УДК 621. 396. 96

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ ЦЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БАЗИСА РЛС С РАЗНЕСЕННЫМ ПРИЕМОМ

к.т.н. А.Е. Казаков, В.В. Карнаух
(представил д.т.н., проф. А.И. Стрелков)

В статье приведены математические выражения для проведения расчетов элементов поляризационной матрицы рассеяния (ПМР) цели в линейном ортогональном поляризационном измерительном базисе (ЛО ПИБ) радиолокационной станции с разнесенным приёмом (РЛС с РП) с учётом влияния углов неортогональности и эллиптичности ЛО ПИБ.

Рассмотрим РЛС с РП, состоящую из передающей и приёмной позиций, разнесенных на местности. Формирование реального ЛО ПИБ осуществляется, как показано в [1]. Необходимо рассчитать элементы ПМР цели в ортогональном неискажённом базисе $\mathbf{S}^{(\mathbf{y},\mathbf{x})}$ через элементы ПМР цели, определяемые в реальном искажённом ПИБ $\mathbf{S}^{(\mathbf{q},\mathbf{p})}$ и параметры, характеризующие этот базис.

Матрицы комплексных амплитуд излучённых сигналов в базисе ($\mathbf{p}$) и принятых сигналов в базисе ($\mathbf{q}$) можно записать в виде:

$$\mathbf{E}_{\mathbf{п}}^{(\mathbf{p})} = \mathbf{F}^{(\mathbf{p},\mathbf{x})} \cdot \mathbf{E}_{\mathbf{п}}^{(\mathbf{x})} \;; \qquad \mathbf{E}_{\mathbf{o}}^{(\mathbf{q})} = \mathbf{F}^{(\mathbf{q},\mathbf{y})} \cdot \mathbf{E}_{\mathbf{o}}^{(\mathbf{y})}.$$

Проведя преобразования, получим исходное выражение для расчёта элементов ПМР цели в ортогональном неискажённом базисе РЛС с РП при их определении в искажённом ПИБ:

$$\mathbf{S}^{(\mathbf{y},\mathbf{x})} = \mathbf{F}^{(\mathbf{q},\mathbf{p})^{-1}} \cdot \mathbf{S}^{(\mathbf{q},\mathbf{p})} \cdot \mathbf{F}^{(\mathbf{p},\mathbf{x})}, \tag{1}$$

где знак ″-1″ обозначает обратную матрицу.

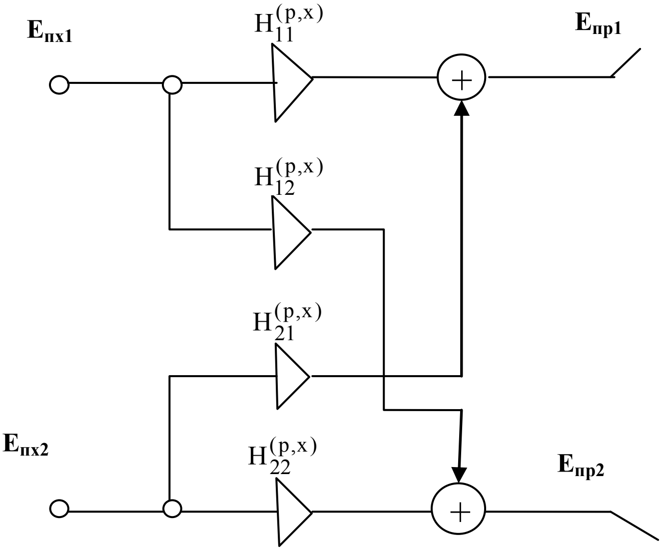
Рассмотрим более подробно сущность матрицы $\mathbf{F}^{(\mathbf{q},\mathbf{y})}$, $\mathbf{F}^{(\mathbf{p},\mathbf{x})}$. Для этого были разработаны модели передающей и приёмной частей РЛС с РП, которые приведены на рис. 1. Из анализа данного рисунка, с учётом принципа взаимности, получаем:

$$\mathbf{F}^{(\mathbf{p},\mathbf{x})} = \mathbf{H}^{(\mathbf{p},\mathbf{x})^{\mathbf{T}}};$$
$$\mathbf{F}^{(\mathbf{q},\mathbf{y})} = \mathbf{H}^{(\mathbf{q},\mathbf{y})},$$

где знак ″Т″ обозначает транспонирование матрицы.

Тогда выражение (1) преобразуется к виду

$$\mathbf{S}^{(\mathbf{y},\mathbf{x})} = {\mathbf{H}^{(\mathbf{q},\mathbf{y})}}^{-1} \cdot \mathbf{S}^{(\mathbf{q},\mathbf{p})} \cdot {\mathbf{H}^{(\mathbf{p},\mathbf{x})}}^{\mathbf{T}} \ . \qquad (2)$$



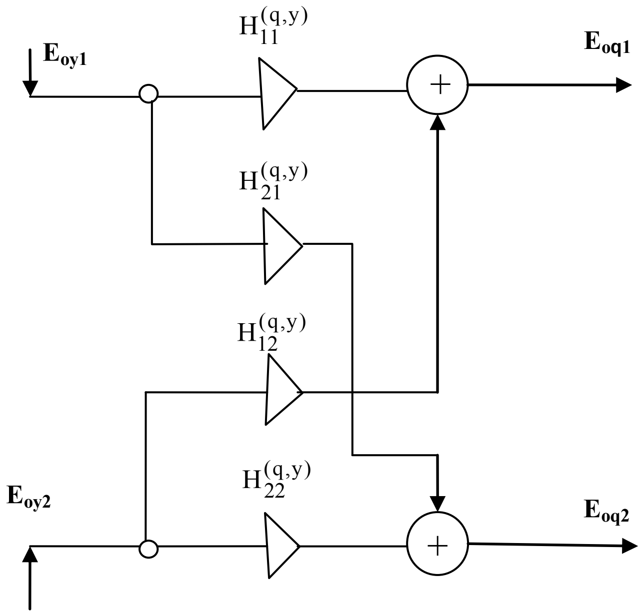


Рис.1. Модели передающей и приёмной частей РЛС с РП

Поскольку реальный ПИБ РЛС с РП является неортогональным и эллиптическим, тогда для получения элементов ПМР целей в ортогональном базисе будем пользоваться выражением (2), в котором матрицы **H** представляются в виде:

$$\mathbf{H}^{(q,y)} = \mathbf{Q}^{(Q,y)} \cdot \mathbf{R}^{(q,y)} \quad ; \qquad \mathbf{H}^{(p,x)} = \mathbf{R}^{(p,x)} \cdot \mathbf{Q}^{(q,x)}, \tag{3}$$

где **R**, **Q** – соответственно матрицы неортогональности и эллиптичности базиса.

Вначале получим расчётные формулы для элементов ПМР цели в идеальном линейном базисе РЛС с РП при неортогональности реального базиса РЛС. В соответствии с [2] получим:

$$\mathbf{H}^{(q,y)} = \mathbf{R}^{(q,y)} = \begin{pmatrix} \cos\beta_1, & \sin\beta_1 \\ -\sin\beta_2 & \cos\beta_2 \end{pmatrix}; \ \mathbf{H}^{(p,x)} = \mathbf{R}^{(p,x)} = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 \end{pmatrix}.$$

Отсюда можно получить выражения для обратной и транспонированной матриц углов неортогональности в виде:

$$\mathbf{R}^{(q,y)^{-1}} = \frac{1}{\cos(\beta_1 - \beta_2)} \cdot \begin{pmatrix} \cos\beta_2 & -\sin\beta_1 \\ \sin\beta_2 & \cos\beta_2 \end{pmatrix}; \ \mathbf{R}^{(p,x)^{T}} = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & \sin\theta_2 \\ -\sin\theta_1 & \cos\theta_2 \end{pmatrix}. \tag{4}$$

Теперь получим выражения для матриц эллиптичности РЛС с РП. В соответствии с [1] эти выражения будут иметь вид:

$$\mathbf{Q}^{(q,y)^{-1}} = \frac{1}{\cos(\gamma_1 - \gamma_2)} \cdot \begin{pmatrix} \cos\gamma_2 & -j\sin\gamma_2 \\ -j\sin\gamma_1 & \cos\gamma_1 \end{pmatrix}; \mathbf{Q}^{(p,x)^{T}} = \begin{pmatrix} \cos\alpha_1 & j\sin\alpha_2 \\ j\sin\alpha_1 & \cos\alpha_2 \end{pmatrix}. \tag{5}$$

Подставив выражения (4) и (5) в (2), с учетом (3) и проведя матричные умножения, можно получить выражения для элементов ПМР цели в ЛО ПИБ РЛС с РП через измеренные элементы ПМР в неортогональном эллиптическом базисе и характеристики данного базиса. В связи с тем, что данные выражения получаются достаточно громоздкими, приведём в качестве примера выражения для комплексного элемента ПМР цели в ортогональном базисе на основной поляризации:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{11}^{(x,y)} = \big(& \dot{S}_{11}^{(q,p)} \cos\beta_2 \cos\theta_1 \cos\gamma_2 \cos\alpha_1 - \dot{S}_{21}^{(q,p)} \sin\beta_1 \cos\theta_1 \cos\gamma_2 \cos\alpha_1 - \\ & - j\,\dot{S}_{21}^{(q,p)} \cos\beta_1 \cos\theta_1 \sin\gamma_2 \cos\alpha_1 - \dot{S}_{12}^{(q,p)} \cos\beta_2 \sin\theta_1 \cos\gamma_2 \cos\alpha_1 + \\ & + j\,\dot{S}_{12}^{(q,p)} \cos\beta_2 \cos\theta_2 \cos\gamma_2 \sin\alpha_1 \big) \cdot \frac{1}{\cos(\beta_1 - \beta_2) \cdot \cos(\gamma_1 - \gamma_2)}. \end{aligned} \tag{6}$$

Выражение (6) получено с учётом того, что углы эллиптичности и неортогональности являются малыми величинами. Поэтому произведения синусов данных углов полагались равными нулю.

Аналогично могут быть получены выражения для расчёта амплитудного и фазового элементов ПМР цели в идеальном ЛО базисе РЛС с РП.

В качестве примера рассмотрим выражение для амплитудного элемента ПМР цели на основной поляризации в идеальном линейном базисе РЛС с учётом того, что измерение ПМР цели производится с относительной фазой, т.е. $\Delta\phi_{12}^{(q,p)} = 0$:

$$S_{11}^{(y,x)} = \frac{1}{\cos(\beta_1 - \beta_2)\cos(\gamma_1 - \gamma_2)}\sqrt{A - B + C - D + E},$$

где

$$A = (S_{11}^{(q,p)})^2 \cdot \cos^2\beta_2 \cos^2\theta_1 \cos^2\gamma_2 \cos^2\alpha_1;$$

$$B = 2S_{11}^{(q,p)}S_{21}^{(q,p)} \cos\beta_2 \cos^2\theta_1 \cos\gamma_1 \cos^2\alpha_1 \sin\beta_1 \cos\left(\Delta\phi_{11}^{(q,p)} - \Delta\phi_{21}^{(q,p)}\right);$$

$$C = 2S_{11}^{(q,p)}S_{21}^{(q,p)} \cos\beta_1 \cos\beta_2 \cos^2\theta_1 \cos^2\alpha_1 \cos\gamma_2 \sin\gamma_2 \sin\left(\Delta\phi_{21}^{(q,p)} - \Delta\phi_{11}^{(q,p)}\right);$$

$$D = 2S_{11}^{(q,p)}S_{12}^{(q,p)} \cos^2\beta_2 \cos\theta_1 \cos^2\gamma_2 \cos^2\alpha_1 \sin\theta_1 \cos\Delta\phi_{11}^{(q,p)};$$

$$E = 2S_{11}^{(q,p)}S_{12}^{(q,p)} \cos^2\beta_2 \cos\theta_1 \cos\theta_2 \sin\alpha_1 \cos^2\gamma_2 \cos\alpha_1 \sin\Delta\phi_{11}^{(q,p)}.$$

Аналогичные расчетные формулы могут быть получены для всех амплитудных и фазовых элементов ПМР в ЛО ПИБ радиолокационной станции с разнесенным приемом при измерении элементов ПМР в реальном неортогональном эллиптическом базисе радиолокационной станции.

Таким образом, анализ полученных выражений показывает, что для проведения расчётов элементов поляризационной матрицы рассеяния цели в идеальном ЛО ПИБ РЛС с РП необходимо измерить элементы поляризационной матрицы рассеяния цели в реальном базисе РЛС и определить путем калибровки углы, характеризующие неортогональность и эллиптичность реального базиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Казаков А.Е. Оценка влияния эллиптичности поляризационного измерительного базиса на точность получения элементов ПМР целей в РЛС с разнесенным приемом // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 6(16). – С. 264 - 269.*
2. *Казаков А.Е. Оценка влияния неортогональности поляризационного измерительного базиса на точность получения элементов ПМР целей // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 3(13). – С. 150 - 154.*

Поступила 16.07.2002

КАЗАКОВ Александр Евгеньевич*, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, начальник НИЛ научного центра при ХВУ. В 1994 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – радиолокационное распознавание при разнесённом приёме.*

КАРНАУХ Валерий Всеволодович*, начальник НИО СКБ “ТОПАЗ” (г. Донецк). В 1975 году окончил ХАИ. Область научных интересов – статистическая обработка радио- и оптических сигналов в РТС.*