

# Ответы

## «Электроника, радиотехника и система СВЯЗИ»

---

### 9-11 класс

#### Задание №1:

ОДЗ  $x > 3$ ; 1.  $x = 10 \Rightarrow 0 = 0$ ;

2.  $x > 10 \Rightarrow (x - 10) \log_2(x - 3) = 2 \cdot (x - 10)$ ;  $\log_2(x - 3) = 2$ ;  $x - 3 = 4$ ;  $x = 7$  (посторонний);

3.  $10 > x > 3 \Rightarrow (10 - x) \log_2(x - 3) = -2 \cdot (10 - x)$ ;  $\log_2(x - 3) = -2$ ;  $x - 3 = 1/4$ ;  $x = 13/4$ .

Ответ:  $x = \{13/4; 10\}$

#### Задание №2:

КПД источника  $\eta = R/(R + r)$ , где  $r$  - внутреннее сопротивление источника. Из уравнения  $R/(R + r) = 3/4$  следует, что  $r = R/3$ . Максимальную мощность источник отдаёт при нагрузке, равной внутреннему сопротивлению источника:

$$P_{\max} = rE^2 / (2r)^2 = 3E^2 / 4R = 3 \cdot 225 / 4 \cdot 15 = 11,25 \text{ (Вт)}.$$

Ответ:  $P_{\max} = 11,25 \text{ Вт}$ .

#### Задание №3:

Под действием силы Кулона возникает перпендикулярное ускорение  $a = \frac{F_K}{m_e} = \frac{eE}{m_e}$ ,

следовательно у электрона появилась поперечная составляющая скорости  $V = \frac{eEt}{m_e}$ , время

пролета определяется первоначальной скоростью и длиной пластин  $t = \frac{S}{V_0}$ . По углу вылета

можно определить поперечную составляющую скорости

$$V = V_0 \operatorname{tg} 30^\circ \Rightarrow V_0 \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{eEt}{m_e} \text{ подставляем } E = \frac{U}{d} \text{ и выражаем } U = \frac{V_0^2 dm_e}{eS} \cong 80 \text{ В}$$

Ответ:  $U \cong 80 \text{ В}$

#### Проектная часть:

1. Самые первоначальные определения и понятия по теме «Радиолокаторы» уже даны в вводном разделе задания. Однако тема настолько обширна, что представляется необозримой, особенно при ограничении по месту и времени для изложения.

2. Специфика решения отдельных задач и их широкий спектр привели к большому разнообразию типов РЛС. бокового обзора и т.д. Специфика решения отдельных задач и их широкий спектр привели к большому разнообразию типов РЛС. Например, для повышения точности стрельбы по самолётам в головках зенитных снарядов устанавливают миниатюрные РЛС (!), измеряющие расстояние от снаряда до объекта и приводящие в действие (на определённом расстоянии) взрыватель снаряда.
3. Из обширной литературы, посвящённой радиолокации, выделяются книги и статьи, затрагивающие два момента, часто обозначаемые специалистами как крупные этапы в развитии радиолокации: это **корреляционный приём** и **фазированные антенные решётки**.
4. Использование СМ диапазона позволило создать **панорамные самолётные РЛС** кругового обзора земной поверхности, сыгравшие важную роль во время 2-й мировой войны при решении задачи «слепого» бомбометания, а также при поиске и уничтожении на море подводных лодок. Для этих станций характерна высокая степень различения отдельных деталей на земной поверхности (мостов, сооружений, железных дорог и т.д.) или на море (перископов подводных лодок и т.п.). Освоение СМ диапазона привело также к созданию **РЛС обнаружения самолетов и наведения на них самолётов-перехватчиков**, которые, используя данные, полученные от РЛС дальнего обнаружения, или работая автономно, обнаруживают самолёты и одновременно измеряют их координаты — дальность, азимут и высоту полёта.
5. Одним из наиболее интересных и экзотических видов радиолокационных приложений являются **радиолокационные станции бокового обзора**, предназначенные для картографирования земной поверхности, решения задач воздушной разведки и т.д., имеют высокую разрешающую способность, определяющую качество радиолокационного изображения, его детальность. Это достигается либо значительным увеличением размера антенны, располагаемой вдоль фюзеляжа самолёта, что позволяет увеличить разрешающую способность по сравнению с панорамными РЛС кругового обзора на порядок, либо применением метода **искусственного раскрыва антенны**, позволяющего приблизиться к разрешающей способности оптических средств наблюдения; при этом разрешающая способность не зависит от дальности наблюдения и длины волны зондирующего сигнала. В РЛС с искусственным раскрывом антенны часто используют сложные оптические системы многоканальной (по дальности) обработки сигналов с когерентным накоплением их в каждом канале. Сопряжение таких систем с фотографическими устройствами позволяет получать высококачественную запись информации.

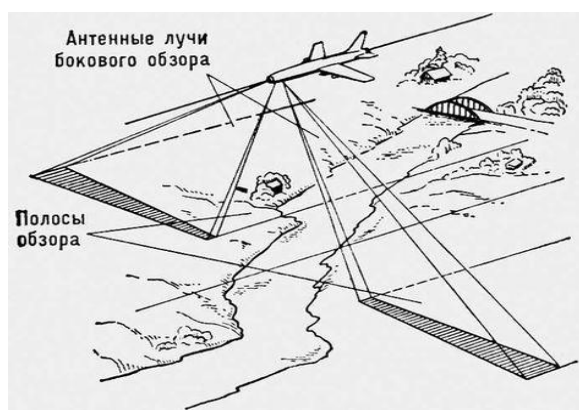


Рис.1. Работа РЛС бокового обзора

6. Для самолета, находящегося на расстоянии 3 км от РЛС, запаздывание сигнала составит всего 20 мкс. Такой результат получается из - за того, что радиоволна проходит путь в обоих направлениях, к цели и обратно, так что общее расстояние, пройденное волной, составит 6 км. Однако при радиолокации Марса, успешно проведенной в начале 60-х годов, задержка сигнала составила около 11 мин, а это время малым назвать нельзя. Современная вычислительная техника способна с высокой точностью обрабатывать сигналы с ничтожным временем запаздывания,

поэтому с помощью радаров можно регистрировать объекты, расположенные как на больших, так и на малых расстояниях от наблюдателя. Существует единственное существенное ограничение применения радаров в целях сверхдальних наблюдений - это ослабление сигнала. Если сигнал проходит большое расстояние, то он частично рассеивается, искажается и ослабевает и выделить его в приемнике из собственных шумов приемника и шумов иного происхождения зачастую крайне затруднительно. Ослабление сигнала при радиолокации вполне поддается расчету, который основан на простых физических соображениях. Если в какой-то точке излучается мощность  $P$ , то поток мощности через единичную площадку, находящуюся на расстоянии  $R$ , будет пропорционален дроби, в знаменателе которой стоит площадь сферы радиусом  $R$ , окружающей источник. Таким образом, при обычной радиосвязи мощность, принятая антенной, обратно пропорциональна

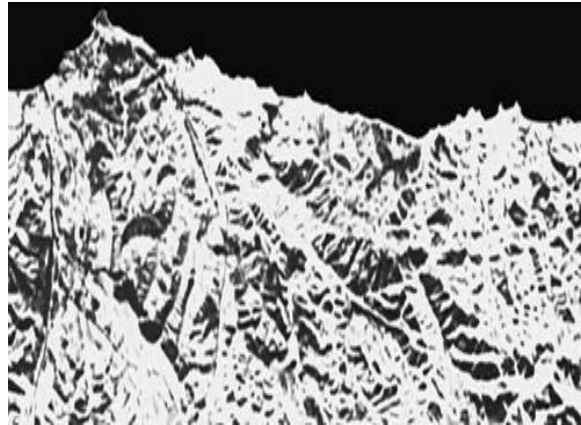
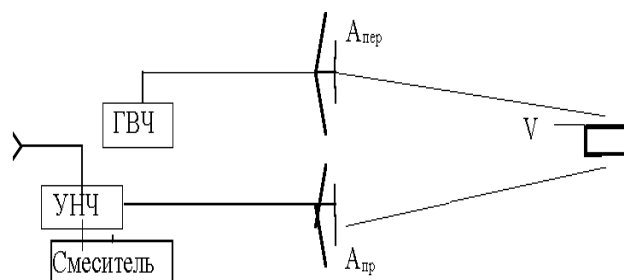


Рис. 2. РЛ (!) изображение гористого берега моря

квадрату расстояния. Этот закон - закон сферической расходимости пучка энергии - выполняется всегда при распространении волн в свободном пространстве. Даже если сконцентрировать излучаемую мощность в узкий луч и поток энергии возрастет в несколько раз (этот коэффициент называется коэффициентом направленного действия антенны, КНД), квадратичная зависимость от расстояния сохранится. Но в радиолокации радиосигнал преодолевает двойные расстояния, а сама облучаемая цель рассеивает энергию по всем направлениям, и если облучающий цель поток энергии ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния, то приходящий к приемнику рассеянный поток еще ослабляется во столько же раз и оказывается обратно пропорциональным четвертой степени расстояния. Это означает, что для повышения дальности действия РЛС в два раза при прочих равных условиях мощность ее передатчика надо повысить в 16 раз. Столь высокой ценой достигаются высокие характеристики современных РЛС.

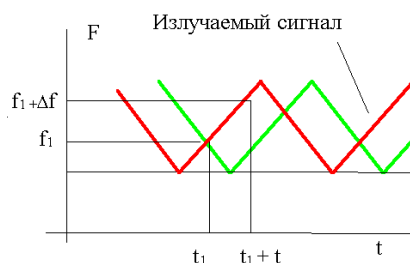
- Очень интересны РЛС, работающие по «Доплеру»: доплеровская РЛС непрерывного излучения - самая простая из всех. Именно по такому принципу были построены первые «радиоуловители» самолетов. Она содержит генератор высокочастотных колебаний (ГВЧ), передающую  $A_{пер}$  и приемную  $A_{пр}$  антенны, смеситель и усилитель низкой частоты биений (УНЧ). На его выходе включаются либо наушники, либо частотомер.



Доплеровская РЛС не обнаруживает неподвижные предметы. Сигнал, отраженный от них имеет ту же самую частоту, что и излучаемый. Но если обнаруживаемый объект движется в направлении лоатора или от него, частота отраженного сигнала изменяется вследствие эффекта Доплера (эффект Доплера - изменение длины волны  $\lambda$  (или частоты), наблюдаемое при движении источника волн относительно их приемника. Характерен для любых волн (свет, звук и т. д.). При приближении источника к приемнику  $\lambda$  уменьшается, а при удалении растет на величину  $\lambda - \lambda_0 = V \cdot \lambda_0 / c$ , где  $\lambda_0$  - длина волны источника,  $c$  - скорость распространения волны,  $V$  - относительная скорость движения источника.).

При радиолокации эффект Доплера проявляется вдвое сильнее. Самолет, летящий навстречу излучаемой лоатором волне, встречает более частые колебания электромагнитного поля. Переизлучая их во время движения, он еще повышает их частоту. При удалении же самолета от лоатора частота отраженного сигнала понижается. В приемную антенну попадают два сигнала: прямого прохождения (от излучающей антенны) и отраженный от цели. В смесителе они взаимодействуют, образуя разностную частоту биений, в точности равную доплеровской  $F_d = 2f_0V / c$ , где  $f_0$  - частота излучаемого сигнала;  $V$  - радиальная скорость цели;  $c$  - скорость радиоволн, равная скорости света.

Определить дальность доплеровским лоатором нельзя, но если частоту излучаемых колебаний изменять в некоторых пределах, т.е. *вести в генератор частотную модуляцию*, то появляется возможность измерить дальность. Первую опытную установку, действующую по такому принципу, построил известный ученый Б. К. Шембель и использовал ее при локации Крымских гор. Пусть частота передатчика изменяется по пилообразному закону. Частота отраженного сигнала будет изменяться также, но с запаздыванием на некоторое время  $t$ , время распространения волн до цели и обратно. Если частота передатчика в какой-то момент  $t_1$  равна  $f_1$ , то отраженный сигнал возвращается с этой же частотой. Но частота передатчика к времени  $t_1 + \Delta t$  успеет измениться до значения  $f_1 + \Delta f$ , и в приемнике выделится сигнал биений с частотой  $\Delta f$ .



Эта частота тем выше, чем больше расстояние до цели. Лоаторы с частотной модуляцией нашли свое применение в авиации, на судах, а также для выполнения операции стыковки космических кораблей на орбите, обеспечивающие очень хорошую точность определения дистанции.

**Расчётная часть.** Определим предельную дальность для РЛС, имеющую порядки, рекомендованные в справочных данных параметров по мощности передатчика и чувствительности приёмника РЛС.

- $P_r$  – мощность сигнала на клеммах приёмной антенны ( $10^{-12}$  Вт);
- $P_t$  – мощность передатчика (1,0 Вт);
- $G_t$  – коэффициент усиления передающей антенны (150);
- $S$  – эффективная апертура (площадь) приёмной антенны (20);
- $\sigma$  – эффективная площадь рассеяния цели ( $\sigma = 20$ );
- $R_t$  – расстояние от передающей антенны до цели;
- $R_r$  – расстояние от цели до приемной антенны.

В тех случаях, когда передающая и приёмная антенны располагаются на одинаковом расстоянии от цели, формула с учётом  $R_r = R_t = R$  упрощается:

$$P_r = \frac{P_t G_t S \sigma}{(4\pi)^2 R^4}$$

(Принимаемая мощность уменьшается пропорционально 4-й степени расстояния).

Записав выражение  $10^{-12} = \frac{150 \cdot 20 \cdot 20}{(4\pi)^2 R^4}$ , определим  $R$ :

$$R = \sqrt[4]{\frac{150 \cdot 20 \cdot 20}{(4\pi)^2 \cdot 10^{-12}}} = \sqrt[4]{\frac{6 \cdot 10^4}{(4\pi)^2 \cdot 10^{-12}}} = \sqrt[4]{\frac{10^{16} \cdot 3}{8\pi^2}} = 10^4 \cdot \sqrt[4]{\frac{3}{8\pi^2}} \approx 0,45 \cdot 10^4 = 4500(\text{м})$$

Расстояние весьма умеренное, но и исходные величины выбраны были далеко не предельные.

Так, например, для питания стационарной РЛС дальнего обнаружения нужна своя небольшая электростанция и речка рядом – вода для охлаждения элементов РЛС. Так что, 1 Вт – это просто шутка.