kjer znaša povprečna moč motenj drugih (zemeljskih) oddajnikov $\langle P_m \rangle = -130\text{dBm}$. Kolikšen odstotek $\eta=?$ sprejema šibkih signalov iz vesolja $P_s = -107\text{dBm}$ bo moten, če zahtevamo razmerje signal/motnja $(S/I)_{\text{min}}=15\text{dB}$ in se motnje zemeljskih oddajnikov podrejajo Rayleigh-ovi statistiki?

$\langle P_m \rangle = -130\text{dBm} = 10^{-16}\text{W}$ $\rightarrow P(P_m) = \frac{1}{\langle P_m \rangle} e^{-\frac{P_m}{\langle P_m \rangle}}$

$P_{\text{mmax}} = P_s - (S/I)_{\text{min}} = -122\text{dBm} = 6.31 \cdot 10^{-16}\text{W}$

$\eta = \int_{P_{\text{mmax}}}^{\infty} P(P_m) dP_m = e^{-\frac{P_{\text{mmax}}}{\langle P_m \rangle}} = e^{-6.31} = \underline{\underline{0.182\%}}$

5. Izračunajte čas $t=?$, ki ga potrebuje 12-kanalni GPS sprejemnik za začetno sinhronizacijo na prvi GPS satelit. Brez podatkov iz almanaha mora sprejemnik preizkusiti vseh $N=32$ C/A zaporedij, čeprav jih je na nebu vidnih samo $N'=8$ satelitov. Za vsako C/A zaporedje mora sprejemnik preizkusiti vse možne faze, preizkus vsake faze traja $t_o=10\text{ms}$. Zaradi Doppler-jevega pomika in odstopanja lastne frekvence mora narediti sprejemnik $M=10$ poskusov na različnih frekvencah.

$t = \frac{1}{2} t_o \cdot 1023 \cdot \frac{N}{N'} \cdot M \cdot \frac{1}{K} = \frac{1}{2} \cdot 0.01\text{s} \cdot 1023 \cdot \frac{32}{8} \cdot 10 \cdot \frac{1}{12} = \underline{\underline{17.05\text{s}}}$

↑ v povprečju najdemo satelit v polovičnem času

1. WiFi dostopna točka se nahaja v zaprtem prostoru in ima sprejemnik s šumnim številom $F=5\text{dB}$. Kolikšna je občutljivost sprejemnika $P_{\text{min}}=?$ (dBm) pri prenosni zmogljivosti $C=54\text{Mbit/s}$ v radiofrekvenčnem kanalu širine $B=20\text{MHz}$? Izguba uporabljene modulacije in kodiranja znaša $a=7\text{dB}$. ($k_B=1.38\text{E-}23\text{J/K}$, $T_0=293\text{K}$)

$$C = B \log_2(1 + \frac{S}{N}) \quad F = S_{\text{dB}} = 3.16 \quad P_{\text{min dB}} = P_{\text{redB}} + (\frac{S}{N})_{\text{dB}} + a_{\text{dB}} = -81.5 \text{ dBm} = 7 \mu\text{W}$$

$$\frac{S}{N} = 2^{\frac{C}{B}} - 1 = 5.498 = 7.4 \text{ dB} \quad T_A = T_0 \rightarrow T_A + T_S = T_0 F$$

$$P_N = B k_B (T_A + T_S) = B k_B T_0 F = 2.557 \cdot 10^{-13} \text{ W} = -95.9 \text{ dBm}$$

2. Na vходу radijskega sprejemnika so prisotni trije močni signali na frekvencah $f_1=95\text{MHz}$, $f_2=98\text{MHz}$ in $f_3=100\text{MHz}$. Zapišite frekvence vseh intermodulacijskih produktov tretjega reda, ki padejo v frekvenčni pas sprejemnika 88...108MHz!

$$\begin{aligned} 2f_1 - f_2 &= \underline{92\text{MHz}} & 2f_1 - f_3 &= \underline{90\text{MHz}} & 2f_2 - f_2 &= \underline{96\text{MHz}} & f_1 + f_2 - f_3 &= \underline{93\text{MHz}} \\ 2f_2 - f_1 &= \underline{101\text{MHz}} & 2f_3 - f_1 &= \underline{105\text{MHz}} & 2f_3 - f_2 &= \underline{102\text{MHz}} & f_2 + f_3 - f_1 &= \underline{103\text{MHz}} \\ & & & & & & f_3 + f_1 - f_2 &= \underline{97\text{MHz}} \end{aligned}$$

3. Domet bazne postaje mobilne telefonije omejujeta na $d=2\text{km}$ odboj od tal in dopustna verjetnost izpada zveze $P=2\%$. Na kateri razdalji $d'=?$ naraste verjetnost izpada zveze na $P'=50\%$ ob nespremenjenih pogojih razširjanja radijskih valov?

Rayleigh:

$$P_{\text{izpada}} = 1 - e^{-\frac{P_{\text{SMIN}}}{\langle P_S \rangle}} \rightarrow \langle P_S \rangle = -P_{\text{SMIN}} \ln(1 - P_{\text{izpada}}) = 0.0202 P_{\text{SMIN}}$$

$$\langle P_S' \rangle = -P_{\text{SMIN}} \ln(1 - P_{\text{izpada}}') = 0.693 P_{\text{SMIN}}$$

$$\frac{\langle P_S' \rangle}{\langle P_S \rangle} = \left(\frac{d}{d'}\right)^4 \rightarrow d' = d \sqrt[4]{\frac{\langle P_S' \rangle}{\langle P_S \rangle}} = 2 \text{ km} \sqrt[4]{\frac{0.693}{0.0202}} = \underline{4.84 \text{ km}}$$

4. Tirnice satelitov navigacijskega sistema Galileo so krožnice s periodo $T=14\text{h}$. Kolikšna je ekscentričnost $e=?$ prenosne eliptične tirnice, če izstrelitev in dokončno vtirjenje izvedemo z dvema diskretnima sunkoma sile (Hohmann-ov prenos)? ($R_z=6378\text{km}$, $u=3.986\text{E}+14\text{m}^3/\text{s}^2$, $T_z=1436\text{min}$)

$$r_a = a_k = \sqrt[3]{\mu \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2} = 29490 \text{ km} = \frac{p}{1-e} \rightarrow \frac{r_a}{r_p} = \frac{1+e}{1-e} \rightarrow \frac{r_a}{r_p} - e \frac{r_a}{r_p} = 1+e$$

$$r_p = R_z = 6378 \text{ km} = \frac{p}{1+e} \quad e = \frac{\frac{r_a}{r_p} - 1}{\frac{r_a}{r_p} + 1} = \frac{4.624 - 1}{4.624 + 1} = \underline{0.644}$$

5. Pogrešek izračuna položaja uporabnika zaradi ionosfere znaša $\Delta r_1=30\text{m}$ na frekvenci $L_1=1575.42\text{MHz}$ navigacijskih satelitov GPS. Kolikšen je pogrešek $\Delta r_2=?$ na frekvenci $L_2=1227.6\text{MHz}$ ob istem naboru satelitov (nespremenjen GDOP)?

$$\Delta r = \alpha f^{-2} \rightarrow \Delta r_2 = \Delta r_1 \left(\frac{f_{L_1}}{f_{L_2}}\right)^2 = 30 \text{ m} \left(\frac{1575.42 \text{ MHz}}{1227.6 \text{ MHz}}\right)^2 = \underline{49.4 \text{ m}}$$

1. Moč toplotnega šuma na vходу sprejemnika mobilnega telefona znaša $P_n = -110 \text{ dBm}$. Popačenje v sprejemniku določa presečno točko tretjega reda $P_{iip3} = -20 \text{ dBm}$. Pri kateri povprečni moči sprejema $\langle P_s \rangle = ?$ (dBm) intermodulacijsko popačenje preseže moč toplotnega šuma s pogostnostjo $P = 0.1\%$, če se moč sprejetega signala P_s podreja Rayleigh-ovi porazdelitvi?

$$P_{iip3} [\text{dBm}] = P_{ind3} [\text{dBm}] = 3P_{max} [\text{dBm}] - 2P_{iip3} [\text{dBm}]$$

$$P_{max} = \frac{1}{3} (P_n + 2P_{iip3}) = \frac{-110 + 2(-20)}{3} = -50 \text{ dBm} = 10 \text{ nW}$$

$$p(P_s) = \frac{1}{\langle P_s \rangle} e^{-\frac{P_s}{\langle P_s \rangle}} \quad (\text{Rayleigh})$$

$$P = \int_0^{+\infty} p(P_s) dP_s = e^{-\frac{P_{max}}{\langle P_s \rangle}}$$

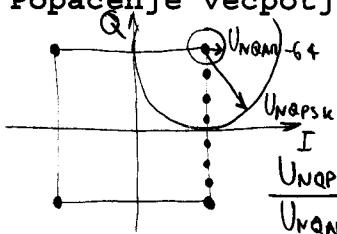
$$\langle P_s \rangle = \frac{P_{max}}{-\ln P} = \frac{10 \text{ nW}}{-(-6,908)} = 1,45 \text{ nW} = -58,4 \text{ dBm}$$

2. MMIC ojačevalnik ima ojačanje $G = 17 \text{ dB}$ in šumno število $F = 4,5 \text{ dB}$ pri sobni temperaturi $T_0 = 293 \text{ K}$. Vhod ojačevalnika zaključimo na prilagojeno breme na sobni temperaturi, da izhod uporabimo kot umerjen izvor šuma. Kolikšna je šumna temperatura $T = ?$ (K) takšnega izvora in kolikšen je njegov ENR = ? (dB)? ($k_B = 1,38 \text{ E} - 23 \text{ J/K}$)

$$\text{ENR} [\text{dB}] = F [\text{dB}] + G [\text{dB}] = 21,5 \text{ dB}$$

$$T = T_0 \cdot 10^{\frac{\text{ENR}}{10}} = 293 \text{ K} \cdot 10^{\frac{21,5}{10}} = 41400 \text{ K}$$

3. Mikrovalovna zveza točka-točka dosega domet $d = 28 \text{ km}$ v praznem prostoru z modulacijo QPSK in usmerjenima antenama. Kolikšen domet $d' = ?$ doseže ista zveza v enakih pogojih, če zmogljivost potrojimo $C' = 3C$ z uporabo modulacije QAM-64 pri nespremenjeni pogostnosti napak BER? Vršna moč oddajnika ostane enaka. Popačenje večpotja je majhno in ga znamo popolnoma popraviti.



$$d' = d \sqrt{\frac{(P_s/P_n)_{\text{QPSK}}}{(P_s/P_n)_{\text{QAM64}}}} = d \sqrt{\left(\frac{U_{\text{QAM64}}}{U_{\text{QPSK}}}\right)^2} = \frac{1}{7} d = 4 \text{ km}$$

$$\frac{U_{\text{QPSK}}}{U_{\text{QAM64}}} = 7 \quad P_s/P_n \propto d^{-2} \quad (\text{prazen prostor})$$

4. Zaradi trenja z zemeljskim ozračjem se je tirnica mednarodne vesoljske postaje ISS spustila na višino $h' = 300 \text{ km}$ nad površjem Zemlje. Kolikšni spremembi hitrosti $\Delta v_1 = ?$ in $\Delta v_2 = ?$ potrebujemo, da vesoljsko postajo pripeljemo nazaj v nazivno krožnico na višini $h = 350 \text{ km}$ z najmanjšo porabo raketnega goriva? ($R_z = 6378 \text{ km}$, $u = 3,986 \text{ E} + 14 \text{ m}^3/\text{s}^2$)

$$d' = R_z + h' = 6678 \text{ km} \quad v' = \sqrt{\frac{\mu}{a'}} = 7726 \text{ m/s} \quad v_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{a'} - \frac{1}{a_p}\right)} = 7740 \text{ m/s} \quad \Delta v_1 = v_p - v' = 14,33 \text{ m/s}$$

pravilna elipsa $\rightarrow a_p = \frac{a' + a}{2} = 6703 \text{ km}$

$$a = R_z + h = 6728 \text{ km} \quad v = \sqrt{\frac{\mu}{a}} = 7697 \text{ m/s} \quad v_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{a} - \frac{1}{a_p}\right)} = 7682 \text{ m/s} \quad \Delta v_2 = v - v_a = 14,37 \text{ m/s}$$

5. Potniško letalo se pri inštrumentalnem pristajanju na Brniku nahaja na točki Outer Marker na razdalji $d = 4,4 \text{ nm}$ (navtičnih milj) od praga steze. Kolikšno zakasnitev $\Delta t = ?$ (us) tedaj izmeri DME izpraševalnik na krovu letala, če DME odzivnik "LJB" na pragu steze sam vnaša dodatno zakasnitev $t' = 50 \text{ us}$? Odzivnik "LJB" dela na kanalu 42X: $f_{tx} = 1003 \text{ MHz}$ in $f_{rx} = 1066 \text{ MHz}$.

$$d = 4,4 \text{ nm} = 4,4 \text{ nm} \cdot \frac{1852 \text{ m}}{1 \text{ nm}} = 8149 \text{ m}$$

$$\Delta t = \frac{2d}{c_0} + t' = \frac{2 \cdot 8149 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} + 50 \text{ us} = 54,3 \text{ us} + 50 \text{ us} = 104,3 \text{ us}$$

=====

1. Izračunajte domet zveze $r=?$ (km) med dvema ročnima radijskima postajama (toki-vokijema) v povsem praznem prostoru ($c=3E+8m/s$) na frekvenci $f=450MHz$! Izhodna moč oddajnika znaša $P_0=300mW$, šumna temperatura sprejemnika $T_s=500K$. Za zadovoljiv sprejem potrebujemo razmerje $S/N=12dB$ v pasovni širini $B=15kHz$. Toki-vokija sta opremljena z neusmerjenima antenama $G=1$ in $T_a=290K$.

$$P_N = B \cdot k_B \cdot (T_A + T_S) = \frac{1,64 \cdot 10^{-16} W}{}$$

$$P_S = P_0 G^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad \lambda = c/f = \underline{66,7cm}$$

$$P_S = P_N \cdot (S/N) = P_N \cdot 10^{\frac{12}{10}} = \underline{2,59 \cdot 10^{-15} W} \quad r = \frac{\lambda G}{4\pi} \sqrt{\frac{P_0}{P_S}} = \underline{571km}$$

2. Na vhod radijskega sprejemnika pripeljemo tri enako močne signale ($P_{lin}=-30dBm$ vsak) s frekvencami $f_1=100MHz$, $f_2=102MHz$ in $f_3=103MHz$, ki so frekvenčno modulirani z različnimi informacijami (tri različne UKV radiodifuzne postaje). Določite moč $P_{iip3}=?$ (dBm) presečne točke na vходу sprejemnika, če znaša povprečna jakost motnje $P_{imd3}=-67dBm$ na frekvenci $f_4=104MHz$!

$$f_4 = 2f_3 - f_2 \rightarrow P_{iip3} = \frac{P_3^2 P_2}{P_{iip3}}$$

$$P_1 = P_2 = P_3 \rightarrow P_{iip3} = P_{iip3} = \frac{1}{2} P_{iip3} \text{ (nekoherentna signala)}$$

$$f_4 = 2f_2 - f_1 \rightarrow P_{iip3} = \frac{P_2^2 P_1}{P_{iip3}}$$

$$P_{iip3} = \frac{P_{lin}^3}{\frac{1}{2} P_{iip3}} \quad 2 \log P_{iip3} = 3 \log P_{lin} + 3dB - \log P_{iip3} = 3(-30dBm) + 3dB - (-67dBm) =$$

$$\rightarrow = -90dBm + 3dB + 67dBm = -20dBm \rightarrow \log P_{iip3} = -10dBm$$

3. Bazno postajo za mobilne komunikacije nadgradimo z anteno za dvopolarizacijski sprejem, ki ima enak dobitok G kot VP enopolarizacijska antena, le da je poševno linearno polarizirana $45/135$ stopinj. Izračunajte verjetnost izpada zveze $P_d=?$ pri dvopolarizacijskem sprejemu, če sta obe polarizaciji nekorelirani in preprosto izbiramo boljši sprejem! Verjetnost izpada zveze pri VP enopolarizacijskem sprejemu znaša $P_{vp}=2\%$. Pri dvopolarizacijskem sprejemu upoštevajte izgubo moči zaradi neskladnosti polarizacije!

$$P_{izpada} = 1 - e^{-\frac{P_{min}}{\langle P \rangle}} \approx \frac{P_{min}}{\langle P \rangle} \quad \langle P \rangle_{45} = \langle P \rangle_{135} = \frac{1}{2} \langle P \rangle_{vp} = 25 P_{min}$$

$$\langle P \rangle_{vp} = \frac{P_{min}}{0,02} = 50 P_{min} \quad P_d = P_{45} \cdot P_{135} = \left(\frac{P_{min}}{25 P_{min}} \right)^2 = \frac{1}{625} = 0,0016 = \underline{0,16\%}$$

4. Višina krožnice mednarodne vesoljske postaje ISS se počasi znižuje zaradi trenja z zemeljskim ozračjem. Ko višina upade na $h_{min}=300km$ nad površjem Zemlje, je treba krožnico postaje dvigniti nazaj na $h_{max}=400km$. Kolikšni sta potrebni spremembi hitrosti $\Delta v_1=?$ in $\Delta v_2=?$ (m/s) za najučinkovitejši Hohmannov prenos? ($R_z=6378km$, $u=3.986E+14m^3/s^2$) $a = \frac{u}{r^2} + \frac{h_{min} \Delta h_{max}}{2} = \underline{6728km}$

$$v_1 = \sqrt{\frac{\mu}{h_{min} + R_z}} = \underline{7725,8m/s} \quad v_p = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{h_{min} + R_z} - \frac{1}{a} \right)} = \underline{7754,5m/s} \quad \Delta v_1 = v_p - v_1 = \underline{28,7m/s}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{\mu}{h_{max} + R_z}} = \underline{7668,6m/s} \quad v_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{h_{max} + R_z} - \frac{1}{a} \right)} = \underline{7640,1m/s} \quad \Delta v_2 = v_2 - v_a = \underline{28,5m/s}$$

5. Pilot letala uporablja radionavigacijska svetilnika VOR in DME, ki se nahajata na istem mestu na površju Zemlje. Točnost meritve svetilnika VOR znaša $\Delta \theta_1 = \pm 1$ stopinja, točnost meritve odzivnika DME pa $\Delta t = \pm 0,7$ mikrosekunde.

Izračunajte, na kateri razdalji $r=?$ (km) od letala do obeh svetilnikov sta pogreška določanja položaja obeh sistemov $\Delta r_1 = \Delta r_2$ enako velika? ($c=3E+8m/s$)

$$\Delta r_1 = r \cdot \Delta \theta [rad] = r \cdot \Delta \theta [^\circ] \frac{\pi rad}{180^\circ} \quad r = \frac{\frac{1}{2} c \Delta t}{\Delta \theta [^\circ] \frac{\pi}{180^\circ}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^8 m/s \cdot 0,7 \mu s}{1^\circ \frac{\pi}{180^\circ}} = \underline{6016m \approx 6km}$$

$$\Delta r_2 = \frac{1}{2} c \Delta t$$