

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЛИПТИЧНОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БАЗИСА НА ТОЧНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ ЦЕЛЕЙ В РЛС С РАЗНЕСЕННЫМ ПРИЕМОМ

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

Приведена оценка влияния эллиптического поляризационного измерительного базиса радиолокационной станции (РЛС) с разнесенным приемом на точность измерения элементов поляризационной матрицы рассеяния целей (ПМР). Приводятся выражения для получения относительных ошибок определения элементов ПМР в зависимости от эллиптичности поляризационного измерительного базиса в РЛС с разнесенным приемом. Проанализированы полученные величины ошибок амплитудных и фазовых элементов ПМР.

В РЛС, измеряющих элементы поляризационной матрицы рассеяния цели или отдельные ее элементы, для получения высокой точности измерений необходимо обеспечить при измерении и приеме сигнала заданный поляризационный базис, в частности он должен быть ортогональным. Однако, в силу ряда технических причин, изложенных в [1], появляется искажение поляризационного измерительного базиса (ПИБ), в котором производится измерение элементов ПМР цели обусловленное наличием углов неортогональности и эллиптичности базиса. Это приводит к появлению дополнительных ошибок в определении данных элементов. Поэтому возникает необходимость в оценке величин ошибок определения элементов ПМР цели за счет влияния искажения ПИБ. В данной статье рассмотрим влияние эллиптичности ПИБ (рис. 1) на точность измерения элементов ПМР. В [2] получены выражения, позволяющие в первом приближении оценить составляющие ошибок определения элементов ПМР цели за счет влияния искажения базиса в РЛС с совмещенным приемом. Для РЛС с разнесенным приемом при искажении ПИБ необходимо рассматривать более общий случай на основе описания воздействия различных элементов РЛС на излучаемый и принимаемый сигнал.

В соответствии с [3] были получены значения элементов ПМР цели в эллиптическом ПИБ РЛС с разнесенным приемом в виде

$$S_3^{(q,p)} = \begin{pmatrix} \dot{S}_{11}^{(y,x)} \cos \gamma_1 \cos \alpha_1 - j \dot{S}_{21}^{(y,x)} \sin \gamma_1 \cos \alpha_1 - j \dot{S}_{12}^{(y,x)} \cos \gamma_1 \sin \alpha_2 - \dot{S}_{22}^{(y,x)} \sin \gamma_1 \sin \alpha_2 \\ -j \dot{S}_{11}^{(y,x)} \sin \gamma_2 \cos \alpha_1 + \dot{S}_{21}^{(y,x)} \cos \gamma_2 \cos \alpha_1 - \dot{S}_{12}^{(y,x)} \sin \gamma_2 \sin \alpha_2 - j \dot{S}_{22}^{(y,x)} \cos \gamma_2 \sin \alpha_2 \\ -j \dot{S}_{11}^{(y,x)} \cos \gamma_1 \sin \alpha_1 - \dot{S}_{21}^{(y,x)} \sin \gamma_1 \sin \alpha_1 + \dot{S}_{12}^{(y,x)} \cos \gamma_1 \cos \alpha_2 - j \dot{S}_{22}^{(y,x)} \sin \gamma_1 \cos \alpha_2 \\ -\dot{S}_{11}^{(y,x)} \sin \gamma_2 \sin \alpha_1 - j \dot{S}_{21}^{(y,x)} \cos \gamma_2 \sin \alpha_1 - j \dot{S}_{12}^{(y,x)} \sin \gamma_2 \cos \alpha_2 + \dot{S}_{22}^{(y,x)} \cos \gamma_2 \cos \alpha_2 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $S^{(q,p)}$ - ПМР цели в эллиптическом поляризованном базисе; $S^{(y,x)}$ - ПМР цели в ортогональном поляризованном базисе; γ_1, γ_2 - углы эллиптичности базиса приемной антенны; α_1, α_2 - углы эллиптичности базиса передающей антенны.

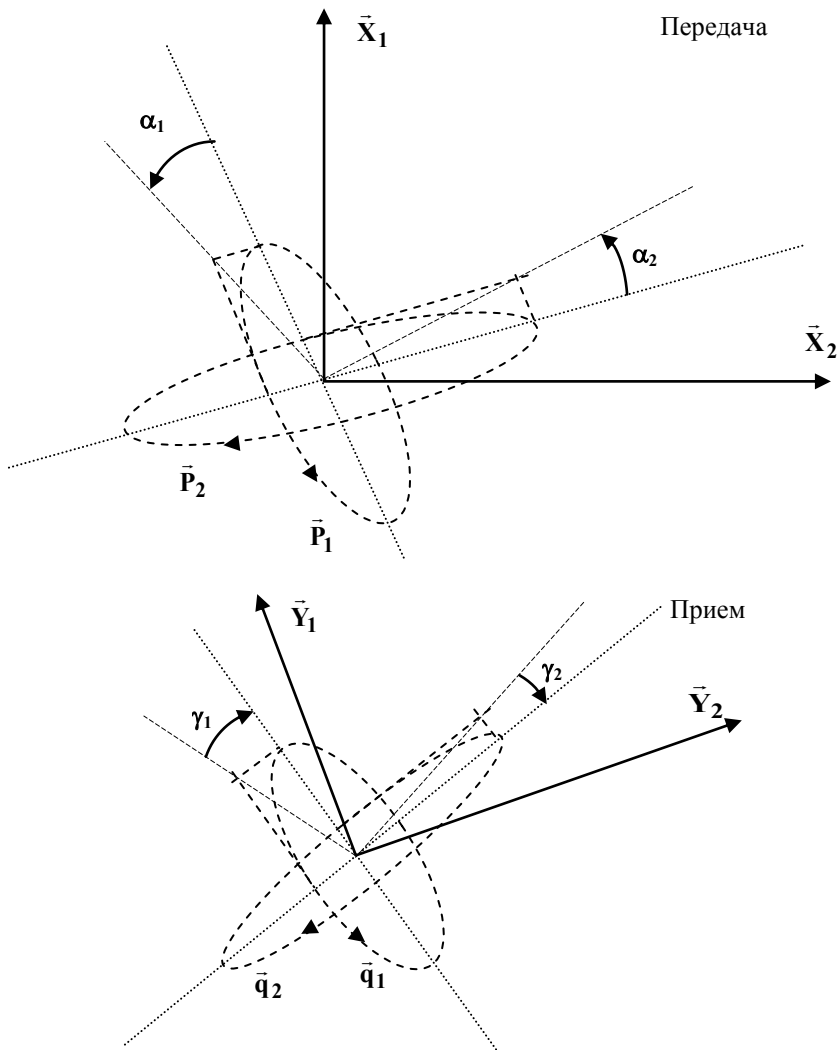


Рис.1. Характеристики искаженного ПИБ в РЛС с РП

Анализ выражения (1) показывает, что в каждом элементе данной ПМР цели присутствуют все её элементы, измеренные в ортогональном базисе, с учетом воздействия на них характеристик реального поляризованного базиса РЛС с разнесенным приемом, что приведет к ошибкам получения каждого из этих элементов при отсутствии информации о величинах характеристик эллиптического базиса.

С использованием выражения (1) могут быть получены формулы, позволяющие оценить ошибки определения элементов ПМР цели за счет влияния эллиптичности базиса РЛС с разнесенным приемом. В дальнейшем эти ошибки могут быть оценены путем получения непосредственно выражений для ошибок определения элементов ПМР цели, анализа некоторых условий, при которых эти ошибки достигают определенных значений и проведении расчетов этих ошибок. Получим выражения для ошибок определения амплитуд и разностей фаз элементов ПМР в зависимости от влияния характеристик эллиптического базиса РЛС. Рассмотрим случай, когда излучение сигнала происходит на одной поляризации, а прием производится на двух составляющих отраженного сигнала, так как при излучении второй поляризации методика оценки ошибок сохраняется. Так как элементы ПМР в выражении (1) являются комплексными, то формулы для каждого амплитудного и фазового элемента ПМР в эллиптическом базисе РЛС могут быть представлены в виде [3]. Получим выражения, характеризующие значения относительных ошибок определения амплитуды основных и кроссовых элементов ПМР за счет влияния эллиптичности поляризационного базиса РЛС с разнесенным приемом. Для этого получим выражения для вещественной и мнимой частей первого основного элемента ПМР цели в эллиптическом базисе РЛС из выражения (1). Полагаем, что углы эллиптичности поляризационного базиса РЛС являются небольшими, их значение не превышает 10° . Тогда величины, содержащие произведения синусов этих углов можно положить близкими к нулю и в дальнейшем их не рассматривать. С учетом сказанного, подставив значения вещественных и мнимых частей элементов ПМР в выражение для определения ошибки модуля элемента ПМР [3], обозначим отношения амплитуды в кроссовом канале РЛС к амплитуде в ее основном канале как:

$$\frac{|\dot{S}_{21}^{(y,x)}|}{|\dot{S}_{11}^{(y,x)}|} = \xi_1 ; \quad \frac{|\dot{S}_{12}^{(y,x)}|}{|\dot{S}_{11}^{(y,x)}|} = \xi_2 ; \quad \frac{|\dot{S}_{21}^{(y,x)}|}{|\dot{S}_{22}^{(y,x)}|} = \xi_3 ; \quad \frac{|\dot{S}_{12}^{(y,x)}|}{|\dot{S}_{22}^{(y,x)}|} = \xi_4$$

и произведя необходимые преобразования, получим:

$$\delta|\dot{S}_{11}^{(q,p)}| = \left[\sqrt{\cos^2 \gamma_1 \cos^2 \alpha_1 - 2 \cos \gamma_1 \cos \alpha_1 (\xi_1 c_1 + \xi_2 c_2)} - 1 \right] \cdot 100\%,$$

где $c_1 = \sin \gamma_1 \cos \alpha_1 \sin(\Delta\varphi_{11}^{(y,x)} - \Delta\varphi_{21}^{(y,x)})$; $c_2 = \cos \gamma_1 \sin \alpha_2 \sin \Delta\varphi_{11}^{(y,x)}$;

$$\delta|\dot{S}_{12}^{(q,p)}| = \left[\sqrt{\cos^2 \gamma_1 \cos^2 \alpha_2 + 2 \cos \gamma_1 \cos \alpha_2 (\frac{1}{\xi_2} \cdot c_3 + \frac{1}{\xi_4} \cdot c_4)} - 1 \right] \cdot 100\%,$$

где $c_3 = \cos \gamma_1 \sin \alpha_1 \sin \Delta\varphi_{11}^{(y,x)}$; $c_4 = \sin \gamma_1 \cos \alpha_2 \sin \Delta\varphi_{22}^{(y,x)}$;

$$\delta|\dot{S}_{21}^{(q,p)}| = \left[\sqrt{\cos^2 \gamma_2 \cos^2 \alpha_1 + 2 \cos \gamma_2 \cos \alpha_1 (\frac{1}{\xi_1} \cdot c_5 + \frac{1}{\xi_2} \cdot c_6)} - 1 \right] \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $c_5 = \sin \gamma_2 \cos \alpha_1 \sin(\Delta\varphi_{11}^{(y,x)} - \Delta\varphi_{21}^{(y,x)})$; $c_6 = \cos \gamma_2 \sin \alpha_2 \sin(\Delta\varphi_{22}^{(y,x)} - \Delta\varphi_{21}^{(y,x)})$;

$$\delta|\dot{S}_{22}^{(q,p)}| = \left[\sqrt{\cos^2 \gamma_2 \cos^2 \alpha_2 + 2 \cos \gamma_2 \cos \alpha_2 (\xi_3 c_7 - \xi_4 c_8)} - 1 \right] \cdot 100\%,$$

где $c_7 = \cos \gamma_2 \sin \alpha_1 \sin(\Delta\varphi_{22}^{(y,x)} - \Delta\varphi_{21}^{(y,x)})$; $c_8 = \sin \gamma_2 \cos \alpha_2 \sin \Delta\varphi_{22}^{(y,x)}$.

Из этих выражений следует, что модуль искомого элемента ПМР в эллиптическом базисе может быть в зависимости от разности фаз данных элементов больше или меньше соответствующих модулей элементов ПМР в ортогональном базисе. В соответствии с этим ошибка определения модуля элемента ПМР может быть положительной или отрицательной. В дальнейшем данную ошибку будем брать по модулю.

Для получения численных значений ошибок рассмотрим случай, когда разность фаз между элементами ПМР цели в ортогональном базисе РЛС $\Delta\varphi_{11}^{(y,x)} = 90^\circ$, $\Delta\varphi_{21}^{(y,x)} = 0^\circ$, $\Delta\varphi_{22}^{(y,x)} = 90^\circ$. Эти значения выбраны для сохранения в выражениях зависимости от отношения амплитудных элементов ПМР и установления зависимости ошибок от этих элементов. Графики зависимостей относительной ошибки определения амплитудных элементов ПМР цели для случая, когда $\alpha_1 = \gamma_1 = 5^\circ$; $\alpha_2 = \gamma_2 = 0^\circ \div 10^\circ$; $\xi_1 = \xi_3 = 0,5$; $\xi_2 = \xi_4 = 0,3$, приведены на рис. 2.

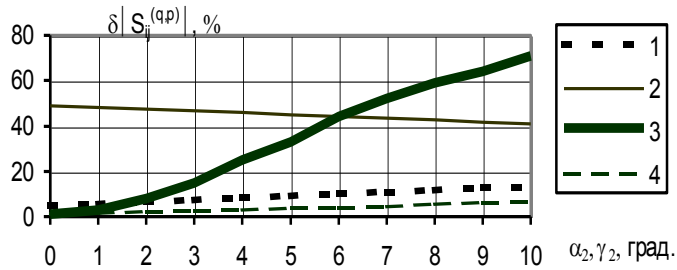


Рис. 2. Зависимость относительной ошибки определения амплитудных элементов ПМР цели

На графике кривая 1 - $\delta \left| \dot{S}_{11}^{(q,p)} \right|$, кривая 2 - $\delta \left| \dot{S}_{12}^{(q,p)} \right|$,
 кривая 3 - $\delta \left| \dot{S}_{21}^{(q,p)} \right|$, кривая 4 - $\delta \left| \dot{S}_{22}^{(q,p)} \right|$.

Анализ данных зависимостей при заданных значениях амплитуд и разностей фаз показывает:

- относительная ошибка определения амплитуды кроссовых элементов с ростом углов эллиптичности монотонно возрастает и уже при $\alpha_2 = \gamma_2 = 3^\circ$ превышают 10%;

- наибольшая ошибка вносится вторым основным и вторым кроссовым элементами.

В соответствии с изложенной в [2] методикой получим выражения для оценки ошибок определения разности фаз между элементами ПМР цели в эллиптическом ПИБ РЛС с разнесенным приемом. При этом учитывалось, что рассматривается ПМР с относительной фазой, в которой значения разностей фаз определяются относительно кроссового элемен-

та $\dot{S}_{12}^{(y,x)}$ и $\frac{\left| \dot{S}_{12}^{(y,x)} \right|}{\left| \dot{S}_{21}^{(y,x)} \right|} = \xi_5$. С учетом этого выражения имеют вид:

$$\varphi_{11}^{(q,p)} = \arctg \frac{1/\xi_2 \cos \gamma_1 \cos \alpha_1 \sin \Delta \varphi_{11}^{(y,x)} - \xi_5 \sin \gamma_1 \cos \alpha_1 \cos \Delta \varphi_{21}^{(y,x)} - \cos \gamma_1 \sin \alpha_2}{1/\xi_2 \cos \gamma_1 \cos \alpha_1 \cos \Delta \varphi_{11}^{(y,x)} + \xi_5 \sin \gamma_1 \cos \alpha_1 \sin \Delta \varphi_{21}^{(y,x)}};$$

$$\varphi_{12}^{(q,p)} = \arctg \frac{-1/\xi_2 \cos \gamma_1 \sin \alpha_1 \cos \Delta \varphi_{11}^{(y,x)} + 1/\xi_4 \sin \gamma_1 \cos \alpha_2 \cos \Delta \varphi_{22}^{(y,x)}}{1/\xi_2 \cos \gamma_1 \sin \alpha_1 \sin \Delta \varphi_{11}^{(y,x)} + 1/\xi_4 \sin \gamma_1 \cos \alpha_2 \sin \Delta \varphi_{22}^{(y,x)} + \cos \gamma_1 \cos \alpha_2};$$

$$\varphi_{21}^{(q,p)} = \arctg \frac{-1/\xi_2 \sin \gamma_2 \cos \alpha_1 \cos \Delta \varphi_{11}^{(y,x)} + 1/\xi_4 \cos \gamma_2 \sin \alpha_2 \cos \Delta \varphi_{22}^{(y,x)} + \xi_5 \cos \gamma_2 \cos \alpha_1 \sin \Delta \varphi_{21}^{(y,x)}}{-1/\xi_2 \sin \gamma_2 \cos \alpha_1 \sin \Delta \varphi_{11}^{(y,x)} + 1/\xi_4 \cos \gamma_2 \sin \alpha_2 \sin \Delta \varphi_{22}^{(y,x)} + \xi_5 \cos \gamma_2 \cos \alpha_1 \cos \Delta \varphi_{21}^{(y,x)}};$$

$$\varphi_{22}^{(q,p)} = \arctg \frac{-\xi_5 \cos \gamma_2 \sin \alpha_1 \cos \Delta\varphi_{21}^{(y,x)} - \sin \gamma_2 \cos \alpha_2 + 1 / \xi_4 \cos \gamma_2 \cos \alpha_2 \sin \Delta\varphi_{22}^{(y,x)}}{\xi_5 \cos \gamma_2 \sin \alpha_1 \sin \Delta\varphi_{21}^{(y,x)} + 1 / \xi_4 \cos \gamma_2 \cos \alpha_2 \cos \Delta\varphi_{22}^{(y,x)}}.$$

Для получения численных значений ошибок рассмотрим случай, когда: разность фаз между элементами ПМР цели в ортогональном базисе РЛС $\Delta\varphi_{11}^{(y,x)} = \Delta\varphi_{22}^{(y,x)} = \Delta\varphi_{21}^{(y,x)} = 90^\circ$; углы эллиптичности $\alpha_2 = \gamma_2 = 5^\circ$; $\alpha_1 = \gamma_1 = 0^\circ \pm 10^\circ$; $\xi_2 = 0,3$; $\xi_4 = 0,7$; $\xi_5 = 0,8$. Графики зависимостей оценки ошибок определения разности фаз между элементами ПМР цели в эллиптическом ПИБ РЛС с разнесенным приемом для данного примера приведены на рис. 3. На данном графике кривая 1 - $\delta\varphi_{11}^{(q,p)}$; кривая 2 - $\delta\varphi_{21}^{(q,p)}$; кривая 3 - $\delta\varphi_{22}^{(q,p)}$.

Анализ данных зависимостей при заданном значении отношений амплитуд и разности фаз показывает:

- при увеличении углов эллиптичности ошибки определения разности фаз монотонно увеличиваются;

- наибольшая ошибка получается при расчете фазового элемента $\varphi_{21}^{(q,p)}$.

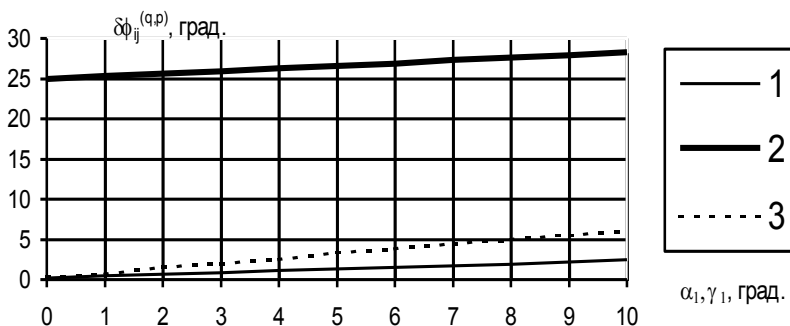


Рис. 3. Зависимость оценки ошибок определения разности фаз между элементами ПМР цели в эллиптическом ПИБ РЛС с разнесенным приемом

Таким образом, проведенные предварительные оценки значений ошибок определения элементов ПМР цели за счет влияния эллиптичности ПИБ РЛС с разнесенным приемом для заданных значений разности фаз и отношений амплитуд доказывают необходимость принятия специальных мер по проведению соответствующей калибровки трактов РЛС и компенсации данных ошибок. Уточнение этих ошибок возможно непосредственно по экспериментальным данным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков Е.Л., Рыжов Д.Н. Влияние параметров радиолокационных измерителей на точность измерения поляризационных характеристик цели // Радиотехника. – 1982. – Т. 36, № 11. – С. 50 - 52.

2. Кравченко А.И., Николаенко С.В., Попов В.М., Казаков А.Е. Оценка влияния искажения ПИБ на точность измерения амплитуды и фазы отраженного от цели сигнала // Сб. научн. тр. ХВУ. – Харьков : ХВУ. – 1995. – Вып. 4. – С. 22 - 30.

3. Казаков А.Е. Оценка влияния неортогональности поляризационного измерительного базиса на точность получения элементов поляризационной матрицы рассеяния целей в РЛС с разнесенным приемом // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип.3(13). – С.150 - 153.

Поступила в редколлегию 29.10.2001
