

Таблица 1. Данные для расчетов

Частота входного сигнала	$f_c = 1100$ МГц
вид сигнала: импульсный	$\tau_u = 0,67$ мкс
Чувствительность	$2 \cdot 10^{-12}$ Вт/г $\geq 8$
оконечная нагрузка	$R_H = 100$ Ом
Емкость	$C_H = 5$ пФ
уровень выходного сигнала и его изменение	10 В; 4 дБ
изменение уровня входного сигнала:	60 дБ
источник электроэнергии	сеть 220 В
условия эксплуатации	$T_{окр} = -10 \dots +40$ °С
Дальность	$R = 100$ км
Разрешение по дальности	$\Delta R = 100$ м;
Суммарная ошибка	$\sigma_s = 10$ м
ЭПР цели	$\sigma_{ц} = 2$ м <sup>2</sup>
Скорость цели	$V_{ц} = 500$ м/с
Длина волны	$\lambda = 0,20$ м
Величина затухания волн в атмосфере	$\beta_0 = 0,002 \dots 0,004$ дБ/км
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К
Температура воздуха по Кельвину	$T_0 = 290$ К
Коэффициент передачи по мощности для транзистора преобразователя частоты	$K_{рпч} = 8$
активное сопротивление антенны	$R_A = 75$ Ом
амплитуда сигнала на выходе УПЧ	$U_{пр} = 0,5$ В

## 2.1 Определение параметров сигнала

Исходные данные для дальнейших расчетов из таблицы 1. Данные для расчетов

Нам потребуется определить период повторения импульса:

$$T_n = \frac{2 \cdot R_{max}}{c}$$
$$T_n = \frac{2 \cdot 100000}{3 \cdot 10^8} = 0.67 \text{ мс}$$

Частота следования импульсов рассчитывается по формуле:

$$F_{\Pi} = \frac{1}{T_n}$$
$$F_{\Pi} = \frac{1}{0.67 \cdot 10^{-3}} = 1492 \text{ Гц}$$

Находим длительность импульса:

$$\tau_{и} = \frac{2 \cdot \Delta R}{c} = \frac{2 \cdot 100}{3 \cdot 10^8} = 0.67 \text{ мкс}$$

Одной из характеристик работы радиолокационной системы является точность слежения. Здесь учитываются ошибки работы системы.

$$\sigma^2 = \frac{c^2 \cdot \tau_{и}^2 \cdot \Delta F_3}{2 \cdot \frac{P_c}{P_{ш}} \cdot F_n} \text{полоса } \Delta F_3 = (5..10)/2\pi \approx 2,$$

Из данной формулы видно, что отношение сигнала к шуму связано с флуктуационной ошибкой тогда следует

$$\frac{P_c}{P_{ш}} = \frac{c^2 \cdot \tau_{и}^2 \cdot \Delta F_3}{4 \cdot \sigma_{\phi}^2 \cdot F_n}$$

При расчете требуется учитывать потери при нахождении отношения сигнал/шум. Причины их возникновения:

- распространение радиоволн  $\gamma_1 = 1...3$  дБ
- в антенно-фидерном тракте  $\gamma_2 = 1$  дБ
- при амплитудном детектировании  $\gamma_3 = 1...5$  дБ
- на квантование  $\gamma_4 = 2$  дБ (при двухуровневом квантовании)
- Общий коэффициент потерь:  $\gamma = 5...10$  дБ.

Обозначим, что при  $1\gamma = 10$  [дБ] = 3,16 [раз]

$$\frac{P_c}{P_{ш}} = \frac{(3 \cdot 10^8)^2 \cdot (0,67 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 2}{4 \cdot 10^2 \cdot 1492} = 0,135 \cdot \rho = 0,42$$

Для нахождения требуемой мощности передатчика используем формулу:

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_u \cdot G_A \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_u \cdot \eta}{(4\pi)^3 \cdot \left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)^2 \cdot k \cdot T_0 \cdot Ш \cdot F_{ш}}} \cdot e^{-0,115 \cdot \beta_0 \cdot R_{max}}$$

Где,

$\sigma_u$  - эффективная площадь рассеяния цели

$\eta$  - КПД антенны ( $\eta \approx 0,95$ )

$$R = R_{max} = e^{-0,115 \cdot \beta_0 \cdot R_{max}}$$

$$R = R_{max} = e^{-0,115 \cdot 0,002 \cdot 100} = 97 \text{ км}$$

$$\delta R = R_{max} - R = 100 - 97 = 3 \text{ км}$$

Далее, полос приемника:

$$F_{пр} = \frac{1}{\tau_{и}}$$

$$F_{пр} = \frac{1}{0,67 \cdot 10^{-6}} = 1,49 \text{ МГц}$$

Для полосы шума приемника:

$$F_{ш} = 1,1 \cdot F_{пр}$$

$$F_{ш} = 1,1 \cdot 1492 = 1,6 \text{ МГц}$$

После нахождения всех необходимых значений используя нижеприведенную формулу рассчитываем импульсную мощность передатчика

$$P_u = \frac{(4 \cdot \pi)^3 \cdot (R_{max} + \delta R)^4 \cdot k \cdot T_0 \cdot Ш \cdot F_{ш} \cdot \left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)}{G_A^2 \cdot \eta \cdot \sigma_u \cdot \lambda^2}$$

Коэффициент усиления –  $G_A = 1770$

$\eta = 0.95$

$$P_u = \frac{(4 \cdot 3.14)^3 \cdot (100 + 3)^4 \cdot 10^{12} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 3.5 \cdot 1.6 \cdot 10^6 \cdot 0.42}{(1.77 \cdot 10^3)^2 \cdot 0.95 \cdot 2 \cdot 0.20^2}$$

$$= 8,814 \text{ кВт}$$

Если  $P_{и} < 1$  МВт, то используем простой сигнал.

## 2.2 Эквивалентные параметры антенны

Сопротивление чисто активно и равно сопротивлению фидера:

$$Z_A = R_A = R_{\phi}$$

$$Z_A = 75 \text{ Ом}$$

Для дальнейших расчетов нам потребуется относительная шумовая температура антенны:

$$t_A = \frac{T_A}{T_0}$$

где  $T_0$  - стандартная температура приёмника  $T_0 = 290^0 \text{ К}$ ;

$T_A$  - абсолютная шумовая температура антенны.

Для нашей приемной антенны примем:  $T_A = 110^0 \text{ К}$ .

$$t_A = \frac{110}{290} = 0.382$$

## 2.2 Полоса пропускания линейного тракта

Из максимального отношения сигнал/шум выбирается полоса пропускания. Для нашего приемника это полоса называется оптимальной, которая определяется из формулы:

$$П_c = \frac{(0 \dots 1,4)}{\tau_{уст}}$$

$$П_c = \frac{(0 \dots 1,4)}{\tau_c} = \frac{1}{0.2 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ МГц}$$

П-ширина пропускания линейного тракта складывается из ширины спектра сигнала  $П_c$ , доплеровское смещение частоты сигнала  $f_D$  и запаса полосы который требуется для учета нестабильной и неточностей настроек и приемника  $П_{нс}$

$$П = П_c + 2 \cdot f_D + П_{нс}$$

Доплеровское смещение:

$$\Delta f_{\text{Д}} = \frac{2 \cdot f_c \cdot V_{\text{ц}}}{c}$$

$$\Delta f_{\text{Д}} = \frac{2 \cdot 1100 \cdot 10^6 \cdot 500}{3 \cdot 10^8} = 3,7 \text{ кГц}$$

где  $V_{\text{ц}}$  - скорость цели относительно антенны РЛС, для антенны выбрано 500 м/с

$c$  - скорость света в вакууме равная  $3 \cdot 10^8$  м/с

Расчет запаса полосы для учета нестабильностей принимаем значения:

$\sigma_c = (10^{-5} \dots 10^{-6})$  - относительная нестабильность несущей

$\sigma_{\Gamma} = (10^{-6})$  - относительная нестабильность частоты гетеродина

$\sigma_{\text{пр}} = (0,0003 \dots 0,003)$  - относительная погрешность и нестабильность настройки контуров тракта промежуточной частоты

$\sigma_{\text{н}} = (0,001 \dots 0,01)$  относительная нестабильность частоты, вызванная неточностью настройки контуров гетеродина

Формула для нахождения:

$$P_{\text{НС}} = 2 \cdot \sqrt{(\sigma_c \cdot f_c)^2 + (\sigma_{\Gamma} \cdot f_{\Gamma})^2 + (\sigma_{\text{н}} \cdot f_c)^2 + (\sigma_{\text{пр}} \cdot f_{\text{пр}})^2}$$

Выбор частоты исходит из условия:

$$f_{\text{пр}} \geq \frac{(10 \dots 20)}{\tau_{\text{И}}}$$

$$f_{\text{пр}} \geq \frac{15}{0,67 \cdot 10^{-6}} = 22,3 \text{ МГц}$$

В РЛП миллиметрового и сантиметрового диапазонов промежуточная частота равна либо 30, либо 60 МГц [**Радиоприемные устройства: О.В.Головин - М.: Высшая Школа, 1997**]

Исходя из стандартов промежуточную частоту примем  $f_{\text{пр}} = 30 \text{ МГц}$

Далее определение частоты гетеродина:

$$f_{\Gamma} = f_c - f_{\text{пр}}$$

$$f_{\Gamma} = 1100 - 30 = 1070 \text{ МГц}$$

После нахождения всех необходимых параметров определяем запас полосы для учета нестабильностей:

$$P_{\text{НС}}$$

$$= 2$$

$$\cdot \sqrt{(10^{-5} \cdot 1100 \cdot 10^6)^2 + (10^{-6} \cdot 1070 \cdot 10^6)^2 + (0,01 \cdot 1100 \cdot 10^6)^2 + (0,003 \cdot 30 \cdot 10^6)^2}$$

$$= 2 \cdot \sqrt{11000^2 + 1070^2 + (11 \cdot 10^6)^2 + (0,09 \cdot 10^6)^2} = 22 \text{ МГц}$$

придётся использовать частотную автоматическую подстройку частоты (ЧАПЧ) или фазовую автоподстройку частоты (ФАПЧ)

При использовании частотной автоматической подстройки частоты сигнала полосу пропускания сигнала следует принимать равной  $K_{\text{ЧАПЧ}} = 10$

$$P_{\text{ЧАПЧ}} = \frac{P_c + (2 \cdot \Delta f_d + P_{\text{НС}})}{K_{\text{ЧАПЧ}}}$$

$$P_{\text{ЧАПЧ}} = \frac{10 \cdot 10^6 + (2 \cdot 3700 + 22 \cdot 10^6)}{10} = 3,2 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания

$$P = 10 \text{ МГц} + 2 \cdot 3,7 \text{ КГц} + 3,2 \text{ МГц} = 13 \text{ МГц}$$

Расчет предельно допустимого коэффициента шума:

$$Ш_{\text{доп}} = \left( \frac{P_A}{K \cdot T_0 \cdot P_{\text{ш}} \cdot \frac{P_c}{P_{\text{ш}}}} - T_A + 1 \right) \cdot K_{\text{р.ф}}$$

- $K_{\text{р.ф.}} = 0,8$  - коэффициент передачи фидера по мощности.
- $K$  - постоянная Больцмана  $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.
- Отношение сигнал/шум с учетом потерь:  $\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = 0,42$
- $P_{\text{ш}} = 1,1 \cdot P_{\text{чпч}} = 1,1 \cdot 3,2 = 3,52 \text{ МГц}$

$$Ш_{\text{доп}} = \left( \frac{2 \cdot 10^{-12}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 3,52 \cdot 10^6 \cdot 0,42} - 0,382 + 1 \right) \cdot 0,8 = 27,5$$

### 2.3 Расчет и выбор гетеродина

Данные для выбора гетеродина:

- Рабочая частота

$$f_{\Gamma} = f_c - f_{\text{ПР}}$$

$$f_{\Gamma} = 1100 - 30 = 1070 \text{ МГц}$$

- Требуемая выходная мощность  $P_{\Gamma_{\text{вых}}}$ ; определяется, исходя из требуемой для работы смесителя мощности плюс запас в 2 ... 4 дБ
- Диапазон перестройки по частоте;
- Шумовые характеристики.

Полупроводниковый гетеродин на диоде Ганна. Генераторы на диодах Ганна перестраиваются по частоте изменением либо параметров резонаторов, либо напряжением питания. Механическую перестройку можно производить в широких пределах при условии плавного перехода из одного режима работы в другой. Кроме того, возможна перестройка с помощью варакторов, ферритов, железиттриевого граната и магнитного поля.

## 2.4 Обеспечение необходимого усиления трактом ВЧ

Достаточная устойчивость одно из основных требований к усилителям каскадам линейного тракта. Для нормальной работы необходим радиосигнал с достаточным усилением, а так же для получения низкого шума [Приемо-передающие радиоустройства и системы связи: [учеб. пособие для вузов по специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектрон. средств" Александр Савинович Садовомский]

Коэффициент усиления линейного тракта:

$$K_{\text{олин}} = \frac{U_{\text{пр}}}{\sqrt{2 \cdot P_A \cdot R_A}}$$

$R_A$  - активное сопротивление антенны = 75 Ом

$U_{\text{пр}}$  - амплитуда сигнала на выходе УПЧ = 0,5 В

Требуемая амплитуда сигнала на выходе УПЧ определяется амплитудой напряжения, необходимой для нормальной работы детектора:

$U_{\text{вых}} = 1 \text{ В}$ .

$$K_{\text{олин}} = \frac{0,5}{\sqrt{2 \cdot 2 \cdot 10^{-12} \cdot 75}} \approx 28867$$

Коэффициент передачи по мощности для транзисторного преобразователя частоты примем равным:

$K_{\text{Рпч}} = 8$

$$R_{\text{вх}} = 1 \text{ кОм}$$

Для определения амплитуды на выходе напряжения:

$$U_{\text{вх}} = 2 \cdot P_a \cdot K_{\text{вц}} \cdot K_{\text{пч}} \cdot R_{\text{вх}}$$

$$U_{\text{вх}} = \sqrt{2 \cdot 2 \cdot 10^{-12} \cdot 0,8 \cdot 8 \cdot 10^3} = 0,16 \text{ мВ}$$

Коэффициент усиления УПЧ по напряжению:

$$K_{упч} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$$

$$K_{упч} = \frac{1}{0,16 \cdot 10^{-3}} = 6250$$