

Исходные данные:

Максимальная скорость ЛА.

$$V_{\max} := \frac{2160 \cdot 1000}{3600} = 600 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Максимальная дальность обнаружения.

$$R_{0\max} := 420000 \quad \text{м}$$

Размер антенны в азимутальной

и угломестной плоскостях.

$$l_{\alpha} := 1.7 \quad \text{м}$$

$$l_{\beta} := 0.4 \quad \text{м}$$

Ширина ДНА в азимутальной плоскости.

$$\phi_{\alpha} := 6 \quad \text{град}$$

Излучаемая мощность.

$$P_{\text{ос}} := 3 \quad \text{Вт}$$

Степень формирующего полинома.

$$m := 8$$

Потери на высокой частоте.

Потери при обработке.

$$L_{\Sigma} := 10^{0.1 \cdot 9} = 7.943 \quad \text{раз}$$

$$\xi_{\Sigma} := 10^{0.1 \cdot 5} = 3.162 \quad \text{раз}$$

Суммарная погрешность измерения дальности.

$$\sigma_{\Sigma} := 5 \quad \text{м}$$

Коэффициент шума приёмника.

$$N_{\text{ш}} := 10 \quad \text{раз}$$

КПД фидерных трактов опорной станции.

$$\eta := 0.8$$

Время полёта ЛА.

$$T_{\text{пл}} := 1 \cdot 3600 \quad T_{\text{пл}} = 3.6 \times 10^3 \quad \text{с}$$

Коэффициент запаса.

$$K_3 := 1.1$$

Скорость распространения э/м волны в вакууме.

$$c := 3 \cdot 10^8 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Постоянная Больцмана.

$$k := 1.38 \cdot 10^{-23} \quad \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Стандартная температура.

$$T_0 := 290 \quad \text{К}$$

2) Расчёт длины волны и параметров антенны опорной станции.

Длина волны сигнала, излучаемого опорной станцией.

$$\lambda := l_{\alpha} \cdot \frac{\sin\left(\phi_{\alpha} \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{0.886} = 0.201 \text{ м}$$

Ширина ДНА в угломестной плоскости.

$$\phi_{\beta} := \operatorname{asin}\left(0.886 \cdot \frac{\lambda}{l_{\beta}}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 26.375 \text{ град}$$

Коэффициент усиления антенны.

$$G_a := \frac{41000 \cdot \eta}{\phi_{\alpha} \cdot \phi_{\beta}} = 207.266$$

Эффективная площадь антенны.

$$S_a := G_a \cdot \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} = 0.663 \text{ м}^2$$

3) Расчёт параметров сигнала.

Период повторения кода.

$$T_{\text{пк}} := K_3 \cdot \frac{R_{0\text{max}}}{c} = 1.54 \times 10^{-3} \text{ с}$$

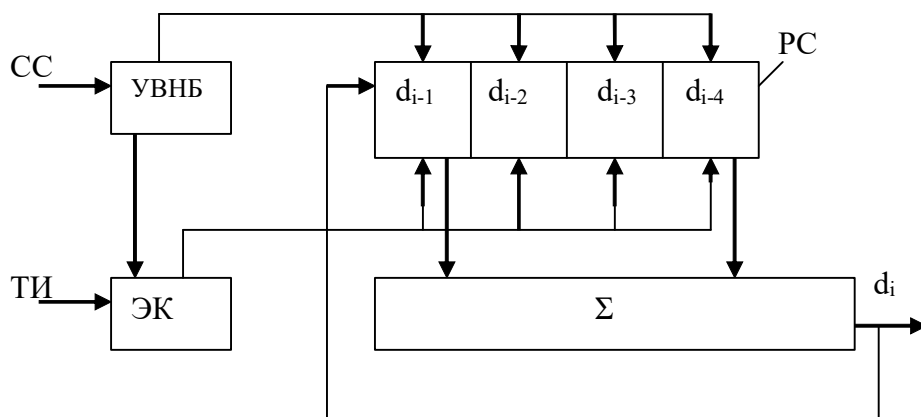
Число элементов кода.

$$N_{\text{э}} := 2^m - 1 = 255$$

Длительность одного

$$\tau_k := \frac{T_{\text{пк}}}{N_{\text{э}}} = 6.039 \times 10^{-6} \text{ с}$$

Генератор кода:



По заданному значению "памяти" последовательности $m = 8$ записывается формирующий код полином:

$$p(x) = x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + 1;$$

$$a_7 = a_3 = a_2 = a_1 = 0; \quad a_8 = a_6 = a_5 = a_4 = 1.$$

Кодовая последовательность в двоичной форме будет иметь вид:
101110001

4) Выбор параметров устройств обработки сигнала.

Полоса пропускания УПЧ:

$$\Delta F_c := \frac{1}{T_k} = 1.656 \times 10^5 \quad \text{Гц}$$

$$\Delta f_{\text{упч}} := \Delta F_c = 1.656 \times 10^5 \quad \text{Гц}$$

Устройство корреляционной обработки:

Следует определить число n обрабатываемых в одном цикле (за время T_R) периодов повторения кода $T_{\text{пк}}$ и значение T_k .

Чем больше n , тем выше достоверность получаемых результатов, но зато больше времени требуется на обработку сигналов. Обычно $n = 4 \dots 5$.

$$n := 4$$

Параметры поиска сигнала:

Число анализируемых элементарных ячеек по задержке: $N_{\text{я}} := \frac{T_{\text{пк}}}{T_k} = 255$

Максимальное время поиска сигнала составляет: $T_R := 2 \cdot n \cdot T_{\text{пк}} \cdot N_{\text{я}} = 3.142$

Требуемая достоверность обнаружения сигнала достигается за время:

$$T_k := n \cdot T_{\text{пк}} = 6.16 \times 10^{-3} \quad \text{с}$$

5) Расчёт погрешностей.

Этап 1

$$R_1 = R_{\text{min}} \quad R = R_1 \quad R_0 = R_1$$

$$\sigma_{\Sigma 1} := \sigma_{\Sigma} = 5 \quad \text{м}$$

Динамическая погрешность.

$$\sigma_{\text{д1}} := \frac{\sigma_{\Sigma 1}}{\sqrt{5}} = 2.236 \quad \text{м}$$

Флюктуационная погрешность.

$$\sigma_{\text{фл1}} := 2 \cdot \sigma_{\text{д1}} = 4.472 \quad \text{м}$$

Постоянная времени инерционного звена.

$$T_2 := 1 \quad \text{с}$$

Полоса пропускания следящего измерителя.

$$\Delta F_{и1} := \sqrt{\frac{V_{\max}}{4 \cdot \sigma_{д1} \cdot T_2}} = 8.19 \quad \Gamma_{ц}$$

Эквивалентная спектральная плотность шума на нулевой частоте.

$$G_{э1} := \frac{\sigma_{фл1}^2}{2 \cdot \Delta F_{и1}} = 1.221 \quad \frac{м^2}{\Gamma_{ц}}$$

$$q_{1э} := \frac{(c \cdot \tau_K)^2}{2 \cdot G_{э1} \cdot \frac{1}{\tau_K}} = 8.118$$

$$q_1 := 1.6 q_{1э} = 12.989$$

Этап 2

$$R_2 = R_{\max} \quad R = R_2 \quad R_0 = R_1$$

$$q_2 := q_1 \cdot \left(\frac{0.5 \cdot R_{0\max}}{R_{0\max}} \right)^2 = 3.247$$

$$q_{2э} := \frac{q_2}{1.6} = 2.03$$

$$G_{э2} := \frac{(c \cdot \tau_K)^2}{2 \cdot q_{2э} \cdot \frac{1}{\tau_K}} = 4.884 \quad \frac{м^2}{\Gamma_{ц}}$$

$$\sigma_{фл2} := \sqrt{2 \cdot G_{э2} \cdot \Delta F_{и1}} = 8.944 \quad м$$

$$\sigma_{д2} := \frac{V_{\max}}{4 \cdot \Delta F_{и1}^2} = 2.236 \quad м$$

$$\sigma_{\Sigma 2} := \sqrt{\sigma_{д2}^2 + \sigma_{фл2}^2} = 9.22 \quad м$$

Этап 3

$$R_2 = R_{\max} \quad R_0 = R_2 \quad R = R_2$$

$$\Delta F_{и2} := \sqrt[5]{\frac{V_{\max}^2}{8 \cdot G_{э2} \cdot T_2}} = 6.207 \quad \Gamma_{ц}$$

$$\sigma_{д3} := \frac{V_{\max}}{4 \cdot \Delta F_{и2}^2 \cdot T_2} = 3.893 \quad м$$

$$\sigma_{фл3} := \sqrt{2 \cdot G_{э2} \cdot \Delta F_{и2}} = 7.786 \quad м$$

$$\sigma_{\Sigma 3} := \sqrt{\sigma_{д3}^2 + \sigma_{фл3}^2} = 8.706 \text{ м}$$

Этап 4

$$R_1 = R_{\min} \quad R_0 = R_2 \quad R = R_1$$

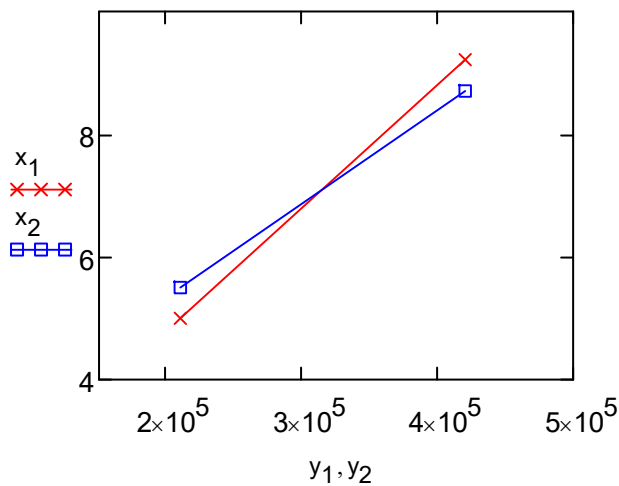
$$\sigma_{д4} := \frac{V_{\max}}{4 \cdot \Delta F_{и2}^2 \cdot T_2} = 3.893 \text{ м}$$

$$\sigma_{фл4} := \sqrt{2 \cdot G_{э1} \cdot \Delta F_{и2}} = 3.893 \text{ м}$$

$$\sigma_{\Sigma 4} := \sqrt{\sigma_{д4}^2 + \sigma_{фл4}^2} = 5.506 \text{ м}$$

Зависимости суммарной погрешности от отношения R/R_{\max} :

$$\begin{aligned} x_1 &:= (\sigma_{\Sigma 1} \quad \sigma_{\Sigma 2})^T & x_2 &:= (\sigma_{\Sigma 3} \quad \sigma_{\Sigma 4})^T \\ y_1 &:= (0.5R_{0\max} \quad R_{0\max})^T & y_2 &:= (R_{0\max} \quad 0.5R_{0\max})^T \end{aligned}$$



6) Расчёт энергетических параметров.

$$\Delta F_{\text{пут}} := \frac{1.2}{\tau_k} = 1.987 \times 10^5 \text{ Гц}$$

Пороговая мощность.

$$P_{\text{пор}} := q_2 \cdot k \cdot T_0 \cdot \Delta F_{\text{пут}} \cdot N_{\text{ш}} \cdot \xi_{\Sigma} = 8.165730542069156 \times 10^{-14} \text{ Вт}$$

Максимальная дальность действия.

$$R_{\max} := \sqrt{\frac{(P_{\text{ос}} \cdot G_a \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^2 \cdot P_{\text{пор}} \cdot L_{\Sigma}}} = 4.942 \times 10^5 \text{ м}$$

7) Расчёт вспомогательных параметров.

Частота эталонного генератора:

$$f_{\text{эт}} := \frac{1}{T_K} = 1.656 \times 10^5 \quad \text{Гц}$$

Относительная нестабильность частоты:

$$\sigma_{\Sigma \min} := \min(\sigma_{\Sigma 1}, \sigma_{\Sigma 2}, \sigma_{\Sigma 3}, \sigma_{\Sigma 4})$$
$$\delta f_{\text{эт}} := \frac{0.1 \cdot \sigma_{\Sigma \min}}{c \cdot T_{\text{пл}}} = 4.63 \times 10^{-13}$$

Рекомендуется задать $\delta f_{\text{эт}} := 10^{-11}$ соответствующую термостабилизированному и виброзащищенному кварцевому генератору, и определить соответствующую погрешность

$$\Delta R_{\text{нч}} := c \cdot T_{\text{пл}} \cdot \delta f_{\text{эт}} = 10.8$$

$$\Delta R := 0.35 \cdot \sigma_{\Sigma \min} = 1.75$$

$$\text{Погрешность дискретизации: } \sigma_{\text{дск}} := \frac{\Delta R}{\sqrt{12}} = 0.505 \text{ м}$$

Полная погрешность измерения дальности:

$$\sigma_{\text{п}} := \sqrt{\sigma_{\Sigma}^2 + \sigma_{\text{дск}}^2 + \Delta R_{\text{нч}}^2} = 11.912 \text{ м}$$

Технические требования:

1) Требования к антенне опорной станции:

1. Длина волны сигнала: $\lambda := 0.201$
2. Рабочая частота : $f := \frac{c}{\lambda} = 1.493 \times 10^9$ Гц
3. Ширина диаграммы направленности в угломестной плоскости $\phi_a := 26.437$ град
4. Коэффициент усиления антенны $G_a := 206.781$
5. Ширина ДН в азимутальной плоскости $\phi_{az} := 6$ град
6. Излучаемая мощность $P_{\text{исл}} := 3$ Вт
7. КПД фидерных трактов 0.8

2) Требования к сигналу и генератору кода:

1. Длительность кода $T_{\text{пк}} := 1.54 \times 10^{-3}$ с
2. Число элементов кода $N_{\text{к}} := 255$
3. Длительность дискрета $T_{\text{д}} := 6.039 \times 10^{-6}$ с
4. Частота эталонного генератора $f_{\text{эт}} := 1.656 \times 10^5$ с
5. Относительная нестабильность частоты:

не менее $\delta f_{\text{эт}} := 10^{-11}$

3) Требования к приемнику:

1. Коэффициент шума приемника $N_{\text{ш}} := 10$ раз
2. Полоса пропускания $\Delta F_{\text{п}} := 779.249$ Гц
3. Пороговая мощность $P_{\text{пор}} := 3.2 \cdot 10^{-16}$ Вт

Список литературы

1. А.А Сосновский, Радиолокационные и радионавигационные измерители дальности: Учебное пособие к курсовому проектированию. – М.:МАИ.
2. Бакулев П.А, Сосновский А.А. Радиолокационные и радионавигационные системы: Учебное пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1994.
3. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992.