НИУ «МЭИ»
Институт Радиотехники и Электроники им. В. А. Котельникова
Кафедра Радиотехнических Систем

Контрольная работа №1
по курсу «Методы оптимального приёма сигналов в аппаратуре потребителей СРНС»

Выполнила: Малафеева Д. Д.
Группа: ЭР-12м-19

Москва
2020

Дано:
Выборка сигналов, всего M=2048 отсчетов:

$$y_1 = A_1 \cos(\omega kT + \varphi_0) + n_{1,k},$$
$$y_2 = A_1 \sin(\omega kT + \varphi_0) + n_{2,k},$$
$$y_3 = A_2 \cos(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi) + n_{3,k},$$
$$y_4 = A_2 \sin(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi) + n_{4,k},$$
$$k \in [0, 2047],$$
$$T = 1/f_s,$$
$$f_s = 47.5 МГц.$$

$n_{(1...4),k}$ - независимые некоррелированные по времени ДБГШ с СКО $\sigma_n = 10$.
Параметры сигналов $A_1, A_2, \omega, \varphi_0, \Delta\varphi$ неизвестны, но постоянны на интервале наблюдения.

Найти:
$\Delta\varphi$, дисперсию ошибки для полученной оценки $D_{\Delta\varphi}$.

-

Указания:
- В решении необходимо использовать метод максимального правдоподобия, применять итеративный алгоритм оценивания с помощью дискриминаторов.
- Неинформативные параметры (амплитуда, частота, начальная фаза) считаются информативными и тоже оцениваются:
$$\boldsymbol{\lambda} = \begin{vmatrix} A_1 & A_2 & \omega & \varphi_0 & \Delta\varphi \end{vmatrix}^T.$$
- Вектор наблюдений:
$$\mathbf{y}_k = \begin{vmatrix} y_{1,k} & y_{2,k} & y_{3,k} & y_{4,k} \end{vmatrix}^T = \mathbf{S}_k(\boldsymbol{\lambda}) + \mathbf{n}_k.$$
- Отношение правдоподобия для векторных наблюдений в дискретном времени:
$$\rho\left(\mathbf{Y}_0^M\right) = \exp\left\{\sum_{k=1}^{M} \mathbf{S}_k^T(\lambda)\mathbf{D}_n^{-1}\left(\mathbf{y}_k - \frac{1}{2}\mathbf{S}_k(\boldsymbol{\lambda})\right)\right\},$$

где $\mathbf{D}_n = \sigma_n^2 \cdot \mathbf{I}$ - матрица дисперсий шумов наблюдений.

Решение:

Теория

1. Запишем функцию правдоподобия:

$$\ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right) = \sum_{k=1}^{M} \mathbf{S}_k^T(\lambda)\cdot\mathbf{D}_n^{-1}\left(\mathbf{y}_k - \frac{1}{2}\mathbf{S}_k(\boldsymbol{\lambda})\right) = \\ = \sum_{k=1}^{M}\left(\mathbf{S}_k^T(\lambda)\cdot\mathbf{D}_n^{-1}\cdot\mathbf{y}_k - \frac{1}{2}\mathbf{S}_k^T(\boldsymbol{\lambda})\cdot\mathbf{D}_n^{-1}\cdot\mathbf{S}_k(\boldsymbol{\lambda})\right) \tag{0.1}$$

2. Теперь распишем $\mathbf{S}_k^T(\boldsymbol{\lambda})\cdot\mathbf{D}_n^{-1}\cdot\mathbf{S}_k(\boldsymbol{\lambda})$:

$$\mathbf{S}_k^T(\boldsymbol{\lambda}) = \begin{vmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{vmatrix}^T =$$

$$= \begin{vmatrix} A_1\cos\left(\omega kT + \varphi_0\right) & A_1\sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) & A_2\cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) & A_2\sin\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) \end{vmatrix} \tag{0.2}$$

$$\mathbf{D}_n^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_n^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_n^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_n^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_n^2} \end{bmatrix} \tag{0.3}$$

$$\mathbf{S}_k^T(\boldsymbol{\lambda})\cdot\mathbf{D}_n^{-1}=$$

$$=\left|S_1\quad S_2\quad S_3\quad S_4\right|\cdot\begin{bmatrix}\frac{1}{\sigma_n^2} & 0 & 0 & 0\\ 0 & \frac{1}{\sigma_n^2} & 0 & 0\\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_n^2} & 0\\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_n^2}\end{bmatrix}=$$

$$=\left|\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_1\quad \frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_2\quad \frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_3\quad \frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_4\right| \tag{0.4}$$

Тогда $\mathbf{S}_k^T(\boldsymbol{\lambda})\cdot\mathbf{D}_n^{-1}\cdot\mathbf{S}_k(\boldsymbol{\lambda})$:

$$\mathbf{S}_k^T(\boldsymbol{\lambda})\cdot\mathbf{D}_n^{-1}\cdot\mathbf{S}_k(\boldsymbol{\lambda})=$$

$$=\left|\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_1\quad \frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_2\quad \frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_3\quad \frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_4\right|\cdot\begin{vmatrix}S_1\\ S_2\\ S_3\\ S_4\end{vmatrix}=$$

$$=\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_1\cdot S_1+\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_2\cdot S_2+\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_3\cdot S_3+\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_4\cdot S_4=$$

$$=\frac{1}{\sigma_n^2}\left(S_1^2+S_2^2+S_3^2+S_4^2\right)=$$

$$=\frac{1}{\sigma_n^2}[A_1^2\cos^2\left(\omega kT+\varphi_0\right)+A_1^2\sin^2\left(\omega kT+\varphi_0\right)+$$

$$+A_2^2\cos^2\left(\omega kT+\varphi_0+\Delta\varphi\right)+A_2^2\sin^2\left(\omega kT+\varphi_0+\Delta\varphi\right)]=$$

$$=\frac{1}{\sigma_n^2}\left(A_1^2+A_2^2\right). \tag{0.5}$$

3. Вернемся к выражению 1.1 и запишем его с учетом приведенных преобразований:

$$
\begin{aligned}
&\ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)=\sum_{k=1}^{M}\mathbf{S}_k^T(\lambda)\cdot\mathbf{D}_n^{-1}\left(\mathbf{y}_k-\frac{1}{2}\mathbf{S}_k(\boldsymbol{\lambda})\right)=\\
&=\sum_{k=1}^{M}\left(\mathbf{S}_k^T(\lambda)\cdot\mathbf{D}_n^{-1}\cdot\mathbf{y}_k-\frac{1}{2}\mathbf{S}_k^T(\boldsymbol{\lambda})\cdot\mathbf{D}_n^{-1}\cdot\mathbf{S}_k(\boldsymbol{\lambda})\right)=\\
&=\sum_{k=1}^{M}\left(\left|\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_1\quad\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_2\quad\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_3\quad\frac{1}{\sigma_n^2}\cdot S_4\right|\cdot\mathbf{y}_k-\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sigma_n^2}\left(A_1^2+A_2^2\right)\right)=\\
&=\frac{1}{\sigma_n^2}\left[\cdot\sum_{k=1}^{M}\left(S_1\cdot y_1+S_2\cdot y_2+S_3\cdot y_3+S_4\cdot y_4\right)-\frac{M}{2}\left(A_1^2+A_2^2\right)\right]
\end{aligned}
\qquad (0.6)
$$

4. Далее рассчитаем все производные функции правдоподобия по составляющим вектора оцениваемых параметров:

$$
\frac{\partial\ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1}=\frac{1}{\sigma_n^2}\left[\sum_{k=1}^{M}\left(\cos\left(\omega kT+\varphi_0\right)y_{1,k}+\sin\left(\omega kT+\varphi_0\right)y_{2,k}\right)-M\cdot A_1\right],
$$

(0.7)

$$
\frac{\partial\ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2}=\frac{1}{\sigma_n^2}\left[\sum_{k=1}^{M}\left(\cos\left(\omega kT+\varphi_0+\Delta\varphi\right)y_{3,k}+\sin\left(\omega kT+\varphi_0+\Delta\varphi\right)y_{4,k}\right)-M\cdot A_2\right],
$$

(0.8)

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial\ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial\omega}=\frac{1}{\sigma_n^2}[\sum_{k=1}^{M}(-A_1\sin\left(\omega kT+\varphi_0\right)y_{1,k}\cdot kT+A_1\cos\left(\omega kT+\varphi_0\right)y_{2,k}\cdot kT-\\
&-A_2\sin\left(\omega kT+\varphi_0+\Delta\varphi\right)y_{3,k}\cdot kT+A_2\cos\left(\omega kT+\varphi_0\right)y_{4,k}\cdot kT)],
\end{aligned}
$$

(0.9)

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial\ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial\varphi_0}=\frac{1}{\sigma_n^2}[\sum_{k=1}^{M}(-A_1\sin\left(\omega kT+\varphi_0\right)y_{1,k}+A_1\cos\left(\omega kT+\varphi_0\right)y_{2,k}-\\
&-A_2\sin\left(\omega kT+\varphi_0+\Delta\varphi\right)y_{3,k}+A_2\cos\left(\omega kT+\varphi_0\right)y_{4,k})],
\end{aligned}
$$

(0.10)

$$
\frac{\partial\ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial\Delta\varphi}=\frac{1}{\sigma_n^2}[\sum_{k=1}^{M}(-A_2\sin\left(\omega kT+\varphi_0+\Delta\varphi\right)y_{3,k}+A_2\cos\left(\omega kT+\varphi_0\right)y_{4,k})],
$$

(0.11)

5. Теперь найдем все вторые и смешанные производные функции правдоподобия:

- A_1:

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1^{\,2}} = -\frac{M}{\sigma_n^2}, \tag{0.12}$$

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial A_2} = 0, \tag{0.13}$$

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial \omega} = \frac{1}{\sigma_n^2}\left[\sum_{k=1}^{M}\left(-\sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{1,k}\cdot kT + \cos\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{2,k}\cdot kT\right)\right], \tag{0.14}$$

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial \varphi_0} = \frac{1}{\sigma_n^2}\left[\sum_{k=1}^{M}\left(-\sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{1,k} + \cos\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{2,k}\right)\right], \tag{0.15}$$

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial \Delta\varphi} = 0. \tag{0.16}$$

- A_2:

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2^{\,2}} = -\frac{M}{\sigma_n^2}, \tag{0.17}$$

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2 \partial \omega} = \frac{1}{\sigma_n^2}\left[\sum_{k=1}^{M}\left(-\sin\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{3,k}\cdot kT + \cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{4,k}\cdot kT\right)\right], \tag{0.18}$$

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2 \partial \varphi_0} = \frac{1}{\sigma_n^2}\left[\sum_{k=1}^{M}\left(-\sin\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{3,k} + \cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{4,k}\right)\right], \tag{0.19}$$

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2 \partial \Delta\varphi} = \frac{1}{\sigma_n^2}\left[\sum_{k=1}^{M}\left(-\sin\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{3,k} + \cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{4,k}\right)\right]. \tag{0.20}$$

- ω:

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho\left(\boldsymbol{\lambda}\right)\right)}{\partial \omega^2} = \frac{1}{\sigma_n^2}[\sum_{k=1}^{M}(-A_1 \cos\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{1,k} \cdot \left(kT\right)^2 - A_1 \sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{2,k} \cdot \left(kT\right)^2 -$$
$$-A_2 \cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{3,k} \cdot \left(kT\right)^2 - A_2 \sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{4,k} \cdot \left(kT\right)^2)],$$
(0.21)

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho\left(\boldsymbol{\lambda}\right)\right)}{\partial \omega \partial \varphi_0} = \frac{1}{\sigma_n^2}[\sum_{k=1}^{M}(-A_1 \cos\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{1,k} \cdot kT - A_1 \sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{2,k} \cdot kT -$$
$$-A_2 \cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{3,k} \cdot kT - A_2 \sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{4,k} \cdot kT)],$$
(0.22)

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho\left(\boldsymbol{\lambda}\right)\right)}{\partial \omega \partial \Delta\varphi} = \frac{1}{\sigma_n^2}[-A_2 \cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{3,k} \cdot kT - A_2 \sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{4,k} \cdot kT)],$$
(0.23)

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho\left(\boldsymbol{\lambda}\right)\right)}{\partial {\varphi_0}^2} = \frac{1}{\sigma_n^2}[\sum_{k=1}^{M}(-A_1 \cos\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{1,k} - A_1 \sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{2,k} -$$
$$-A_2 \cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{3,k} - A_2 \sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{4,k})],$$
(0.24)

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho\left(\boldsymbol{\lambda}\right)\right)}{\partial \varphi_0 \partial \Delta\varphi} = \frac{1}{\sigma_n^2}[\sum_{k=1}^{M}(- A_2 \cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{3,k} - A_2 \sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{4,k})].$$
(0.25)

- $\Delta\varphi$:

$$\frac{\partial^2 \ln\left(\rho\left(\boldsymbol{\lambda}\right)\right)}{\partial \Delta\varphi^2} = \frac{1}{\sigma_n^2}[\sum_{k=1}^{M}(- A_2 \cos\left(\omega kT + \varphi_0 + \Delta\varphi\right) y_{3,k} - A_2 \sin\left(\omega kT + \varphi_0\right) y_{4,k})].$$
(0.26)

6. Далее все рассчитанные производные нужно собрать в вектор (для первых производных) и матрицу (для вторых и смешанных производных) и применить алгоритм оценивания параметров сигналов с помощью дискриминаторов:

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} - \frac{\partial \ln\left[\rho\left(\lambda^{(k)}\right)\right]}{\partial \lambda}\left[\frac{\partial^2 \ln\left[\rho\left(\lambda^{(k)}\right)\right]}{\partial \lambda^2}\right]^{-1}, \qquad (0.27)$$

Здесь

$$\frac{\partial \ln\left[\rho\left(\boldsymbol{\lambda}^{(k)}\right)\right]}{\partial \boldsymbol{\lambda}} =$$

$$= \left|\frac{\partial \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1} \quad \frac{\partial \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2} \quad \frac{\partial \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \omega} \quad \frac{\partial \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \varphi_0} \quad \frac{\partial \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \Delta\varphi}\right|,$$

(0.28)

$$\left[\frac{\partial^2 \ln\left[\rho\left(\lambda^{(k)}\right)\right]}{\partial \lambda^2}\right]^{-1} =$$

$$= \begin{bmatrix}
\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1^2} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial A_2} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial \omega} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial \varphi_0} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial \Delta\varphi} \\
\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial A_2} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2^2} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2 \partial \omega} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2 \partial \varphi_0} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2 \partial \Delta\varphi} \\
\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial \omega} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2 \partial \omega} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \omega^2} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \omega \partial \varphi_0} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \omega \partial \Delta\varphi} \\
\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial \varphi_0} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2 \partial \varphi_0} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \omega \partial \varphi_0} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \varphi_0^2} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \varphi_0 \partial \Delta\varphi} \\
\frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_1 \partial \Delta\varphi} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial A_2 \partial \Delta\varphi} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \omega \partial \Delta\varphi} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \varphi_0 \partial \Delta\varphi} & \frac{\partial^2 \ln\left(\rho(\boldsymbol{\lambda})\right)}{\partial \Delta\varphi^2}
\end{bmatrix}^{-1}.$$

(0.29)

Расчет производится с помощью метода простой итерации. Критерий окончания:

$$\left|\Delta\varphi^{(k)} - \Delta\varphi^{(k-1)}\right| \le 10^{-8}. \qquad (0.30)$$

7. При условии, что ОСШ достаточно большое дисперсию ошибки оценивания параметра $\Delta\varphi$ - $D_{\Delta\varphi}$ можно найти по формуле:

$$D_{\Delta\hat{\varphi}} = J_{5,5}^{-1}, \tag{0.31}$$

где $J_{i,j}$ - это элемент матрицы Фишера, рассчитываемый по формуле:

$$J_{i,j} = -\mathrm{M}\left[\frac{\partial^2 \ln\left(\rho\left(\lambda\right)\right)}{\partial\lambda_i \partial\lambda_j}\right], \tag{0.32}$$

здесь $\mathrm{M}[*]$- функция вычисления мат. ожидания.

Тогда:

$$D_{\Delta\varphi} = J_{5,5}^{-1} = -\left[\frac{\partial^2 \ln\left(\rho\left(\boldsymbol{\lambda}\right)\right)}{\partial\Delta\varphi^2}\right]^{-1}. \tag{0.33}$$

Математическое моделирование

1. Начальные данные для алгоритма оценивания параметров с помощью дискриминаторов

Расчёты проведены на языке программирования Python. Построим выборку заданных реализаций на входе приёмника:

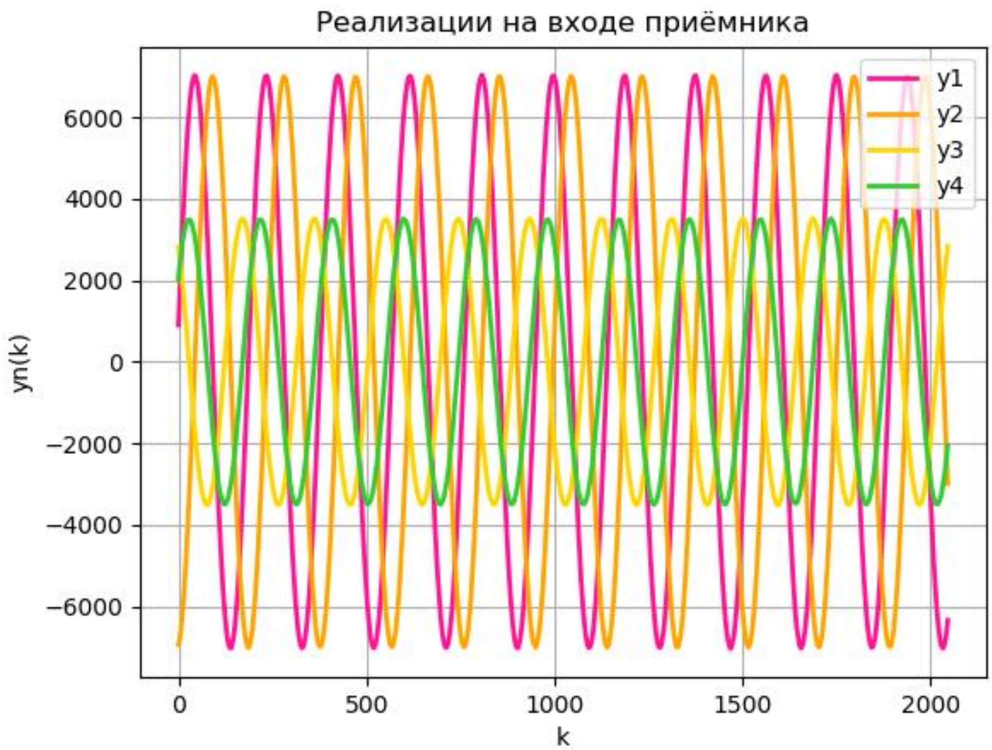

Рис. 1 Реализации на входе приёмника

Необходимо задать начальное значение вектора оцениваемых параметров:

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\lambda}_0 &= \begin{vmatrix} A_{1,0} & A_{2,0} & \omega_0 & \varphi_{0,0} & \Delta\varphi_0 \end{vmatrix}^T = \\ &= \begin{vmatrix} 7030 & 3500 & 5\cdot 10^5 & rad(-60^\circ) & rad(-120^\circ) \end{vmatrix}^T.\end{aligned} \tag{0.34}$$

Все параметры выбраны, вероятно, далекими от начальных значений параметров. Однако, мне кажется, это должно повлиять только на количество итераций, за которые оценка параметров достигнет заданной точности.

Результаты

(пока их нет)