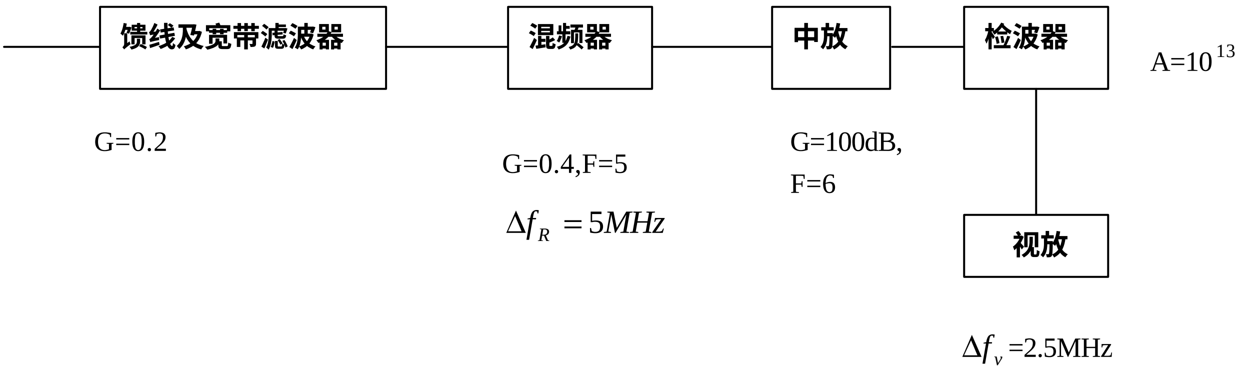
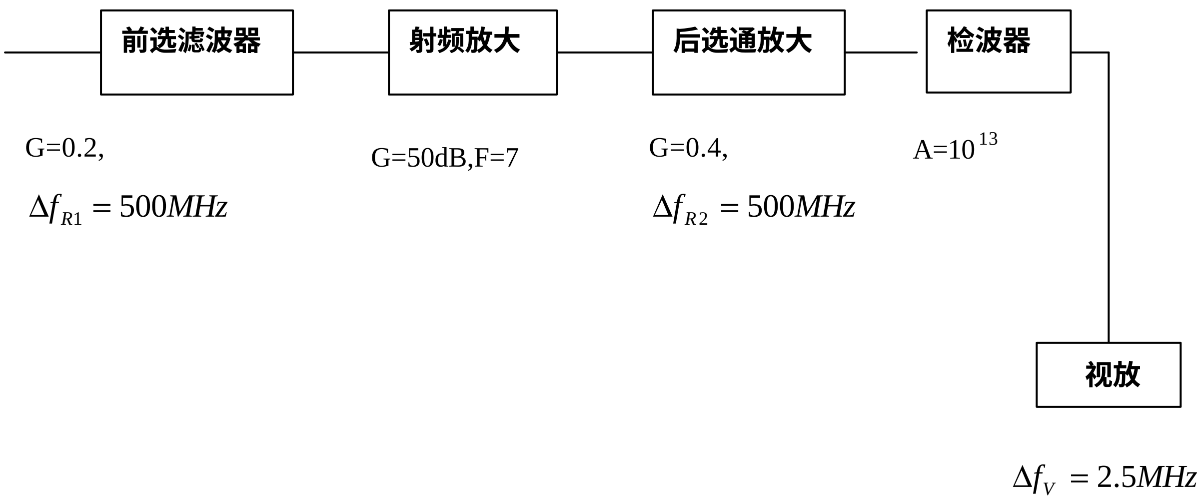
习题五

1. **已知某超外差接受机与射频调谐晶体视频接收机的组成分别如下图，其中的滤波器均为无冤源网络，试求它们的切线信号灵敏度。**





解：应用公式，

当 $\Delta f_V \le \Delta fR \le 2\Delta f_V$ **时**

$$P_{tss} = -114 + F_R + 10\lg[\ 3.1\Delta f_R + 2.5\sqrt{2\Delta f_R \Delta f_V - \Delta f_V{}^2 + 1.56\Delta f_R{}^2 + \frac{A\Delta f_V}{G_R{}^2 F_R{}^2}}\ ]\ dBmw$$

当 $\Delta f_R \ge 2\Delta f_V$ **时**

$$P_{tss}=-114+F_R+10\lg\left[\ 3.1\Delta f_R+2.5\sqrt{2\Delta f_R\Delta f_V-\Delta f_V{}^2+0.56\Delta f_R{}^2+\frac{A\Delta f_V}{G_R{}^2F_R{}^2}}\ \right]$$

$dBmw$

(1) $\Delta f_R=5MHz,\Delta f_V=2.5MHz$

属于 $\Delta f_V\le\Delta fR\le2\Delta f_V$

$$F_R=\frac{1}{0.2}(10^{0.5}+\frac{10^{0.6}-1}{0.4})=53.07=17.25dB$$

$$G_R=0.2\times0.4\times10^{10}=8\times10^8$$

$$\Delta f_R=5MHz\quad\Delta f_V=2.5MHz\quad A=10^{13}$$

$$P_{tss}=-114+17.25+10\lg\left[3.1\times5+2.5\sqrt{2\times5\times2.5-2.5^2+1.56\times5^2+\frac{10^{13}\times2.5}{\left(8\times10^8\right)^2\times53.07^2}}\right]$$

$$=-81.87dBmw$$

(2) $G_R=0.2\times0.4\times10^5=8\times10^{13}$

$$F_R=\frac{1}{0.2}\left(10^{0.7}+\frac{\frac{1}{0.4}-1}{10^5}\right)=25.06=13.99dB$$

$$\Delta f_R=500MHz\quad\Delta f_V=2.5MHz\quad A=10^{13}$$

属于 $\Delta f_R\ge2\Delta f_V$

$$P_{tss}=-114+13.99+10\lg\left[3.1\times2.5+2.5\sqrt{2\times500\times2.5+0.56\times2.5^2+\frac{10^{13}\times2.5}{\left(8\times10^3\right)^2\times25.06^2}}\right]$$

$$=-78.32dBmw$$

2. **某瞬时测频接收机的测频范围为** $1GHz\sim8GHz$, **检波后的视频带宽为** $10MHz$, **检波前的噪声系数为** $6dB$**，检波前增益为** 0.2 **，检波器常数** $A=10^{13}$**。试求其切线信号灵敏度。如果在检波前加装增益为** $50dB$ **、噪声系数为 6 的射频放大器，则其切线信号的灵敏度有什么变化？**

解： $\Delta f_V=100MHz\quad A=10^{13}$

(1) $F_R=6dB=4\quad G_R=0.2$

瞬时测频 $\Delta f_R=f_2-f_1=7GHz=700MHz$ **，** $\Delta f_R\ge2\Delta f_V$

$$P_{tss}=-114+6+10\lg\left(3.1\times10+2.5\sqrt{2\times700\times10+0.56\times10^2+\frac{10^{13}\times10}{0.2^2\times4^2}}\right)$$

$$=-33.05dBmw$$

（2）$G_R=10^5$， $\Delta f_E=700MHz$， $\Delta f_V=10MHz$， $F_R=6=7.78dB$

$$P_{tss}=-114+7.78+10\lg\left(31+2.5\sqrt{1.4\times10^5+0.56\times10^2+\frac{10^{13}\times10}{(10^5)^2\times6^2}}\right)$$

$$=-73.36dBmw$$

3. **某导弹快艇的水面高度为$1m$，雷达截面积为$400m^2$，侦察天线架设在艇上$10m$高的桅杆顶端，$G_r=0dB$,接收机灵敏度为$-40\ dBm$。试求该侦察机对下面两种雷达作用距离的优势r：**

（1）海岸警戒雷达，频率为$3GHz$，天线架设高度为$310m$，天线增益为$46dB$，发射脉冲功率为10^6W，接收机灵敏度为$-90dBm$。

（2）火控雷达，频率为$10GHz$，天线架设高度为$200m$，天线增益为$30dB$，发射脉冲功率为10^5W，接收机灵敏度为$-90dBm$。

解：$hr=10m$，$s=400m^2$，$G_r=0dB=1$　$P_{r\min}=-40dBm=10^{-7}w$

（1）$f_0=3\times10^9, l=0.1m, ha=310m, G_t=46dB=10^{4.6}=3.981\times10^4$

$P_t=10^6, P_{a\min}=-90_{dBm}=10^{-12}w, h_t=1m$

$$R_r=\left[\frac{P_tG_tG_r l^2}{(4p)^2P_{r\min}}\right]^{\frac{1}{2}}=\left[\frac{10^6\times3.981\times10^4\times1\times0.01}{(4p)^2\times10^{-7}}\right]^{\frac{1}{2}}=5021km$$

$$R_{sr}=4.1\times\left(\sqrt{10}+\sqrt{310}\right)=85.2km$$

$$R_r`=\min\{Rr,R_{sr}\}=85.2km$$

$$R_a=\left[\frac{P_tG_t^2 s\, l^2}{(4p)^3P_{a\min}}\right]^{1/4}=\left[\frac{10^6\times\left(3.981\times10^4\right)^2\times400\times0.01}{(4p)^3\times10^{-12}}\right]^{1/4}=945.34km$$

$$R_{sa}=4.1\left(\sqrt{ha}+\sqrt{ht}\right)=4.1\left(\sqrt{310}+\sqrt{1}\right)=76.3km$$

$$R_a`=\min\{R_a,R_{sa}\}=76.3km$$

$$r=\frac{R_r`}{R_a`}=\frac{85.2}{76.3}=1.12$$

（2） $f_0 = 10GHz, l = \frac{5\times10^8}{10\times10^9} = 0.03m$

$ha = 200m, G_t = 30dB = 10^3, P_t = 10^5 w, P_{a\min} = 10^{-9} mw = 10^{-12} w$

$$R_r = \left[\frac{P_t G_t G_r l^2}{(4p)^2 P_{r\min}}\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{10^5\times10^3\times1\times0.03^2}{(4p)^2\times10^{-7}}\right]^{\frac{1}{2}} = 7.55\times10^4 m = 75.5km$$

$R_{sr} = 4.1\times\left(\sqrt{10}+\sqrt{200}\right) = 70.95km$

$R_r` = 70.95km$

$$R_a = \left[\frac{P_t G_t^{\ 2} s l^2}{(4p)^3 P_{a\min}}\right]^{1/4} = \left[\frac{10^5\times10^6\times400\times0.03^2}{(4p)^3\times10^{-12}}\right]^{1/4} = 6.526\times10^4 m = 65.26km$$

$R_{sa} = 4.1\times\left(\sqrt{200}+\sqrt{1}\right) = 62.08km$

$R_a` = 62.08km$

$$r = \frac{R_r`}{R_a`} = \frac{70.95}{62.08} = 1.143$$

4. **已知敌舰载雷达的发射脉冲功率为**5×10^5W**，天线的增益为**$30dB$**，高度为** $20m$**，工作频率为**$3GHZ$**，接收机灵敏度为**$-90dBm$ **。我舰装有一部侦察警告系统，其接收天线增益为**$10dB$**，高度为**$30m$**,接收机灵敏度为**$-45dBm$**，系统损耗为**$13dB$**。我舰的水面高度为**$4m$**，雷达截面积为**$2500m^2$**，试求：**

（1）敌、我双方的警告距离；

（2）如果将该雷达装在飞行高度为$1000m$**的巡逻机上，敌我双方的警告距离有什么变化？**

（3）如果将警告系统装在飞行高度为$1000m$**的巡逻机上，敌我双方的警告距离有什么变化？**

解： $P_t = 5\times10^5, G_t = 30dB = 10^3, ha = 20m, f_0 = 3Ghz, l = 0.1m$

$P_{a\min} = 10^{-9} mw = 10^{-12} w, hr = 30m, G_r = 10^1 = 10$

$P_{r\min} = 10^{-4.5} mw = 3.162\times10^{-8} w, L = 10^{1..3} = 19.95$

$ht = 4m, s = 2500m^2$

（1） $$R_r = \left[\frac{P_t G_t G_r l^2}{(4p)^2 P_{r\min}}\right]^{1/2} = \left[\frac{5\times10^5\times10^3\times10\times0.01}{(4p)^2\times3.162\times10^{-8}}\right]^{1/2} = 708.4km$$

$$R_a = \left[\frac{P_t G_t{}^2 s\, l^2}{(4p)^3 P_{a\min}} \right]^{1/4} = \left[\frac{5\times10^5 \times10^6 \times2500\times0.01}{(4p)^3 \times10^{-12}} \right]^{1/4} = 281.7km$$

$$R_{sr} = 4.1\times\left(\sqrt{ha} + \sqrt{hr}\right) = 4.1\left(\sqrt{20} + \sqrt{30}\right) = 40.8km$$

$$R_{sa} = 4.1\times\left(\sqrt{ha} + \sqrt{ht}\right) = 4.1\left(\sqrt{20} + \sqrt{4}\right) = 26.5km$$

$$R_r` = 40.8km \quad R_a` = 26.5km \quad r = \frac{R_r`}{R_a`} = 1.54$$

（2） $ha = 1000m$

$$R_{sr} = 4.1\times\left(\sqrt{1000} + \sqrt{30}\right) = 152.11km$$

$$R_{sa} = 4.1\times\left(\sqrt{1000} + \sqrt{4}\right) = 137.85km$$

$$R_r` = 152.11km, R_a` = 137.85km, r = \frac{152.11}{137.85} = 1.103$$

雷达位置升高，r 减小，侦察距离优势减小。

（3） $hr = 1000m$

$$R_{sr} = 4.1\times\left(\sqrt{20} + \sqrt{1000}\right) = 148km$$

$$R_{sa} = 4.1\times\left(\sqrt{20} + \sqrt{4}\right) = 26.5km$$

$$R_r` = 148km\text{，} R_a` = 26.5km, r = \frac{R_r`}{R_a`} = 5.58$$

侦察系统距离变高，侦察距离优势增大

5. **某侦察卫星的飞行高度为$850km$，下视侦察天线增益为$10dB$，工作频率为$5GHz$，系统损耗为$9dB$；若被侦察的雷达发射脉冲功率为5×10^4W，平均旁瓣电平为$-15dB$。试问在旁瓣侦察的条件下，应如何要求侦察接收机的灵敏度？**

解：$hr = 850\times10^3 m \quad G_r = 10dB = 10 \quad f_0 = 5\times10^9 Hz$

$$l = \frac{3\times10^8}{5\times10^9} = 0.06m \quad L = 9dB = 10^{0.9} = 7.943$$

$$P_t = 5\times10^4 W \ \ G_{save} = -15dB = 0.0316$$

$$R_r = \left[\frac{P_t G_{save} G_r l^2}{(4p)^2 P_{r\min} L} \right]^{1/2}$$

当用卫星侦察时，只是下视侦察 $R_r = hr = 850\times10^3 m$

$$\therefore P_{r\min} = \frac{P_t G_{save} G_r l^2}{(4p)^2 R_r{}^2 L} = \frac{5\times10^4 \times 0.0316\times10\times0.06^2}{(4p)^2 \times (850\times10^3)^2 \times 7.943}$$

$$= 6.28\times10^{-14} w = 6.28\times10^{-11} mw$$

$$= -132 dBw = -102 dBmw$$

6. **已知侦察天线的水平波束宽度为$1°$，天线转速为$60r/\min$，雷达天线的水平波束宽度为$2°$，天线转速为$10r/\min$，侦察机只能侦收雷达天线主瓣的发射信号，截获只需要一个脉冲且不需要进行频率搜索。试求达到搜索概率分别为0.3、0.5、0.7和0.9所需的搜索时间。**

解：

侦察机：$T_1 = \frac{60s}{60} = 1s$　　　　**雷达：**$T_2 = \frac{60s}{10} = 6s$

$t_1 = \frac{1°}{360°}\times 1s = \frac{1}{360}s$　　　　$t_2 = 6\times\frac{2°}{360°} = \frac{1}{30}s$

$k = 1$**时，**T **时间内发生** 1 **次重合的概率为：**

$$P_{1(T)} = 1 - (1 - P_0)e^{-T/T_0}$$

$$\therefore T = -\overline{T_0}\times\ln\left(\frac{1-P_1(T)}{1-P_0}\right)$$

$$\overline{T_0} = \frac{\prod_{i=1}^{2}\frac{T_i}{t_i}}{\sum_{i=1}^{2}\frac{1}{t_i}} \quad P_0 = \prod_{i=1}^{2}\frac{t_i}{T_i}$$

通过上述公式，可以求出$P_1(T) = 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$**时的** T

7. **某侦察机采用全向天线测向、搜索法测频，搜索周期为 $100ms$ 以$10MHz$瞬时接收带宽搜索$2GHz$频率范围；雷达信号为固定频率。试求其对以下两种雷达信号截获概率，截获条件是在$10s$内测得 5 个以上脉冲。**

（1）脉冲重复周期为$1ms$，脉冲宽度为$1ms$；

（2）脉冲重复周期为$2.2ms$，脉冲宽度为$12ms$。

解：

$$T_1 = 100ms \quad t_1 = 100ms\times\frac{10M}{2G} = 0.5ms$$

（1）$T_2 = 1ms \quad t_2 = 1ms$

（2）$T_2 = 2.2ms \quad t_2 = 12ms$

$T = 10s$
$k \geq 5$

$$P_5(T) = \sum_{i=5}^{\infty} P(T,k) = 1 - \sum_{i=0}^{4} P(T,i)$$

求解 $P(T,i)$

$i = 0$ **时** $P(T,0) = (1 - P_0)e^{-T/T_0}$

$i \neq 0$ **时** $P(T,i) = P_0 \frac{\left(\frac{T}{T_0}\right)^{i-1}}{(i-1)!} e^{-T/T_0} + (1 - P_0)\frac{\left(\frac{T}{T_0}\right)}{i!} e^{-T/T_0}$

$\overline{T_0} = \frac{\prod_{i=1}^{2} \frac{T_i}{t_i}}{\sum_{i=1}^{2} \frac{1}{t_i}}$ $P_0 = \prod_{i=1}^{2} \frac{t_i}{T_i}$ $T = 10s$

代入公式求出 $P(T,0)$，$P(T,1)$，$P(T,2)$，$P(T,3)$，$P(T,4)$ **分别得出（**1**），（**2**）两种情况下的** $P_5(T)$