



## Методика определения амплитудно-фазового распределения

### в квазиколецевой антенне

*Д.Д. Габриэлян<sup>1</sup>, А.Н. Левченко<sup>2</sup>,*

*Дан.С. Федоров<sup>1</sup>, Ден.С. Федоров<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи»

<sup>2</sup>Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

**Аннотация:** Рассматривается алгоритм синтеза амплитудно-фазового распределения в квазиколецевой антенной решетке по заданной амплитудно-фазовой диаграмме направленности (ДН). Выбор амплитудно-фазовой ДН в качестве заданной связан с возможностью использования наиболее простого метода амплитудно-фазового синтеза ДН. Параметры заданной ДН выбираются на основе физически реализуемой амплитудно-фазовой ДН, которая может быть сформирована с использованием линейной или кольцевой антенны. Решение задачи сводится к формированию переопределенной системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных комплексных амплитуд токов возбуждения в квазиколецевой антенной решетке. Рассмотрен вопрос возможности сохранения параметров ДН при переходе от кольцевой к квазиколецевой антенной решетке.

**Ключевые слова:** кольцевая и квазиколецевая антенная решетка, характеристики направленности, синтез амплитудно-фазового распределения.

Кольцевые антенные решетки (далее КАР) в настоящее время находят широкое применение в радиопеленгаторных системах и системах связи в составе базовых станций [1 - 7]. Однако во многих случаях непосредственная реализация кольцевого расположения излучателей не может быть обеспечена. Это может быть обусловлено рядом причин, например, неточностью раскрытия или выходом из строя отдельных излучателей кольцевой антенной решетки, ограничениями на размещение излучателей на поверхности объекта (в наибольшей степени подвижного) и рядом других причин. В этих случаях излучатели АР располагаются на некоторой замкнутой кривой, как показано, например, на рис.1, а антенную решетку в этом случае будем называть квазиколецевой антенной решеткой (далее ККАР).

Возникающие отличия геометрии ККАР от геометрии КАР обуславливают необходимость коррекции амплитудно-фазового

распределения (далее АФР), которая проводится на основе методов амплитудно-фазового синтеза, для сохранения характеристик направленности антенной системы.

Вопросы синтеза АФР рассматриваются в большом числе работ [7 - 9]. Однако развитые в отмеченных работах методы синтеза носят, как правило, достаточно общий характер или конкретизированы для случаев синтеза АФР в антенных решетках с плоским раскрытием. В то же время с учетом широкого применения КАР и ККАР отсутствие указанных методов не всегда позволяет добиваться заданных требований к характеристикам направленности ККАР.

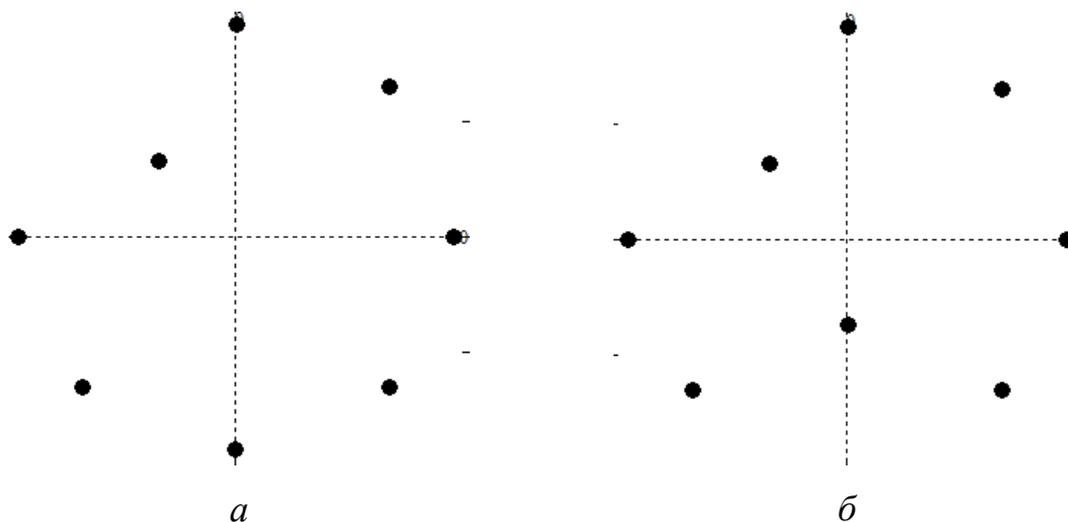


Рис.1 Геометрия расположения излучателей ККАР:

*a* – при смещении одного антенного элемента;

*б* – при смещении двух антенных элементов.

Целью статьи является исследование возможности сохранения параметров характеристик направленности при переходе от КАР к ККАР с известной геометрией.

Решаемая задача состоит в разработке методики синтеза АФР ККАР, обеспечивающего минимизацию изменения ДН при переходе от КАР к ККАР.



## Алгоритм синтеза АФР ККАР, обеспечивающий минимизацию изменения ДН при переходе от КАР к ККАР

При разработке методики выбора АФР ККАР будем считать известными следующие параметры:

- координаты всех  $N$  излучателей ККАР  $x_n^{(1)}, y_n^{(1)}, z_n^{(1)}, n = 1, \dots, N$ ;
- ДН излучателей составе ККАР  $\mu_n^{(1)}(\theta, \varphi), n = 1, \dots, N$ ;
- заданную ДН, в качестве которой используется ДН КАР, определяемая таблично или, например, соотношением

$$F_0(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N A_n^{(0)} \mu_n^{(0)}(\theta, \varphi) \exp[-ik \cos \theta (x_n^{(0)} \cos \varphi + y_n^{(0)} \sin \varphi)], \quad (1)$$

где  $A_n^{(0)}$  - АФР в КАР, обеспечивающее формирование ДН с заданными параметрами;  $\mu_n^{(0)}$  - ДН излучателей КАР;  $k$  - волновое число свободного пространства.

Для нахождения нового АФР ККАР должны быть выполнены следующие операции, методика реализации которых состоит в следующем:

1. В направлениях  $(\theta_l, \varphi_l), l = 1, \dots, L$  накладываются условия  $F_{\text{синт}}(\theta_l, \varphi_l) = F_0(\theta_l, \varphi_l)$ , где  $F_{\text{синт}}(\theta_l, \varphi_l)$  определяется выражением

$$F_{\text{синт}}(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N A_n^{(1)} \mu_n^{(1)}(\theta, \varphi) \exp[-ik \cos \theta (x_n^{(1)} \cos \varphi + y_n^{(1)} \sin \varphi)]. \quad (2)$$

2. На основе соотношений (1) и (2) формируется переопределенная система линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных комплексных амплитуд  $\mathbf{A}^{(1)}$

$$\mathbf{T}\mathbf{A}^{(1)} = \mathbf{F}_0, \quad (3)$$

где  $\mathbf{A}^{(1)}$  - вектор-столбец размерностью  $N \times 1$ , элементами которого являются значения искомым комплексных амплитуд токов  $A_n^{(1)}, n = 1, \dots, N$ , в излучателях



ККАР;  $\mathbf{T}$  - прямоугольная матрица размерности  $N \times L$ , элементами  $t_{n,l}$  которой являются ДН всех  $N$  излучателей в  $L$  направлениях  $t_{n,l} = \mu_n^{(1)}(\theta_l, \varphi_l)$ ,  $n = 1, \dots, N$ ,  $l = 1, \dots, L$ ;  $\mathbf{F}_0$  - вектор-столбец размерностью  $L \times 1$ , элементами которого являются значения заданной ДН  $F_0(\theta_l, \varphi_l)$  в направлениях  $l = 1, \dots, L$ .

Решение системы уравнений (3) имеет вид [10]

$$\mathbf{A}^{(1)} = (\mathbf{T}^+ \mathbf{T}) \mathbf{T}^+ \mathbf{F}_0, \quad (4)$$

где знак «+» - определяет выполнение операций транспонирования и комплексного сопряжения одновременно.

Получаемое решение (4) определяет минимальное расхождение формируемой и заданной ДН [11].

Таким образом, как показывают представленные результаты, предложена методика синтеза и коррекции АФР, позволяющая при изменении геометрии КАР и трансформации КАР в ККАР формировать ДН с заданными параметрами.

## Выводы

1 Предложенный алгоритм синтеза коррекции АФР КАР позволяет при известной геометрии положения и ДН излучателей определять определить АФР, обеспечивающее минимальное в среднеквадратическом смысле отклонение параметров формируемой ДН ККАР от заданных значений, соответствующих ДН КАР. Алгоритм основан на решении переопределенной системы уравнений относительно неизвестных комплексных амплитуд возбуждения излучателей. При этом элементами матрицы системы уравнений являются ДН всех излучателей в заданных направлениях с учетом их положения в составе ККАР, а элементами в правой части системы уравнений – значения заданной ДН в тех же направлениях. Относительное



отклонение заданной ДН и формируемой ККАР ДН при этом не превышает десятых долей процентов.

### Литература

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг - задачи, методы, средства / Под ред. Рембовского А.М. - М.: Горячая линия-Телеком. 2010. 624 с.

2. Hajian M., Coman C., Lighthart L.P. Comparison of circular, Uniform- and non-Uniform Y-shaped Array Antenna for DOA Estimation using Music Algorithm // Proceeding of the 9<sup>th</sup> Conference on Wireless Technology. 2006. September. Manchester UK. pp. 143-146.

3. Митько В.Н., Эсси-Эзинг А.С. Проектирование и моделирование антенны гидролокатора бокового обзора // Инженерный вестник Дона, 2016, №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2016/3534/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2016/3534/).

4. Song Lizhong, Li CHongshen, Ma Ning, Wu Qun. Simulation and Analysis of a Microstrip Circular Array Antenna at 15GHz // Project (HT (WH). B200513) 978-1-4244-2108-4/08/\$25.00. 2008. IEEE. pp.1-4.

5. Кириченко М.А. Повышение эффективности направленных свойств адаптивных гидроакустических систем с параметрическими антеннами // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3845/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3845/).

6. Tian Li, Fu-Shun Zhang, Fan Zhang, Ya-Li Yao, Li Jiang. Wideband and High-Gain Uniform Circular Array With Calibration Element for Smart Antenna Application // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2016. pp. 230-233.

7. Huaxi Sun, Yilong Lu. DOA Estimation with A Vector Circular Array // IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation. 27-29 August, 2012. Singapore. pp. 27-29.



8. Зелкин Е.Г., Соколов В.Г. Методы синтеза антенн: фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрытием. – М.: Сов. радио, 1980. -341 с.

9. Габриэльян Д.Д., Волошин В.А., Оводов О.В. Синтез амплитудно-фазового распределения в антенных решетках с произвольным контуром // Антенны. 2010. № 2 (153). С. 44–47.

10. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – 4-е изд. – М. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1983. 552 с.

### References

1. Rembovskij A.M., Ashihmin A.V., Koz'min V.A. Radiomonitoring - zadachi, metody, sredstva [The radio monitoring - problems, methods, tools]. Pod red. Rembovskogo A.M. M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2010. 624 p.

2. Hajian M., Coman C., Lighthart L.P. Proceeding of the 9<sup>th</sup> Conference on Wireless Technology, 2006. September. Manchester UK. pp.143-146.

3. Mit'ko V.N., EHssi-EHzing A.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №1 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2016/3534/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2016/3534/).

4. Song Lizhong, Li CHongshen, Ma Ning, Wu Qun. Project (HT (WH). B200513) 978-1-4244-2108-4/08/\$25.00. 2008. IEEE. pp. 1-4.

5. Kirichenko M.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3845/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3845/).

6. Tian Li, Fu-Shun Zhang, Fan Zhang, Ya-Li Yao, Li Jiang. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2016. pp. 230-233.

7. Huaxi Sun, Yilong Lu. IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation. August, 2012. Singapore. pp. 27-29.

8. Zelkin E.G., Sokolov V.G. Metody sinteza antenn: fazirovannye antennye reshetki i anteny s nepreryvnym raskryvom [Methods of synthesis of antennas: reshetki i anteny s nepreryvnym raskryvom]



phased antenna arrays and antennas with continuous aperture]. M.: Sov. radio, 1980. 341 p.

9. Gabriehl'yan D.D., Voloshin V.A., Ovodov O.V. Antenny. 2010. № 2(153). pp. 44–47.

10. Gantmaher F.R. Teoriya matric [The theory of matrices]. 4-e izd. M. Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit. 1983. 552 p.

