

# Радиодальномер с фазокодовой манипуляцией.

## Вариант 346.

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.

$$L_{\text{вч}} := 9 \quad \text{дБ}$$

$$L_{\text{обр}} := 5 \quad \text{дБ}$$

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

$$L_{\text{обр}} := 10^{0.1 \cdot L_{\text{обр}}} \quad L_{\text{обр}} = 3.162 \quad \text{раз}$$

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. Скорость распространения э/м волны в вакууме.

$$K_3 := 1.1 \quad c := 3 \cdot 10^8 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Постоянная Больцмана.

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

Стандартная температура.

$$T_0 := 290 \quad \text{К}$$

## 1 ) Структурная схема РД и тракт формирования опорного сигнала

Наиболее широкое применение в аппаратуре потребителей (АП) систем с непрерывным ФМС получила корреляционная обработка сигналов . Такая обработка позволяет использовать одни и те же устройства как при обнаружении сигнала , так и при измерении его информативного параметра , получая при этом близкие к оптимальным результаты.

Обобщенная схема устройства, реализующего корреляционную обработку сигнала, показана на рис. Принятый сигнал  $U_c$  поступает с выхода усилителя промежуточной частоты приемника  $\text{Прм}$  на коррелятор Кор, куда подается также опорный сигнал  $U_{\text{оп}}$ . Последний формируется блоком ФОС в момент  $t_0$  начала излучения кода ФМС опорной станцией и представляет собой "копию" этого ФМС. Задержка  $t_m$  опорного сигнала относительно момента  $t_0$  меняется с помощью управляющего сигнала УС.

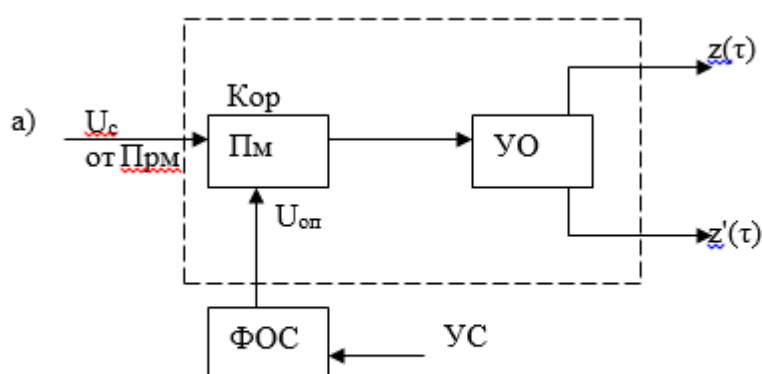


РИС. 1

— — —

$$\begin{aligned} U_n(t) &= U_c(t)U_{on}(t) = \\ &= P(t-t_R)\cos(\omega_{n,q}t + \varphi) \times P(t-t_M)\cos(\omega_{n,q} - \omega)t = \\ &= P(t-t_R)P(t-t_M)\cos(\omega t + \varphi) \end{aligned}$$

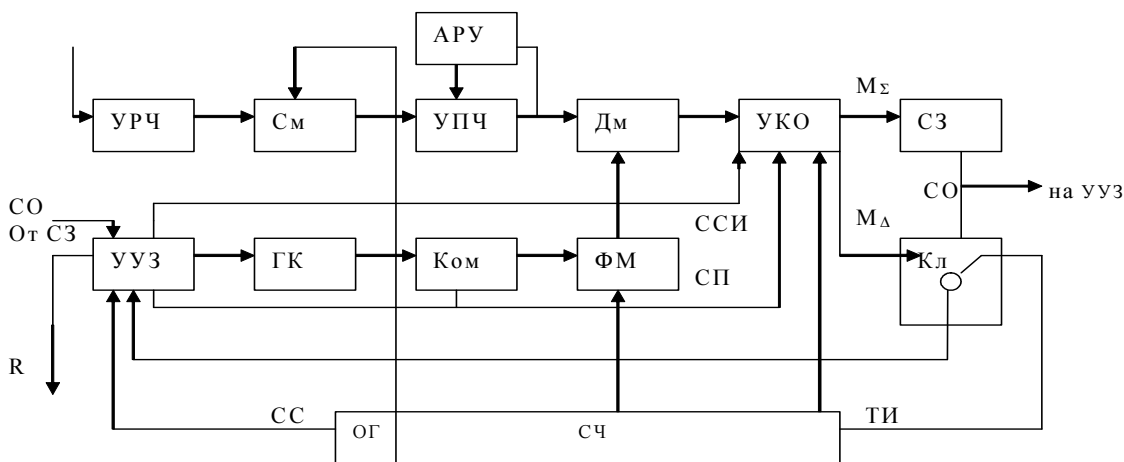
где  $P(*)$  - модулирующий код;  $\varphi$  - случайная фаза;  $\omega$  - сдвиг частоты опорного сигнала, выбираемый из условия упрощения реализации УО и равный обычно нескольким мегагерцам.

Произведение кодов определяет амплитуду сигнала  $U_{\text{п}}$ , которая достигает максимума при  $t_{\text{м}} = t_{\text{р}}$ , когда полностью устраняется модуляция принимаемого сигнала. В реальной АП перемножитель  $P_{\text{м}}$  называют демодулятором.

Устройство обработки УО вычисляет по сигналу  $U_{\text{п}}$  либо корреляционный интеграл  $z(\tau)$ , либо его производную  $z'(\tau)$ , где  $\tau = t_{\text{Р}} - t_{\text{м}}$ . Корреляционный интеграл  $z(\tau)$  пропорционален КФ кода  $\Psi_{\text{Р}}(\tau)$  и используется при обнаружении сигнала.

Для формирования производной  $z'(t) = d z(t)/dt$ , которая определяет дискриминационную характеристику при слежении за сигналом, необходимы две "копии" сигнала, сдвинутые на величину  $\pm \Delta$  относительно регулируемой задержки  $t_M$  ([13], § 4.2). При этом в общем случае требуется двухканальная обработка сигнала. В рассматриваемых системах часто применяют одноканальную схему, а опорные сигналы  $U_{оп}(t, t_M + \Delta)$  и  $U_{оп}(t, t_M - \Delta)$  подают от ФОС поочередно с периодом  $T_k$ , включая в схему коммутатор в точку "А" и предусматривая запоминание в У0 получаемых сигналов с целью вычисления  $z(t)$  или  $z'(t)$ . Одноканальная схема обработки обладает тем достоинством, что в ней не требуется поддержание одинаковыми параметров обоих каналов УО.

## Структурная схема аппаратуры потребителя



Принятый от опорной станции сигнал после усиления в УРЧ переводится в смесителе См на промежуточную частоту и усиливается в УПЧ. Последний должен иметь эффективную автоматическую регулировку усиления АРУ, которая поддерживает постоянным уровень сигнала, поступающего на устройства обработки.

Обработка ФМС выполняется с помощью корреляционного метода и начинается с его демодуляции. В демодуляторе Дм принятый сигнал  $U_c$  с несущей частотой, равной промежуточной частоте  $\omega_{пч}$ , умножается на опорный ФМС, имеющий частоту  $\omega_{пч} - \omega$ . Выходное напряжение демодулятора описывается соотношением .

## 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.

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

## 2) Расчёт параметров сигнала.

Длительность кода.

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

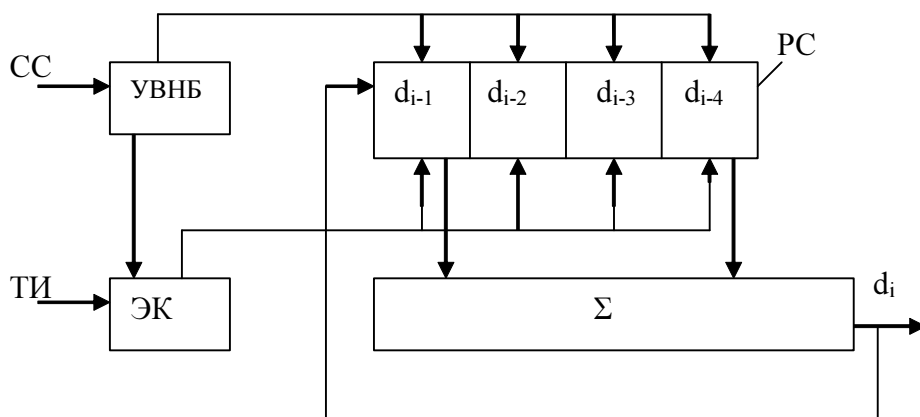
Число элементов кода.

$$N_3 := 2^m - 1 = 255$$

Длительность дискрета.

$$T_k := \frac{T_{\text{пк}}}{N_3} = 6.039 \times 10^{-6} \text{ с}$$

Генератор кода:



### 3) Расчёт погрешностей.

#### Этап 1

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

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

Динамическая погрешность.

$$\sigma_{d1} := \frac{\sigma_{\Sigma 1}}{\sqrt{5}} = 2.236 \quad \text{м}$$

Флюктуационная погрешность.

$$\sigma_{\text{фл}1} := 2 \cdot \sigma_{d1} = 4.472 \quad \text{м}$$

Постоянная времени инерционного звена.

$$T_2 := 1 \quad \text{с}$$

Полоса пропускания следящего измерителя.

$$\Delta F_{и1} := \sqrt{\frac{V_{\max}}{4 \cdot \sigma_{d1} \cdot T_2}} = 8.19 \quad \text{Гц}$$

Эквивалентная спектральная плотность шума на нулевой частоте.

$$G_{\Sigma 1} := \frac{\sigma_{\text{фл}1}^2}{2 \cdot \Delta F_{и1}} = 1.221 \quad \frac{\text{м}^2}{\text{Гц}}$$

$$q_{1\text{э}} := \frac{(c \cdot T_K)^2}{2 \cdot G_{\Sigma 1} \cdot \frac{1}{T_K}} = 8.118$$

$$q_1 := 1.6 q_{1\text{э}} = 12.989$$

#### Этап 2

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

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

$$q_{2\text{э}} := \frac{q_2}{1.6} = 2.03$$

$$G_{\Sigma 2} := \frac{(c \cdot T_K)^2}{2 \cdot q_{2\text{э}} \cdot \frac{1}{T_K}} = 4.884 \quad \frac{\text{м}^2}{\text{Гц}}$$

$$\sigma_{\text{фл}2} := \sqrt{2 \cdot G_{\Sigma 2} \cdot \Delta F_{и1}} = 8.944 \quad \text{м}$$

$$\sigma_{d2} := \frac{V_{\max}}{4 \cdot \Delta F_{и1}^2} = 2.236 \quad \text{м}$$

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

### Этап 3

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

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

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

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

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

### Этап 4

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

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

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

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

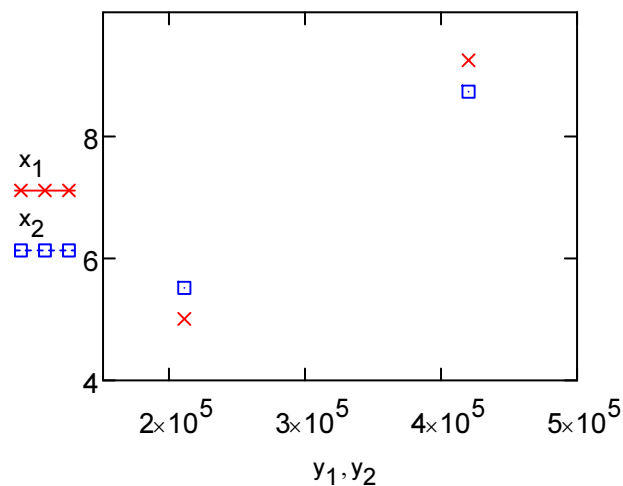
Зависимости суммарной погрешности от отношения R/R.max:

$$x_1 := (\sigma_{\Sigma 1} \quad \sigma_{\Sigma 2})$$

$$x_2 := (\sigma_{\Sigma 3} \quad \sigma_{\Sigma 4})$$

$$y_1 := (0.5R_{0\max} \quad R_{0\max})$$

$$y_2 := (R_{0\max} \quad 0.5R_{0\max})$$



#### 4) Расчёт энергетических параметров.

$$\Delta F_{\text{пут}} := \frac{1.2}{N_{\text{э}} \cdot T_{\text{к}}} = 779.221 \quad \text{Гц}$$

Пороговая мощность.

$$P_{\text{пор}} := q_2 \cdot k \cdot T_0 \cdot \Delta F_{\text{пут}} \cdot N_{\text{ш}} \cdot L_{\text{обп}} = 3.2022472713996692 \times 10^{-16} \quad \text{Вт}$$

Максимальная дальность действия.

$$R_{\text{max}} := \sqrt{\frac{(P_{\text{ос}} \cdot G_{\text{а}} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^2 \cdot P_{\text{пор}} \cdot L_{\text{вч}}}} = 7.891 \times 10^6 \quad \text{м}$$

#### 6) Расчёт вспомогательных параметров.

Частота эталонного генератора:

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

Относительная нестабильность частоты:

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

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

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

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

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

Полная погрешность измерения дальности:

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

## 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  $P_{\text{изл}} := 3$  Вт
7. КПД фидерных трактов 0.8

### 2) Требования к сигналу и генератору кода:

1. Длительность кода  $T_{\text{код}} := 1.54 \times 10^{-3}$  с
2. Число элементов кода  $N_{\text{эл}} := 255$
3. Длительность дискрета  $T_{\text{диск}} := 6.039 \times 10^{-6}$  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  $\Delta F_{\text{пол}} := 779.249$  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.



