

第一章

1、雷达的基本概念：雷达概念(Radar) 雷达的任务是什么，从雷达回波中可以提取目标的哪些有用信息,通过什么方式获取这些信息

答：雷达是一种通过发射电磁波和接收回波，对目标进行探测和测定目标信息的设备。

任务：早期任务为测距和探测，现代任务为获取距离、角度、速度、形状、表面信息特性等。

回波的有用信息：距离、空间角度、目标位置变化、目标尺寸形状、目标形状对称性、表面粗糙度及介电特性。

获取方式：由雷达发射机发射电磁波，再通过接收机接收回波，提取有用信息。

2、目标距离的测量：测量原理、距离测量分辨率、最大不模糊距离

答：原理： $R=C\tau/2$

距离分辨力：指同一方向上两个目标间最小可区别的距离

$R_{max}= \dots$

3、目标角度的测量：方位分辨率取决于哪些因素

答：雷达性能和调整情况的好坏、目标的性质、传播条件、数据录取的性能

4、雷达的基本组成：哪几个主要部分，各部分的功能是什么

答：天线：辐射能量和接收回波

发射机：产生辐射所需强度的脉冲功率

接收机：把微弱的回波信号放大回收

信号处理机：消除不需要的信号及干扰，而通过加强由目标产生的回波信号

终端设备：显示雷达接收机输出的原始视频，以及处理过的信息

习题：

1-1. 已知脉冲雷达中心频率 $f_0=3000\text{MHz}$ ，回波信号相对发射信号的延迟时间为 $1000\ \mu\text{s}$ ，回波信号的频率为 $3000.01\ \text{MHz}$ ，目标运动方向与目标所在方向的夹角 60° ，求目标距离、径向速度与线速度。

目标距离：

$$R = \frac{c}{2} \frac{1000 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8}{2} = 1.5 \cdot 10^5 \text{ (m)} = 150 \text{ km}$$

波长：

$$\frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^9} = 0.1\text{m}$$

$$f_d = 3000.01 - 3000 \text{ MHz} = 10 \text{ KHz}$$

$$V_r = \frac{0.1}{2} \cdot 10^4 = 500 \text{ m /s}$$

$$V = \frac{500}{\cos 60} = 1000 \text{ m /s}$$

1-2. 已知某雷达对 $\sigma = 5\text{m}^2$ 的大型歼击机最大探测距离为 100Km ,

1-3. a) 如果该机采用隐身技术, 使 σ 减小到 0.1m², 此时的最大探测距离为多少?

1-4. b) 在 a) 条件下, 如果雷达仍然要保持 100Km 最大探测距离, 并将发射功率提高到 10 倍, 则接收机灵敏度还将提高到多少?

$$a) \quad R_{\max} = 100\text{Km} \cdot \frac{0.1}{5}^{\frac{1}{4}} = 37.6\text{Km}$$

$$b) \quad \frac{10}{kS_{\min}} = \frac{0.1}{S_{\min}} \cdot \frac{1}{5}, \quad k = \frac{1}{5} \cdot 0.2 = 7\text{dB}$$

1-5.

第二章:

1、雷达发射机的任务

答: 产生大功率特定调制的射频信号

2、雷达发射机的主要质量指标

答: 工作频率和瞬时带宽、输出功率、信号形式和脉冲波形、信号的稳定性和频谱纯度、发射机的效率

3、雷达发射机的分类

单级震荡式、主振放大式

4、单级震荡式和主振放大式发射机产生信号的原理, 以及各自的优缺点

答: 单级震荡式

原理: 大功率电磁震荡产生与调制同时完成, 以大功率射频振荡器做末级

优点: 结构简单、经济、轻便、高效

缺点: 频率稳定性差, 难以形成复杂波形, 相继射频脉冲不相参

主振放大式

原理: 先产生小功率震荡, 再分多级进行调制放大, 大功率射频功率放大器做末级

优点: 频率稳定度高, 产生相参信号, 适用于频率捷变雷达, 可形成复杂调制波形

缺点: 结构复杂, 价格昂贵、笨重

是非题:

1、雷达发射机产生的射频脉冲功率大, 频率非常高。

对

2、磁控管振荡产生周期性大功率的射频脉冲。

错

3、磁控管振荡产生周期性大功率的调制脉冲。

选错择题:

1、雷达的测距原理是利用电波的以下特性 __D__

A、在空间匀速传播

B、在空间直线传播

C、碰到物标具有良好反射性

D、以上都是

- 2、雷达测方位原理是利用__D__特性。
 A、雷达天线定向发射和接收 B、雷达天线 360° 旋转
 C、雷达天线与扫描线同步 D、以上都是
- 3、雷达发射机产生射频脉冲，其特点是__A__。
 A、周期性 大功率 B、周期性 小功率
 C、连续等幅 小功率 D、连续等幅 大功率
- 4、雷达之所以能够发射和接收共用一个雷达天线，是因为 C。
 A、雷达天线是定向天线 B、雷达天线是波导天线
 C、收发开关的转换作用 D、雷达天线用波导传输能量
- 5、雷达定时器产生的脉冲是——发射机产生的脉冲是__A__
 A、触发脉冲，射频脉冲 B、发射脉冲，视频脉冲
 C、触发脉冲，视频脉冲 D、发射脉冲，触发脉冲

计算题：

- 1、某雷达发射机峰值功率为 800KW，矩形脉冲宽度为 3μs，脉冲重复频率为 1000Hz，求该发射机的平均功率和工作比？

$$\text{重复周期: } T_r = \frac{1}{1000} = 1\text{ms},$$

$$\text{平均功率: } P_{av} = 8 \times 10^5 \times \frac{3}{1000} = 2400\text{W}$$

$$\text{工作比: } D = \frac{3}{1000} = 0.003$$

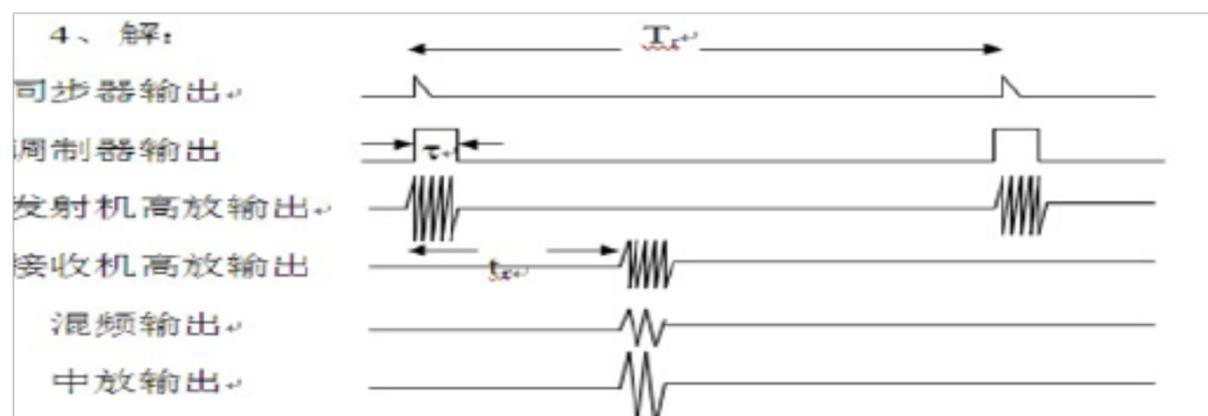
- 2、在什么情况下选用主振放大式发射机？在什么情况下选用单级振荡式发射机？

解：对发射信号的频率、相位和谱纯度任一参数有较高要求的情况下选用主振放大式发射机，参数均无较高要求的情况下选用单级振荡式发射机。

- 3、用带宽为 10Hz 的测试设备测得某发射机在距主频 1KHz 处的分布型寄生输出功率为 10μW，信号功率为 100mW，求该发射机在距主频 1KHz 处的频谱纯度。

$$L[1\text{KHz}] = 10 \lg \left(\frac{10}{100000 \times 10} \right) = -50\text{dBc}$$

- 4、画出 p6 图 1.5 中同步器、调制器、发射机高放、接收机高放和混频、中放输出信号的基本波形和时间关系。



第三章:

1.1 已知接收机内噪声在输出端的额定功率为 0.1W，额定功率增益为 10^{12} 测试带宽为 3MHz，求等效输入噪声温度和接收机噪声系数。

$$\Delta N = 0.1W \cdot F = 1 + \Delta N / (kT_0BG),$$

$$\therefore F = 1 + 0.1 / (1.38 \times 10^{-23} \times 290 \times 3 \times 10^6 \times 10^{12}) = 9.329$$

$$T_e = (F - 1)290 = 7.329 \times 290 = 2415.5(K)$$

2. 2P102 图 3.26 中的馈线、接收机放大器、限幅器增益均为 0.9，低噪声高放增益为 20dB，噪声系数 3，混频器增益为 0.2，相对噪声温度为 2，中放增益 120dB，噪声系数 6dB，求总噪声系数。如果去掉低噪声高放，则总噪声系数为多少？

无源总损耗： $0.9 \times 0.9 \times 0.9 = 0.729$ ，

混频器噪声系数： $F_c = 2 / 0.2 = 10$

总噪声系数：

$$F = \frac{1}{0.729} + \frac{3-1}{0.729} + \frac{10-1}{0.729 \times 10^2} + \frac{4-1}{0.729 \times 10^2 \times 0.2} = 4.44$$

去掉低噪声高放：

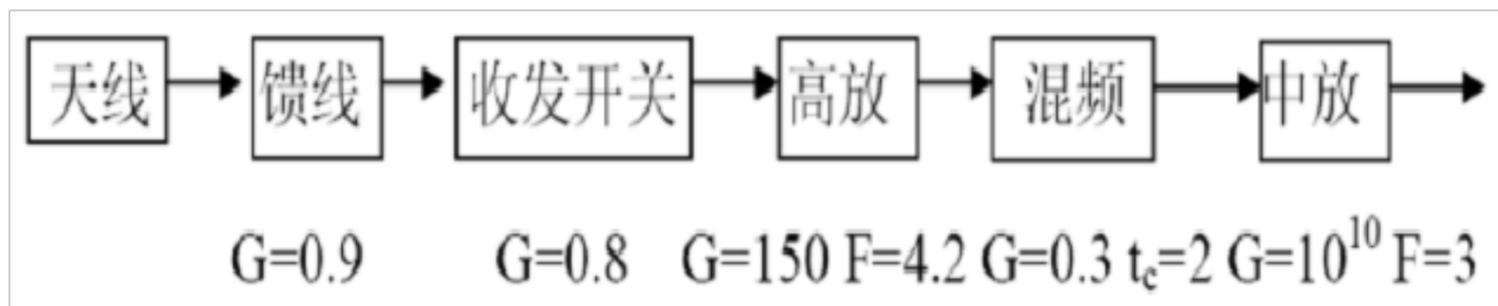
$$F = \frac{1}{0.729} + \frac{10-1}{0.729} + \frac{4-1}{0.729 \times 0.2} = 34.29$$

1、某雷达接收机噪声系数为 6dB，接收机带宽为 1.8MHz，求其临界灵敏度。

$$S_{i \min} = -114dBm + 6 + 10 \lg 1.8 = 105.45dBm$$

—105.45dBm

2、某雷达发射矩形脉冲宽度 $3 \mu s$ ，接收机采用矩形频率特性匹配滤波，系统组成和参数如下图，求：接收机总噪声系数，当天线噪声温度为 $380^\circ K$ 、 $M=3dB$ 时的接收机灵敏度。



解：

接收机总噪声系数：

$$F = \frac{1}{0.72} + \frac{4.2-1}{0.72} + \frac{6.7-1}{0.72 \times 150} + \frac{3-1}{0.72 \times 150 \times 0.3} = 5.9478$$

内外噪声引起的总噪声系数：

$$F' = F + \frac{T_A}{T_0} = 5.9478 + \frac{380}{290} = 7.2581$$

接收机带宽： $B = \frac{1.37}{3 \times 10^{-6}} = 0.46 \text{MHz}$

接收机灵敏度：

$$S_{i\min} = -114 \text{dBm} + 10 \lg 0.46 + 10 \lg 7.2581 + 3 = -105.76 \text{dBm}$$

3、某雷达脉冲宽度 $1 \mu\text{s}$ ，重复频率 600Hz ，发射脉冲包络和接收机准匹配滤波器均为矩形特性，接收机噪声系数 3，天线噪声温度 290°K ，求系统等效噪声温度 T_e 、临界灵敏度 $S_{i\min}$ 和最大的单值测距范围。

内外噪声引起的总噪声系数：

$$F' = F + \frac{T_A}{T_0} = 3 + \frac{290}{290} = 4, \quad T_e = (4-1) \times 290 = 870^\circ \text{K}$$

接收机带宽： $B = \frac{1.37}{1 \times 10^{-6}} = 1.37 \text{MHz}$

临界灵敏度： $S_{i\min} = -114 \text{dBm} + 10 \lg 1.37 + 10 \lg 4 = -106.61 \text{dBm}$

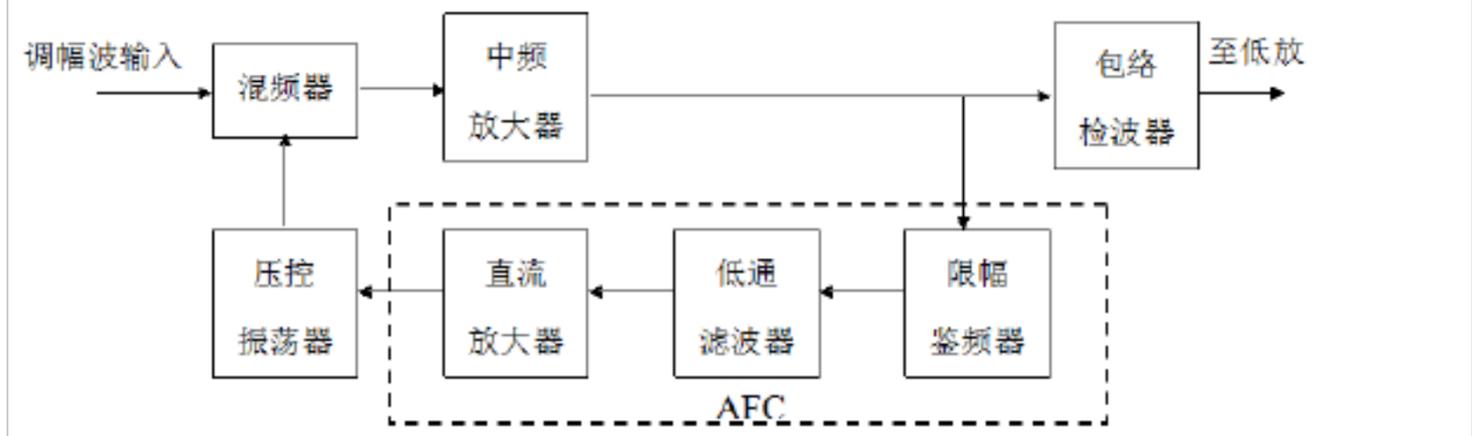
单值测距范围： $R = \frac{c}{2f_r} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 600} = 250 \text{Km}$

4、AGC 电路有什么作用？它的基本组成是什么？

答：（1）AGC 电路有什么作用：在输入信号幅值变化很大的情况下，通过调节可控增益放大器的增益，使输出信号幅值基本恒定或仅在较小范围内变化的一种电路。

（2）它的基本组成：由门限电路、脉冲展宽电路、峰值检波器和低通滤波器、直流放大器和隔离放大器等组成。

5、什么叫做自动频率控制？借助图 1 简述 AFC 工作原理

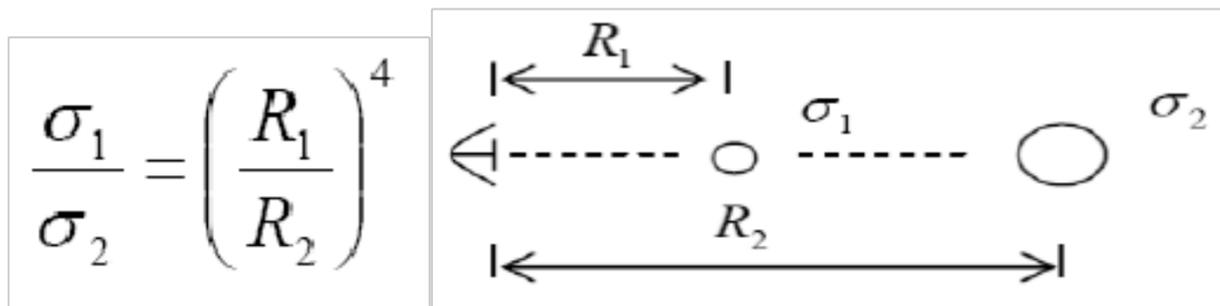


答：自动频率控制：能自动地调整其输出的控制电压，以微调本机振荡频率，使两者的差频稳定在额定中频附近的自频调系统。

工作原理：由于限幅鉴频器的中心频率调在规定的中频上，鉴频器就可以将偏离于中频的频率差变换成电压，该电压经低通滤波器和直流放大器后作用于压控振荡器，压控振荡器的振荡频率发生变化，使偏离于中频的频率误差减小。

第五章：

1、如图所示：雷达观察同一方向的两个金属圆球，它们的雷达截面积分别为 σ_1 和 σ_2 ，离雷达的距离为 R_1 和 R_2 ，若此时两球的回波功率相等，试证明：



根据雷达方程：

$$\frac{P_t G^2 \sigma_1 A_e}{(4\pi)^2 R_1^4} = \frac{P_t G^2 \sigma_2 A_e}{(4\pi)^2 R_2^4}, \frac{\sigma_1}{R_1^4} = \frac{\sigma_2}{R_2^4}, \dots, \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^4$$

2、设目标距离为 R_0 ，当标准金属圆球（截面积为 σ ）置于目标方向离雷达 $0.5R_0$ 处时，目标回波的平均强度正好与金属球的回波强度相同，试求目标的雷达横截面积。

$$\frac{P_t G^2 \sigma_t A_e}{(4\pi)^2 R_0^4} = \frac{P_t G^2 \sigma A_e}{(4\pi)^2 (R_0/2)^4}, \sigma_t = \frac{\sigma R_0^4}{(R_0/2)^4} = 16\sigma$$

3、已知雷达视线方向目标入射功率密度为 S_1 ，在雷达接收天线处目标反射功率密度为 S_2 ，目标为雷达站的距离为 R 。

(1)求目标在该方向上的雷达截面积 σ 。

(2)求该视线方向目标等效球体的总散射功率。

(3)如果入射功率提高 10 倍求 σ 的变化

(1) 根据 RCS 的定义：

$$S_1 \sigma = S_2 4\pi R^2, \therefore \sigma = 4\pi R^2 \frac{S_2}{S_1}$$

(2) 目标等效球体的总散射功率

$$P = S_1 \sigma = S_2 4\pi R^2$$

(3) σ 与入射功率无关，所以不变

4、设雷达参数为： $P_t = 10^6 \text{ W}$ $A_r = 10 \text{ m}^2$ $\lambda = 10 \text{ cm}$ $S_{\min} = 10^{-13} \text{ W}$ (1)用该雷达跟踪平均截面积 $\sigma = 20 \text{ m}^2$ 的飞船，求在自由空间的最大跟踪距离。(2)设该飞船上装有雷达应答器，其参数为 $P_t' = 1 \text{ W}$ $A_r' = 10 \text{ m}^2$ $S_{\min} = 10^{-7} \text{ W}$ 求采用信标跟踪时自由空间的最大作用距离。

4、解：(1) 在自由空间的最大跟踪距离

$$R_{\max} = \left(\frac{10^6 \times 10 \times 4\pi \times 20 \times 10}{(4\pi)^2 \times 0.1^2 \times 10^{-13}} \right)^{\frac{1}{4}} = 631.6 \text{ Km}$$

(2) 信标作用距离

$$R_{1\max} = \left(\frac{10^6 \times 10 \times 4\pi \times 10}{(4\pi) \times 0.1^2 \times 10^{-7}} \right)^{\frac{1}{2}} = 316228 \text{ Km}$$

雷达作用距离

$$R_{2\max} = \left(\frac{1 \times 10 \times 4\pi \times 10}{(4\pi) \times 0.1^2 \times 10^{-13}} \right)^{\frac{1}{2}} = 316228 \text{ Km}$$

信标跟踪时最大作用距离

$$R_{\max} = \min \{ R_{1\max}, R_{2\max} \} = 316228 \text{ Km}$$

5、某雷达要求虚警时间为 2 小时，接收机带宽为 1MHz ，求虚警概率和虚警数。若要求虚警时间大于 10 小时，问门限电平 V_T/σ 应取多少？

5、解：

虚警时间满足

$$T_{fa} = \frac{1}{P_{fa}B} \therefore P_{fa} = \frac{1}{3600 \times 2 \times 10^6} = 1.39 \times 10^{-10}$$

虚警数

$$n_{fa} = \frac{1}{P_{fa}} = 3600 \times 2 \times 10^6 = 7.2 \times 10^9$$

由于 $P_{fa} = e^{-\frac{V_T^2}{2\sigma^2}}$ ，所以

$$\frac{V_T}{\sigma} = \sqrt{-2 \ln P_{fa}} = \sqrt{-2 \ln(1.39 \times 10^{-10})} = 6.737$$

答案错

6、若空间某一区域有目标存在的事件为 A，无目标的事件为 \bar{A} ，其发生概率 $P(A)=0.6$ ， $P(\bar{A})=0.4$ 。接收机输出超过门限的事件为 B，不超过门限的事件为 \bar{B} ，其发生概率为 $P(B)$ ， $P(\bar{B})$ 。已知有目标且超过门限的概率 $P(B/A)=0.8$ ，无目标而超过门限的概率 $P(\bar{B}/\bar{A})=0.1$ 。求：

(1) 超过和不超过门限的概率 $P(B)$ ， $P(\bar{B})$

(2) 在接收机输出已经超过门限条件下的有目标概率 $P(A/B)$

6、解：

(1) 根据全概率公式：

$$P(B) = P(A)P(B/A) + P(\bar{A})P(\bar{B}/\bar{A}) = 0.6 \times 0.8 + 0.4 \times 0.1 = 0.52$$

$$P(\bar{B}) = 1 - P(B) = 0.48$$

(2) 根据条件概率 $P(A,B) = P(A)P(B/A) = P(B)P(A/B)$ ，所以

$$P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{P(B)} = \frac{0.6 \times 0.8}{0.52} = 0.923$$

7、已知雷达在 $P_{fa} = 10^{-6}$, $P_d = 50\%$ 脉冲积累数 10, 按照非起伏目标, 对小型歼击机的作用距离为 300Km , 求当 $P_{fa} = 10^{-12}$, $P_d = 90\%$ 对大型远程轰炸机的作用距离。

7、解:

由图 5.7 在 $P_{fa} = 10^{-6}$, $P_d = 50\%$ 时, 查得检测因子为 11.2dB,

在 $P_{fa} = 10^{-12}$, $P_d = 90\%$ 时, 查得检测因子为 16.3dB;

由表 5.2, 小型战斗机 $\sigma = 2m^2$, 大型远程轰炸机 $\sigma = 40m^2$,

相差 $\frac{40}{2} = 20 = 13.01dB$, 检测信噪比增加:

$$13.01 - 16.3 + 11.2 = 7.91dB;$$

对检测距离影响: $7.91/4 = 1.9775dB = 1.5767$ 倍;

检测距离为: $300Km \times 1.5767 = 473.01Km$ 。

8、某雷达重复频率 $f_r = 600$ Hz 水平波束宽度 $\theta_a = 3^\circ$ 要求以 $P_{fa} = 10^{-12}$, $P_d = 90\%$ 发现某一型号的目标, 已知不用脉冲积累和不起伏的作用距离 $R_0 = 300Km$, 现用检波后积累, 求:

(1) 天线环扫速度为 15 转/分时的作用距离。

(2) 天线环扫速度减为 3 转/分时的作用距离变换多少倍。

(3) 若目标按 SWELLING I 型起伏, 天线环扫速度为 15 转/分时, 相参积累的作用距离。

8、解:

(1) 天线扫描周期 $60/15 = 4s$, 脉冲积累数

$$n = 600 \times \frac{3}{360} \times 4 = 20$$

由图 5.7 查得单脉冲检测 $P_{fa} = 10^{-12}$, $P_d = 90\%$ 时, 信噪比为 15.6dB,

由图 5.10 查得 $P_{fa} = 10^{-12}$, $P_d = 90\%$, $n=20$ 检测因子为 5.3dB,

对距离改善 $(15.6 - 5.3)/4 = 2.575dB$,

作用距离为: $300 \times 10^{0.2575} = 543Km$

(2) 天线扫描周期 $60/3 = 20s$, 脉冲积累数

$$n = 600 \times \frac{3}{360} \times 20 = 100$$

由图 5.10 查得 $P_{fa} = 10^{-12}$, $P_d = 90\%$, $n=100$ 检测因子为 0.7dB, 对距离改善 $(15.6 - 0.7)/4 = 3.725dB$, 作用距离为:
 $300 \times 10^{0.3725} = 707Km$

(3) SWELLING I 型起伏时, 由图 5.15 查得信噪比附加 8dB, 相参积累 20 的改善为 13dB, 对作用距离影响 $(13 - 8)/4 = 1.25dB = 1.33$, 作用距离为:
 $300 \times 1.33 = 400Km$

9、假定设计一部低空目标探测雷达, 将雷达安装在海拔 1000 米的山顶上, 目标飞行高度 100 米, 则该雷达的作用距离选取多少为宜?

9、解: 以直视距离 $4.1 \times (\sqrt{1000} + \sqrt{100}) = 170.65Km$ 为宜

10、一部 $\lambda = 10cm$ 的雷达, 对有效反射面积 $5m^2$ 的目标, 脉冲积累数 20, 在 $P_d = 0.9$, $P_{fa} = 10^{-10}$ 条件下的作用距离为 100Km

(1) 保持天线口径不变, 将波长改为 3.2cm, 发射机功率降低到 1/4, 接收机噪声系数增大到 4 倍, 脉冲积累数不变, 则最大作用距离 R_{max} 变化多少?

(2) 若允许 $P_{fa} = 10^{-6}$ $P_d = 0.9$, 在原题条件下, 按照非起伏目标试估算 R_{max} 的变化

(3) 若目标高度为 200 米, 要在 80Km 以外发现目标, 则雷达天线应架设多高?

(4) 现将天线扫描速度提高一倍, 则对 R_{max} 影响如何?

10、解: (1) 天线口径不变, 波长使增益成为 $G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e$, 当

波长从 10cm 变到 3.2cm 时, 增益提高 $\left(\frac{10}{3.2}\right)^2 = 9.766$ 倍,

$$R_{max} = 100 \times \left(\frac{9.766}{4 \times 4}\right)^{\frac{1}{4}} = 88 Km$$

(2) 按非起伏目标, $P_d = 0.9$, $P_{fa} = 10^{-10}$ 由图 5.10 查得

$D_0 = 4.6dB$, 当 $P_{fa} = 10^{-6}$, $P_d = 0.9$ 时, $D_0 = 2.8dB$, 距离增加到:

$$\frac{4.6 - 2.8}{4} = 0.45dB = 1.109 \text{ 倍}, R_{max} = 100 \times 1.109 = 110.9Km$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/998116015034007002>