

Использование метода парциальных диаграмм для снижения уровня ДН в заданном направлении

К.И. Конов^{1,2}, Е.С. Степанов¹, А.С. Годин¹

¹ПАО «НПО «АЛМАЗ» ТОП «ЛЭМЗ»

²Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики

Аннотация: исследована методика снижения уровня боковых лепестков в заданном направлении при использовании метода парциальных диаграмм. Получена аналитическая зависимость амплитудного и фазового распределений от угла, в направлении на который формируется минимум диаграммы направленности.

Ключевые слова: минимум диаграммы направленности, фазовое распределение, амплитудное распределение, метод парциальных диаграмм

1. Введение

При осуществлении радиолокационного обзора существует проблема электромагнитной совместимости передающего и приемных АФАР [1,2]. Учитывая, тот факт, что для кругового обзора необходимо осуществлять вращение антенны в азимутальной области, необходимо обеспечить электромагнитную совместимость излучающей антенны и электронных средств.

В данной работе проведено исследование по подбору оптимального амплитудно-фазового распределения [3] для фазированной антенной решетки, позволяющего снизить уровень боковых лепестков множителя решетки в угломестной области в заданном направлении [4]. При этом необходимо не допустить существенного расширения главного лепестка диаграммы направленности по уровню половинной мощности. Рассмотренная методика синтеза амплитудно-фазового распределения может использоваться в многолучевых АФАР [5].

2. Метод парциальных диаграмм

В качестве излучающей системы выбрана апертура, состоящая из N излучателей, работающая на частоте f (см. рис. 1).

Излучатели расположены на расстоянии d , равном половине длины волны:

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f} \quad (1)$$

Для рассматриваемой антенной системы зададим множитель решетки (МР) [7] с помощью следующего выражения:

$$f_{\Sigma}(\alpha, \Delta\Phi) = \frac{\sin[\psi(\alpha, \Delta\Phi)]}{\sin\left[\frac{\psi(\alpha, \Delta\Phi)}{N}\right]} \quad (2)$$

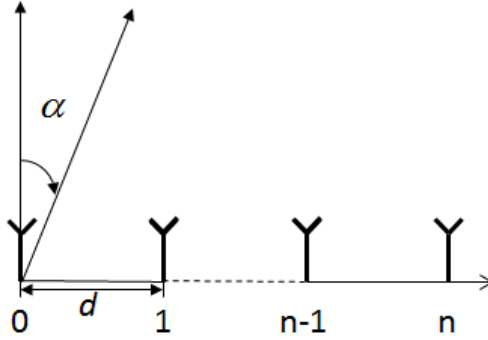


Рисунок 1. Схема линейной фазированной антенной решетки

где α - угол между нормалью, проведенной к излучателю апертуры с номером 0 и направлением излучения (см. рис. 1), а ψ - обобщенный угол, получаемый как:

$$\psi(\alpha, \Delta\Phi) = \frac{N}{2}(kd \sin \alpha - \Delta\Phi) \quad (3)$$

где $k = \frac{2\pi f}{c}$ - волновое число, $\Delta\Phi$ - фазовый сдвиг между соседними излучателями, определяемый из выражения:

$$\Delta\Phi = kd \sin \beta \quad (4)$$

где β - требуемый угол сдвига МР относительно нуля.

МР задаваемый выражением (2) при $\Delta\Phi = 0$, представлен на рис 2. При этом ширина главного лепестка МР по уровню половинной мощности составляет σ градусов, а УБЛ равен -13 дБ.

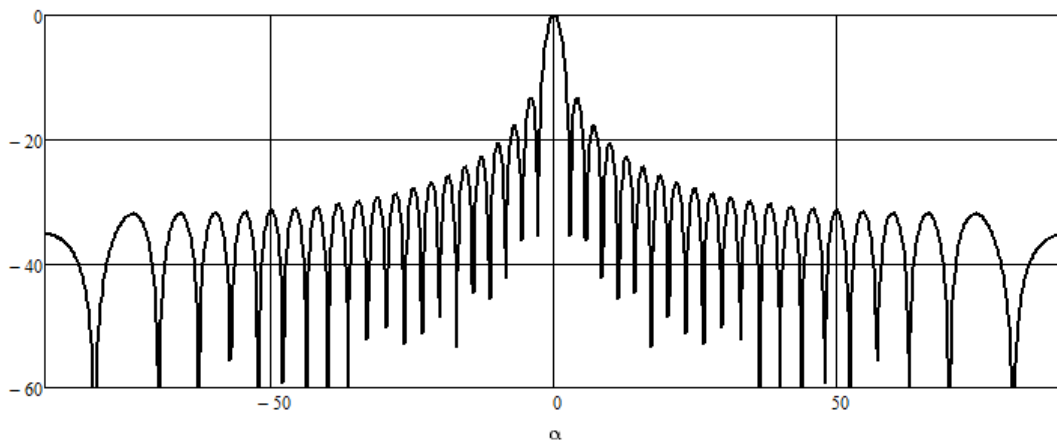


Рисунок 2. Зависимость МР от угла при амплитудном $A_n = 1$ и фазовом $F_n = 0$

Воспользуемся методом парциальных диаграмм и рассмотрим МР M , являющийся суммой двух МР M_1 и M_2 с равномерными амплитудными распределениями, сдвинутых друг относительно друга на угол 2β (M_1 сдвинут влево от нуля на $-\beta$, M_2 сдвинут вправо относительно нуля на $+\beta$). В качестве угла β выбирается угол, соответствующий минимуму первого бокового лепестка МР, задаваемого выражением (2) при $\Delta\Phi = 0$ (см. рис 3). Полученный МР будем складывать с третьим МР M_3 с равномерным амплитудным и фазовым

распределением. При этом МР M_1 и M_2 , задаваемые выражением (2) умножим на коэффициенты k_1 и $A - k_1$ соответственно:

$$M_1 = k_1 f_1(\alpha, \Delta\Phi), \quad (5)$$

$$M_2 = (A - k_1) f_2(\alpha, -\Delta\Phi), \quad (6)$$

$$M_3 = f_3(\alpha, 0), \quad (7)$$

коэффициент A связывает максимальные значения лепестков МР M_1 и M_2 .

Модули МР задаваемых выражениями (5)-(7) приведены на рис. 3. При этом коэффициент k_1 равен 0.5, коэффициент A равен 1. Из рисунка видно что при углах больших или равных 2β минимальные значения всех МР совпадают. Это означает, что при определенных значениях МР M_1 и M_2 , сумма $M = M_1 + M_2 + M_3$ будет равна нулю (см. рис. 3), таким образом, в выбранном направлении можно сформировать минимум ДН.

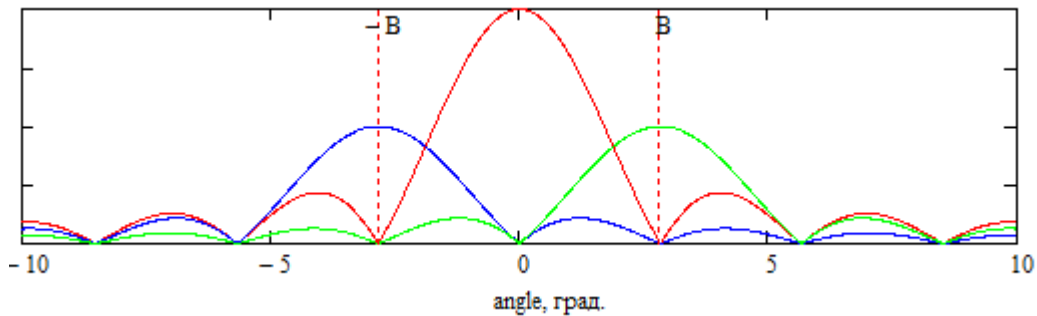


Рисунок 3. МР M_1 сдвинутый на угол $-\beta$, МР M_2 сдвинутый на угол $+\beta$, МР M с равномерным амплитудным и фазовым распределением

3. Снижение уровня МР в заданном направлении

Для снижения уровня МР в заданном направлении, необходимо подобрать такой коэффициент k_1 , при котором сумма МР M_1 , M_2 и M_3 в выбранном направлении θ будет минимальна или равна нулю. Исходя из поставленного условия:

$$k_1 f_1(\alpha, \Delta\Phi) + (A - k_1) f_2(\alpha, -\Delta\Phi) + f_3(\alpha, 0) = 0 \quad (8)$$

получим выражение для вычисления коэффициента k_1 :

$$k_1 = \frac{f_1(\alpha, \Delta\Phi) + A f_3(\alpha, 0)}{f_1(\alpha, \Delta\Phi) - f_2(\alpha, -\Delta\Phi)} \quad (9)$$

На рис 4 приведен график зависимости коэффициента k_1 от угла θ , в направлении которого требуется получить минимум ДН.

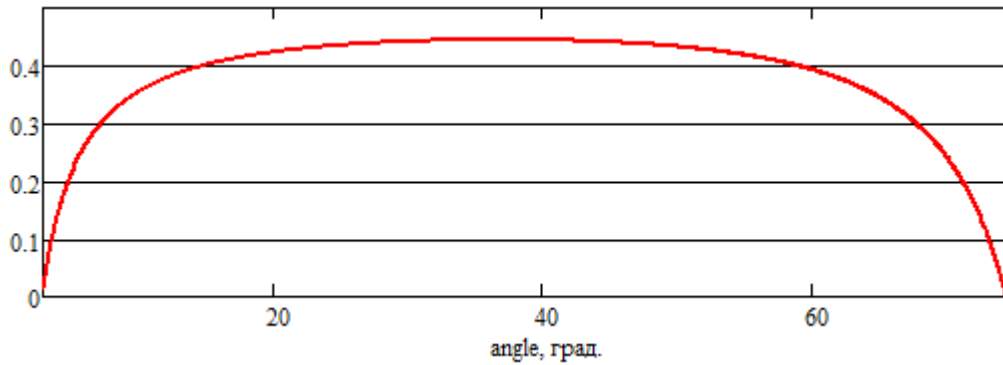


Рисунок 4. Зависимость коэффициента k_1 от угла θ

После того как получено значение k_1 для заданного угла θ необходимо вычислить амплитудно-фазовое распределение для МР $M = M_1 + M_2 + M_3$.

Пусть φ_{1n} , φ_{2n} и φ_{3n} фазовые распределения для МР M_1 , M_2 и M_3 соответственно. Тогда искомое амплитудно-фазовое распределение на излучателях АФАР будет задаваться выражением:

$$\begin{aligned} \dot{A}F_n = & k_1 \cos(\varphi_{1n}) + (A - k_1) \cos(\varphi_{2n}) + \cos(\varphi_{2n}) + \\ & + i[k_1 \sin(\varphi_{1n}) + (A - k_1) \sin(\varphi_{2n}) + \sin(\varphi_{2n})] \end{aligned} \quad (10)$$

Фазовое распределение на излучателях ФАР будет задаваться следующим выражением:

$$\dot{F}_n = \arctan \left[\frac{k_1 \sin(\varphi_{1n}) + (A - k_1) \sin(\varphi_{2n}) + \sin(\varphi_{2n})}{k_1 \cos(\varphi_{1n}) + (A - k_1) \cos(\varphi_{2n}) + \cos(\varphi_{2n})} \right] \quad (11)$$

Амплитудное распределение на излучателях ФАР будет задаваться следующим выражением:

$$\dot{A}_n = \sqrt{(k_1 \cos(\varphi_{1n}) + (A - k_1) \cos(\varphi_{2n}) + \cos(\varphi_{2n}))^2 + (k_1 \sin(\varphi_{1n}) + (A - k_1) \sin(\varphi_{2n}) + \sin(\varphi_{2n}))^2} \quad (12)$$

Учитывая (10) и (11) получим общее выражение для искомого МР $M = M_1 + M_2 + M_3$:

$$M(\alpha) = \sum_{n=0}^N A_n e^{i[F_n + kD_n \sin(\alpha)]} \quad (13)$$

На рис 5 приведен пример множителя решетки, рассчитанного для системы для апертуры из $N = 40$ излучателей.

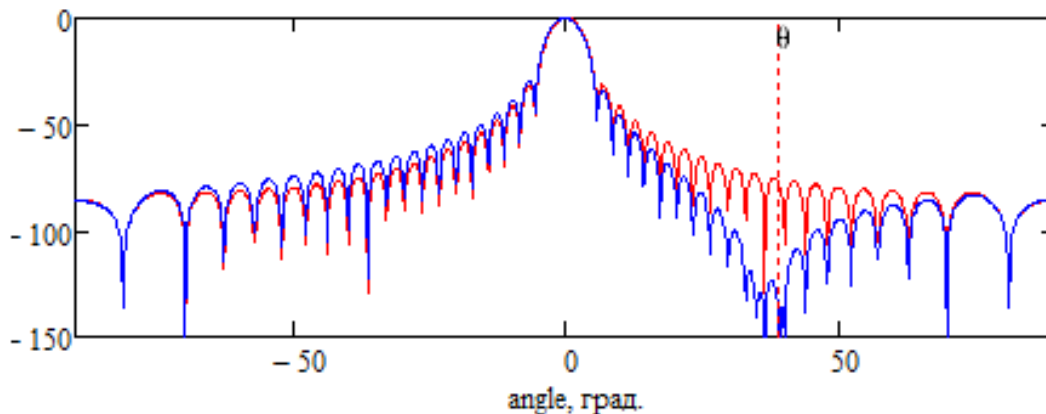


Рисунок 5. Диаграмма направленности с минимумом, полученным в заданном направлении

В направлении на заданный угол θ сформирован минимум диаграммы направленности.

3. Заключение

В работе приведена методика снижения уровня боковых лепестков ДН в заданном направлении, соответствующем углу θ (см. рис. 1 и 5). Получены аналитические зависимости амплитудного и фазового распределений, позволяющие получить минимум в диаграмме направленности методом парциальных диаграмм.

Список литературы

1. Климов К.Н., Гежа Д.С., Фирсов-Шибяев Д.О. Практическое применение электродинамического моделирования, LAP-Lambert, 2012, С. 216.
2. Сучков А.В., Климов К.Н. Линейная антенная решетка с расширенным рабочим сектором в угломестной плоскости // Антенны. — 2013— № 8 (195) — С. 018-029.
3. Минкович Б.М., Яковлев В.П. Теория синтеза антенн. Москва: Советское радио, 1969.
4. Конов К.И., Боловин А.А., Коркинец В.О. «Моделирование пеленгационных характеристик ФАР наземной РЛС с учетом формирования амплитудно-фазового распределения с заданными ошибками.» В книге: Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского. Материалы конференции. Москва: Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ, 2016. 241-243.
5. Гежа Д.С., Степанов Е.С., Климов К.Н. Электродинамическое моделирование свч-распределительной системы оптического типа многолучевой АФАР // Антенны. — 2018 — № 8 (252). — С. 53-59.
6. Конов К.И. «Двукратное расширение главного лепестка диаграммы направленности линейной антенной решетки фазовым методом.» Материалы конференции: Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. Москва, 2016. 523-526.
7. Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решеток. Москва: Мир, 1974.