

УДК 621.396.677.51

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВХОДНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ПЕЛЕНГАТОРА С ОРТОГОНАЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ПРИЕМНЫМИ КАНАЛАМИ, РАЗМЕЩЕННЫМИ НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

БАШКОВА М. А., КОЗЛОВ С. В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Беларусь)*

Аннотация. Рассмотрен вариант геометрии корреляционно-интерферометрического пеленгатора с антенной системой в виде набора ортогонально ориентированных пар диполей, размещенных по криволинейной поверхности в виде половины эллипсоида. Разработана геометрия антенной системы, а также приведены основные соотношения математической модели для аналитической записи сигналов на выходах приемных каналов и их последующего воспроизведения при имитационном моделировании. Разработанная модель представляет собой составную часть модели корреляционно-интерферометрического пеленгатора сигналов с произвольной поляризацией в азимутальной и угломестной плоскостях и может быть использована для исследования точностных характеристик совместного оценивания угловых координат и поляризационных параметров источников радиоизлучения.

Abstract. A variant of the geometry of a correlation-interferometric direction finder with an antenna system in the form of a set of orthogonally oriented pairs of dipoles placed along a curved surface in the form of a half ellipsoid is considered. The geometry of the antenna system has been developed, as well as the main relationships of the mathematical model for the analytical recording of signals at the outputs of the receiving channels and their subsequent reproduction in simulation modeling. The developed model is an integral part of the model of the correlation-interferometric direction finder of signals with arbitrary polarization in the azimuthal and elevation planes and can be used to study the accuracy characteristics of the joint estimation of the angular coordinates and polarization parameters of radio emission sources.

Постановка задачи

В практике радиомониторинга [1,2] может иметь случай размещения приемных элементов (ПЭ) пеленгаторной антенной решетки корреляционно-интерферометрического пеленгатора на поверхности с произвольной кривизной (сфера, эллипсоид, оживало, конус и т.д.). При этом из-за конструктивных ограничений выполнить требования по одинаковой поляризации ПЭ невозможно, и векторные диаграммы направленности всех ПЭ будут различны [3-6]. Поэтому алгоритмы обработки сигналов для такого пеленгатора должны быть развиты для сигналов с произвольной, отличной от линейной, поляризацией [3], для которой имеет место ненулевой сдвиг фаз ортогонально поляризованных компонентов электромагнитной волны.

Геометрия рассматриваемой антенной системы приведена на рисунке 1. Ортогональные по поляризации приемные элементы (диполи, двухпортовые микрополосковые антенны и т.д.) размещены по касательной к поверхности с произвольной кривизной вкруговую по азимуту и в несколько ярусов, причем ярусы могут быть смещены друг от друга на некоторый угол по азимуту. Заданы исходные данные в виде радиуса эллипсоида, на котором размещены ПЭ в виде перпендикулярно расположенных пар диполей с общим числом $N_{\Sigma} = N_1 N_2$, где N_1 – число рядов ПЭ по азимуту; N_2 – число ярусов ПЭ по углу места. Длина плеча (половина общей длины) всех диполей одинакова и составляет L_d . Пространство, ограниченной поверхностью, является непрозрачным для электромагнитных волн, но сама поверхность не является отражающей.

Источник полезного сигнала имеет произвольную поляризацию и расположен под углами α_c и β_c (азимут, угол места). Вертикальной (основной) считается поляризация в плоскости падения, проведенной через нормаль $\mathbf{n} = (0, 0, 1)^T$ и направление на источник. Горизонтальная поляризация перпендикулярна вертикальной.

Назначение разрабатываемой математической модели – получение аналитической записи сигналов на выходах приемных каналов для сигнала с произвольной поляризацией для множества ортогональных по поляризации приемных элементов, расположенных на поверхности с произвольной кривизной для отработки способов и алгоритмов совместного измерения угловых

координат и поляризационных параметров источника излучения.

Для такой антенной системы амплитуды и фазы принимаемых каждым приемным элементом сигналов зависят от большого числа параметров, таких как поляризационные параметры полезного сигнала – угол наклона γ_c плоскости поляризации сигнала и сдвиг фаз φ_c ортогонально поляризованных компонентов электромагнитной поля [5,6], и от направления прихода сигнала в азимутальной α и угломестной β плоскостях.

Это требует разработки и верификации математической модели входной реализации с ее последующим использованием как составной части модели корреляционно-интерферометрического пеленгатора для сигналов с произвольной поляризацией и определения потенциальных характеристик точности совместного определения угловых координат и поляризационных параметров сигнала.

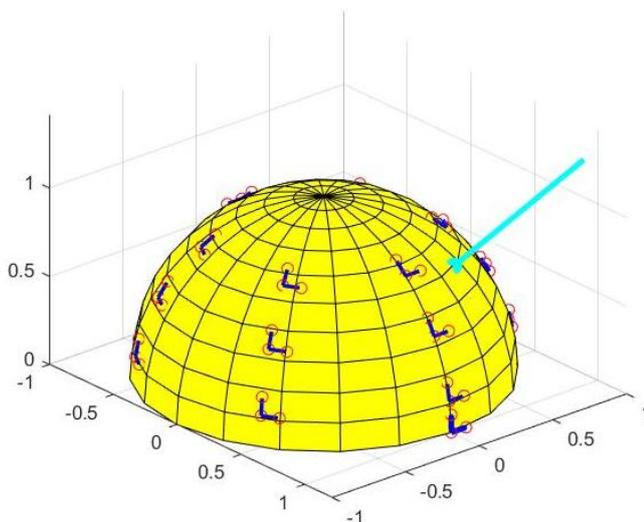


Рис. 1. Геометрия антенной системы

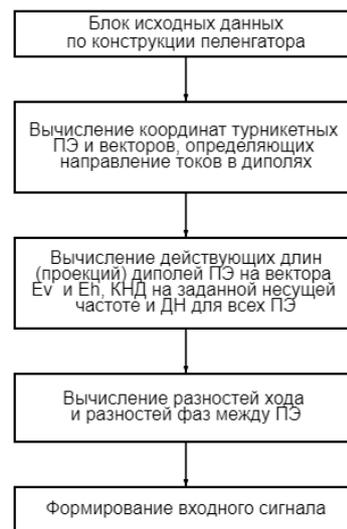


Рис. 2. Структурная схема компьютерной модели

Основные расчетные соотношения

Структурная схема компьютерной модели представлена на рисунке 2. Алгоритм для формирования входного сигнала включает следующие этапы:

- 1) задание исходных данных по геометрии антенной системы;
- 2) вычисление координат фазовых центров ПЭ и векторов \mathbf{v}, \mathbf{h} , определяющих направление тока в вертикально и горизонтально ориентированных диполях;
- 3) вычисление действующих длин диполей ПЭ как проекций на векторы \mathbf{n}_v и \mathbf{n}_h , определяющие вертикально и горизонтально ориентированные поляризационные компоненты вектора напряженности электромагнитной волны с произвольной поляризацией γ_c, φ_c ;
- 4) вычисление геометрических разностей хода и разностей фаз между ПЭ и условным фазовым центром антенной системы;
- 5) вычисление углов и определение признаков видимости для всех ПЭ;
- 6) вычисление коэффициента направленного действия (КНД) диполей на заданной несущей частоте и векторных диаграмм направленности (ДН) для всех ПЭ;
- 7) формирование вектор-столбца, составленного из значений ДН приемных элементов, и векторного входного сигнала.

Рассмотрим алгоритм более подробно.

1. В антенной системе имеется $N_2 = N_1 N_2$ пар приемных элементов. Координаты фазового центра каждого ПЭ получим поворотом начальной точки отсчета с координатой $\mathbf{e} = (R, 0, 0)^T$, где R – радиус сферической поверхности, на которой размещены ПЭ, на заданные углы $\alpha(n_1), \beta(n_2)$ по азимуту и углу места, где $n_1 = 1..N_1, n_2 = 1..N_2$ – индексы номера пары ПЭ по азимуту и углу места. Необходимо вычислить координаты $(x, y, z)_{n_1, n_2}^T$, фазовых центров пары ПЭ - вертикально и горизонтально ориентированных диполей.

2. С помощью перемножения матриц поворота $\mathbf{M}_z(\alpha)$ и $\mathbf{M}_y(\beta)$, определяющих поворот точки на угол α относительно оси Oz и на угол β относительно оси Oy , и вектора-столбца \mathbf{e} , описывающего начальную точку, получим координаты фазового центра ПЭ:

$$(x, y, z)_{n_1, n_2}^T = \mathbf{M}(\alpha(n_1), \beta(n_2))\mathbf{e}, \quad (1)$$

Где

$$\mathbf{M}(\alpha(n_1), \beta(n_2)) = \mathbf{M}_z(\alpha)\mathbf{M}_y(\beta) \quad (2)$$

- матрица преобразования координат при последовательных поворотах точки на угол β относительно оси Oy и на угол α относительно оси Oz с матрицами поворота вида:

$$\mathbf{M}_y(\beta) = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{M}_z(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Тогда координаты векторов, определяющих положительные направления токов для вертикально и горизонтально ориентированного диполя, длина которых равна длине плеча диполя, можно представить как:

$$\mathbf{v}_{n_1, n_2} = \mathbf{M}(\alpha(n_1), \beta(n_2))\mathbf{e}_v, \quad (5)$$

$$\mathbf{h}_{n_1, n_2} = \mathbf{M}(\alpha(n_1), \beta(n_2))\mathbf{e}_h, \quad (6)$$

где $\mathbf{e}_v = (0, 0, L_d)^T$, $\mathbf{e}_h = (0, L_d, 0)^T$ – координаты исходных (до поворота) векторов, определяющих направления токов в вертикально и горизонтально ориентированных диполях.

3. Для вычисления действующих длин диполей приемных элементов вычисляем проекцию вектора на вектора, определяющий вертикальную и горизонтальную поляризации.

Для этого задаем единичные векторы $\mathbf{e}_{v_p} = (0, 0, 1)^T$ и $\mathbf{e}_{h_p} = (0, 1, 0)^T$ – вертикальной и горизонтальной поляризации при наблюдении с направления $\alpha=0$, $\beta=0$. Направления указанных векторов совпадают с положительным направлением вектора напряженности электрического поля при наблюдении с углового направления $(0; 0)$. Тогда направляющий вектор вертикальной поляризации \mathbf{n}_v для заданного направления наблюдения (α_c, β_c) находится через перемножения матриц-поворота $\mathbf{M}_z(\alpha_c)$ и $\mathbf{M}_y(\beta_c)$ и вектора-столбца \mathbf{e}_{v_p} . Вектор горизонтальной поляризации \mathbf{n}_h – через матрице $\mathbf{M}_z(\alpha_c)$ и $\mathbf{M}_y(\beta_c)$ и \mathbf{e}_{h_p} :

$$\mathbf{n}_v = \mathbf{M}_z(\alpha_c)\mathbf{M}_y(\beta_c)\mathbf{e}_{v_p}; \quad (7)$$

$$\mathbf{n}_h = \mathbf{M}_z(\alpha_c)\mathbf{M}_y(\beta_c)\mathbf{e}_{h_p}. \quad (8)$$

4. Разность фаз β_{n_1, n_2} сигналов ПЭ, обусловленную смещением ПЭ относительно фазового центра приемной системы, вычисляем как следующим образом:

$$\beta_{n_1, n_2} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R_{n_1, n_2}, \quad (9)$$

где $\Delta R_{n_1, n_2}$ – разность хода волны до начала координат и фазового центра ПЭ.

Разность хода представляет собой проекцию вектора $\mathbf{a} = (x_{n_1, n_2}, y_{n_1, n_2}, z_{n_1, n_2})^T$ на направление единичного вектора $\mathbf{b} = (\cos\alpha_c \cos\beta_c, \sin\alpha_c \cos\beta_c, \sin\beta_c)^T$, откуда

$$\Delta R_{n_1, n_2} = x_{n_1, n_2} \cos \alpha_c \cos \beta_c + y_{n_1, n_2} \sin \alpha_c \cos \beta_c + z_{n_1, n_2} \sin \beta_c \quad (10)$$

5. Так как поверхность, на которой размещены ПЭ не является отражающей, нужно учесть угол видимости источника излучения для ПЭ, то есть угол между направлением на центр полусферы и направлением на источник электромагнитной волны при наблюдении с фазового центра ПЭ. Угол видимости для всех ПЭ можно рассчитать по следующей формуле:

$$\varepsilon_{n_1, n_2} = \arccos \left(\frac{-\mathbf{ab}}{|\mathbf{a}|} \right) = \arccos \left(\frac{-\Delta R_{n_1, n_2}}{|\mathbf{a}|} \right) \quad (11)$$

Если угол $\varepsilon_{n_1, n_2} > 90^\circ$, источник полезного сигнала попадает в область видимости для данного ПЭ, иначе данный ПЭ не принимает сигнал.

6. Нормированная диаграмма направленности каждого диполя будет зависеть от длины волны λ и угла между направлением тока в диполе и приходом ЭМВ. В общем случае нормированная ДН диполя в заданном направлении, при $\frac{L_d}{\lambda} < 0,64$ будет вычисляться по следующей формуле [3]:

$$f_n(\lambda, L, \theta) = \frac{\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} L_d \cdot \cos\theta\right) - \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} L_d\right)}{\sin\theta \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} L_d\right)\right)} \quad (12)$$

Углы между направлением тока в диполе и направлением на источник ЭМВ для всех ПЭ для вертикально и горизонтально ориентированных диполей можно рассчитать по следующей формуле:

$$\theta_{n_1, n_2}^v = \arccos \left(\frac{\mathbf{v}_{n_1, n_2} \cdot \mathbf{b}}{L_d} \right); \quad \theta_{n_1, n_2}^h = \arccos \left(\frac{\mathbf{h}_{n_1, n_2} \cdot \mathbf{b}}{L_d} \right) \quad (13)$$

где $\mathbf{b} = (\cos \alpha_c \cos \beta_c, \sin \alpha_c \cos \beta_c, \sin \beta_c)^T$ - вектор направления на источник ЭМВ. При угле θ^v и θ^h нормированная ДН в заданном направлении вычисляется как:

$$f_{n_1, n_2}^v(\lambda, L) = \frac{\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} L_d \cdot \cos\theta_{n_1, n_2}^v\right) - \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} L_d\right)}{\sin\theta_{n_1, n_2}^v \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} L_d\right)\right)}; \quad (14)$$

$$f_{n_1, n_2}^h(\lambda, L, \theta) = \frac{\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} L_d \cdot \cos\theta_{n_1, n_2}^h\right) - \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} L_d\right)}{\sin\theta_{n_1, n_2}^h \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} L_d\right)\right)}. \quad (15)$$

Коэффициент направленного действия (КНД) диполя на заданной длине волны [3]

$$D(\lambda, L) = \frac{4\pi}{2\pi \cdot \int_0^\pi f_n(\lambda, L_d, \theta)^2 \cdot \sin\theta \, d\theta}. \quad (16)$$

Коэффициент усиления диполя в направлении прихода ЭМВ на согласованной поляризации (вектор напряженности ЭМВ лежит в плоскости, образованной диполем и направлением распространения ЭМВ) находится как:

$$K_{n_1, n_2}^{v(h)} = \sqrt{D(\lambda, L)} \cdot f_{n_1, n_2}^{v(h)}(\lambda, L) \quad (17)$$

Найдем углы между плоскостью собственной поляризации диполя и плоскостями вертикальной и горизонтальной поляризации. Для этого найдем проекции начала и конца плеча соответствующих диполей на картинную плоскость. Проекция точки $(x, y, z)_{n_1, n_2}^T$, начала или конца, вертикально и горизонтально направленного диполя на картинную плоскость, с

единичным направляющим вектором $n_{ЭМВ} = (n_x, n_y, n_z)^T$, в общем виде вычисляется как (для сокращения записи индексы номера ПЭ опущены):

$$\begin{aligned} x_{pr} &= x \cdot (1 - n_x^2) - y \cdot n_x \cdot n_y - z \cdot n_x \cdot n_z; \\ y_{pr} &= y \cdot (1 - n_y^2) - x \cdot n_x \cdot n_y - z \cdot n_y \cdot n_z; \\ z_{pr} &= z \cdot (1 - n_z^2) - x \cdot n_x \cdot n_z - y \cdot n_y \cdot n_z \end{aligned}$$

где $n_x = \cos(\alpha_c) \cdot \cos(\beta_c)$; $n_y = \sin(\alpha_c) \cdot \cos(\beta_c)$; $n_z = \sin(\beta_c)$ – координаты направляющего вектора на источник излучения.

Указанные проекции диполей вычисляются как:

$$L_{n1,n2}^v = (x_{Vend} - x_{Vst}; y_{Vend} - y_{Vst}; z_{Vend} - z_{Vst})^T; \quad (18)$$

$$L_{n1,n2}^h = (x_{Hend} - x_{Hst}; y_{Hend} - y_{Hst}; z_{Hend} - z_{Hst})^T, \quad (19)$$

где $L_{n1,n2}^{v,h}$ – проекция вертикально и горизонтально ориентированного диполя ПЭ с индексами $n1, n2$; $(x_{Vst}, y_{Vst}, z_{Vst}) = (x_{Hst}, y_{Hst}, z_{Hst})$ – координаты центра вертикально и горизонтально ориентированного диполя; $(x_{Vend}, y_{Vend}, z_{Vend}), (x_{Hend}, y_{Hend}, z_{Hend})$ – координаты конца плеча вертикально и горизонтально ориентированного диполя.

Далее вычислим угол в картинной плоскости между проекцией вертикального (горизонтального) диполя и вектором вертикальной (горизонтальной) поляризации:

$$\varphi_{n1,n2}^{vv} = \arccos\left(\frac{\mathbf{n}_v L_{n1,n2}^v}{|L_{n1,n2}^v|}\right); \varphi_{n1,n2}^{vh} = \arccos\left(\frac{\mathbf{n}_h L_{n1,n2}^v}{|L_{n1,n2}^v|}\right); \quad (20)$$

$$\varphi_{n1,n2}^{hv} = \arccos\left(\frac{\mathbf{n}_v L_{n1,n2}^h}{|L_{n1,n2}^h|}\right); \varphi_{n1,n2}^{hh} = \arccos\left(\frac{\mathbf{n}_h L_{n1,n2}^h}{|L_{n1,n2}^h|}\right). \quad (21)$$

Тогда общая формула для значения ДН диполя в в заданном направлении и на заданной поляризации находится как:

$$F(\lambda, L, \theta, \varphi) = K(\theta) \cdot \cos(\varphi) \quad (22)$$

Подставив соответствующие проекции, получим значения диаграмм направленности каждого диполя на вертикальной и горизонтальной поляризациях:

$$F_{n1,n2}^{vv} = K_{n1,n2}^v \cdot \cos(\varphi_{n1,n2}^{vv}); F_{n1,n2}^{vh} = K_{n1,n2}^v \cdot \cos(\varphi_{n1,n2}^{vh}); \quad (23)$$

$$F_{n1,n2}^{hv} = K_{n1,n2}^h \cdot \cos(\varphi_{n1,n2}^{hv}); F_{n1,n2}^{hh} = K_{n1,n2}^h \cdot \cos(\varphi_{n1,n2}^{hh}). \quad (24)$$

7. Поляризационные параметры полезного сигнала полностью определяются фазором:

8.

$$\mathbf{p}_c = \begin{pmatrix} \cos \gamma_c \\ \sin \gamma_c e^{j\varphi_c} \end{pmatrix}, \quad (25)$$

где γ_c – угол наклона плоскости поляризации; φ_c – сдвиг фаз ортогонально поляризованных компонентов. При $\varphi_c=0$ имеем линейную поляризацию с углом наклона относительно плоскости падения γ_c , при $\varphi_c = \pi/2$ – круговую, для произвольных значений – эллиптическую.

При приеме полезного сигнала с заданной поляризацией γ_c, φ_c векторная (выходы двух диполей) ДН приемного элемента может быть записана в виде:

$$\mathbf{g}_{n1,n2} = \begin{pmatrix} F_{n1,n2}^{vv} \cos \gamma_c + F_{n1,n2}^{vh} \sin \gamma_c e^{j\varphi_c} \\ F_{n1,n2}^{hv} \cos \gamma_c + F_{n1,n2}^{hh} \sin \gamma_c e^{j\varphi_c} \end{pmatrix} e^{j\beta_{n1,n2}}. \quad (26)$$

Тогда для N_{Σ} приемных каналов вектор-столбец размером $2N_{\Sigma}$, составленный из ДН ортогонально ориентированных диполей ПЭ, можно получить развертыванием векторных ДН всех приемных элементов столбец:

$$\mathbf{f}(\alpha_c, \beta_c, \gamma_c, \varphi_c, \lambda) = (\mathbf{g}_{1,1}, \dots, \mathbf{g}_{1,N_2}, \dots, \mathbf{g}_{N_1,1}, \dots, \mathbf{g}_{N_1,N_2})^T. \quad (27)$$

Тогда векторный принимаемый сигнал $\mathbf{s}(t)$ при наличии единственного источника излучения можно представить в виде:

$$\mathbf{s}(\alpha_c, \beta_c, \gamma_c, \varphi_c, \lambda) = A e^{j\varphi_0} \dot{U}_0(t) \mathbf{f}(\alpha_c, \beta_c, \gamma_c, \varphi_c, \lambda) + \mathbf{n}_{2N_{\Sigma}}(t), \quad (28)$$

где A – амплитуда полезного сигнала на выходе изотропного приемного элемента при согласованной поляризации; φ_0 – начальная фаза полезного сигнала; $\dot{U}_0(t)$ – закон модуляции; $\mathbf{n}_{2N_{\Sigma}}(t)$ – вектор независимых внутренних шумов приемных каналов соответствующей размерности.

Реализация и верификация модели

Модель реализована в системе *Matlab* в виде набора программных скриптов, позволяющих задавать геометрию антенной системы и параметры источников излучения, рассчитывать векторы-столбцы $\mathbf{f}(\alpha_c, \beta_c, \gamma_c, \varphi_c, \lambda)$ для каждого источника излучения и формировать входную реализацию, а также проводить визуализацию геометрии и полученной реализации для контроля процесса моделирования.

Визуализация геометрии АС для случая наличия $N_{\Sigma} = N_1 N_2 = 6 \cdot 3 = 18$ пар приемных элементов при $L_d = 0,4$ м приведена на рисунке 1.

Рассмотрим пример расчета выходных сигналов при $\alpha_c=35^\circ$; $\beta_c=45^\circ$, $\gamma_c=45^\circ$, $\varphi_c = 90^\circ$, $\lambda = 1,0$ м. Для этого случая получены следующие значения разности фаз $\beta_{n1,n2}$ сигналов ПЭ

$$\beta_{n1,n2} = \begin{pmatrix} 249.55^\circ & 307.86^\circ & 329.03^\circ \\ 271.40^\circ & 327.07^\circ & 343.29^\circ \\ 66.05^\circ & 146.49^\circ & 209.26^\circ \\ -161.15^\circ & -53.30^\circ & 60.96^\circ \\ -182.99^\circ & -72.52^\circ & 46.70^\circ \\ 22.35^\circ & 108.06^\circ & 180.74^\circ \end{pmatrix}$$

и значения ДН:

$$F_{n1,n2}^{vv} = \begin{pmatrix} 0.9537 & 1.1191 & 1.1311 \\ 0.9683 & 1.1605 & 1.1904 \\ 0.8322 & 0.7716 & 0.6170 \\ 0 & 0 & 0.0121 \\ 0 & 0 & -0.040 \\ 0.8035 & 0.6901 & 0.4948 \end{pmatrix}; F_{n1,n2}^{vh} = \begin{pmatrix} 0.1192 & 0.3558 & 0.5533 \\ -0.088 & -0.262 & -0.407 \\ -0.203 & -0.597 & -0.938 \\ 0 & 0 & -0.492 \\ 0 & 0 & 0.3581 \\ 0.2027 & 0.5910 & 0.9270 \end{pmatrix};$$

$$F_{n1,n2}^{hv} = \begin{pmatrix} -0.498 & -0.498 & -0.498 \\ 0.3716 & 0.3716 & 0.3716 \\ 0.8259 & 0.8259 & 0.8259 \\ 0 & 0 & 0.4989 \\ 0 & 0 & -0.371 \\ -0.8259 & -0.825 & -0.825 \end{pmatrix}; F_{n1,n2}^{hh} = \begin{pmatrix} 1.007 & 1.007 & 1.007 \\ 1.1268 & 1.1268 & 1.1268 \\ 0.1022 & 0.1022 & 0.1022 \\ 0 & 0 & -1.007 \\ 0 & 0 & -1.126 \\ -0.102 & -0.102 & -0.102 \end{pmatrix}.$$

Сигналы для первых четырех ПЭ (две пары диполей в первом ряду) показаны на рисунке 2 (сплошные линии – вертикально ориентированные диполи, пунктирные – горизонтально).

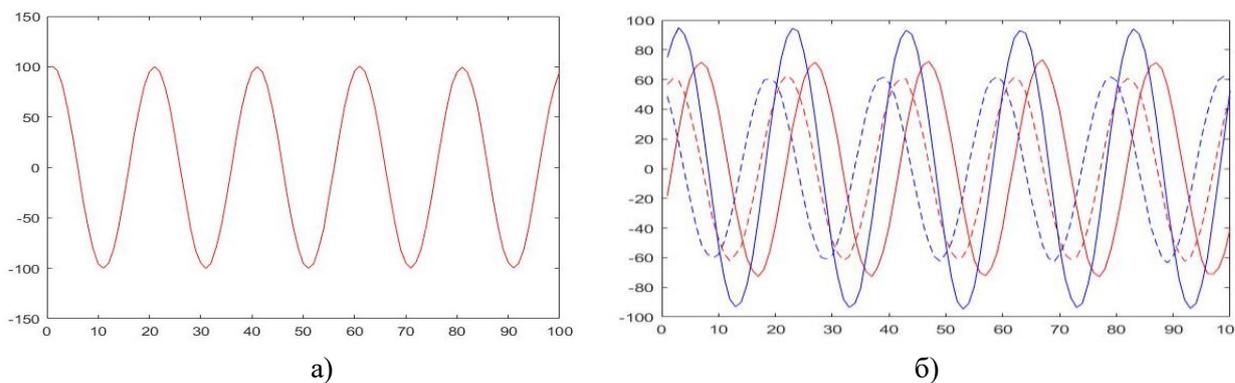


Рис. 3. Полезный сигнал на выходе изотропного ПЭ (а) и на выходе первых четырех ПЭ (б)

При тестировании компьютерной модели чувствительность амплитуд и фаз выходных сигналов ПЭ к изменению всех значимых параметров источника ЭМВ и геометрии антенной системы, что определяет возможность использования разработанной модели для обоснования алгоритмов совместного измерения угловых координат и поляризационных параметров источников излучения.

Литература

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. Под редакцией А.М. Рембовского. – М.: ГОРЯЧАЯ ЛИНИЯ - ТЕЛЕКОМ, 2010. – 624 с.
2. Гулько В. Л., Мещеряков А. А. Поляризационно-модуляционный метод измерения пеленга и угла крена подвижного объекта с использованием радиомаяка // Доклады ТУСУР. 2016. Т. 19, № 1. С. 5-8.
3. Павлов В. С., Турнецкая Е. Л. Потенциальная точность пеленгации на основе кольцевой антенной решетки из линейно поляризованных элементов // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2012. № 4. С. 86–90.
4. Павлов В. С. Синтез пространственно-кольцевого пеленгатора источника поляризационного излучения / В. С. Павлов, Е. Л. Турнецкая // Информационно-управляющие системы, № 6, 2014. – С. 6-12.
5. Поздняк С. И., Мелитицкий В. А. Введение в статистическую теорию поляризации радиоволн. — М.: Сов. радио, 1974. — 480 с
6. Марков Г. Т., Сазонов Д. М. – Антенны. Учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., 1975 – 528 с