

Распределительная система многолучевой АФАР

В.В. Перфильев, К.Н. Климов, А.С. Годин

ПАО «НПО «АЛМАЗ» ТООП «ЛЭМЗ»

Аннотация: рассмотрены принцип построения распределительной системы оптического типа (РСОТ) и этапы моделирования многолучевой АФАР. Приведены диаграммы направленности (ДН) АФАР.

Ключевые слова: антенная решетка, диаграммообразующая система.

1. Введение

В настоящее время существует достаточно большое количество АФАР, в том числе многолучевых [1 – 5]. Одним из важнейших элементов многолучевой АФАР является диаграммообразующая система (ДОС), предназначенная для создания заданного числа линейнонезависимых требуемых амплитудно-фазовых распределений на апертуре антенны. Существуют различные варианты построения ДОС: матричные (матрицы Батлера и Бласса), многомодовые (на основе линий передач с несколькими типами распространяющихся волн) и оптического типа. Достоинствами оптических систем, по сравнению с другими схемами построения распределительных систем является большая простота и как следствие дешевизна. Недостатком распределительных систем оптического типа являются большие потери, что является существенным для пассивных фазированных решеток. Однако в случае АФАР потери в распределительной системе являются менее критичным фактором, поскольку основная энергетика АФАР сосредоточена в оконечных каскадах.

2. Структура многолучевой АФАР

Многолучевая АФАР, структурная схема которой изображена на рисунке 1, состоит из распределительной системы оптического типа (РСОТ) и излучающей апертуры [6].

РСОТ показана на рисунке 2 и состоит из полости в металле A , M - излучающих зондов $Z_{1'} \div Z_{M'}$, N приёмных зондов $Z_1 \div Z_N$, расположенных на расстоянии R и N коаксиальных кабелей длиной s (см. рисунок 1 и 2) и является N -плоскостной системой [7, 8]. Приёмные зонды $Z_1 \div Z_N$ расположены инверсно, расстояние между центрами четных и нечетных зондов d выбрано для максимального уплотнения каналов без изменения габаритов.

Излучающая апертура состоит из N излучателей $R \div R_N$ (см. рисунок 1), к каждому из которых подсоединены усилители мощности $Y_1 \div Y_N$ и фазовращатели $\Phi_1 \div \Phi_N$ (см. рисунок 1). N коаксиальных кабелей распределительной системы длиной L_1 соединяют зонды $Z_1 \div Z_N$ с фазовращателями $\Phi_1 \div \Phi_N$ так, как показано на рисунке 1. Расстояние между соседними излучателями распределительной системы равно d_1 . Входами многолучевой АФАР являются зонды $Z_{1'} \div Z_{M'}$. Вход многолучевой АФАР, соответствующий зонду $Z_{1'}$, назовем первым каналом многолучевой АФАР. Вход многолучевой АФАР, соответствующий зонду $Z_{2'}$, назовем вторым каналом многолучевой АФАР, и т.д. Вход многолучевой АФАР, соответствующий зонду $Z_{M'}$, назовем M -каналом многолучевой АФАР. Таким образом, на апертуре многолучевой АФАР формируется амплитудно-фазовое распределение с амплитудами $A_1 \div A_N$, фазами $\varphi_1 \div \varphi_N$ на излучателях $R_1 \div R_N$ при

возбуждении $1 \div M$ каналов многолучевой АФАР. Управление амплитудным распределением позволяет добиваться необходимого уровня боковых лепестков и соответствующих ему ширин главных лепестков диаграмм направленностей каждого канала. Управление фазовращателями позволяет изменять фазовый фронт на раскрыве антенны и отклонять одновременно все лучи многолучевой АФАР на один и тот же угол.

Методика построения ДОС оптического типа для многолучевых АФАР, а также принципы выбора местоположения приемных и передающих зондов линзы, с учетом минимизации средней ошибки на границе апертуры, рассмотрены в [6-9].

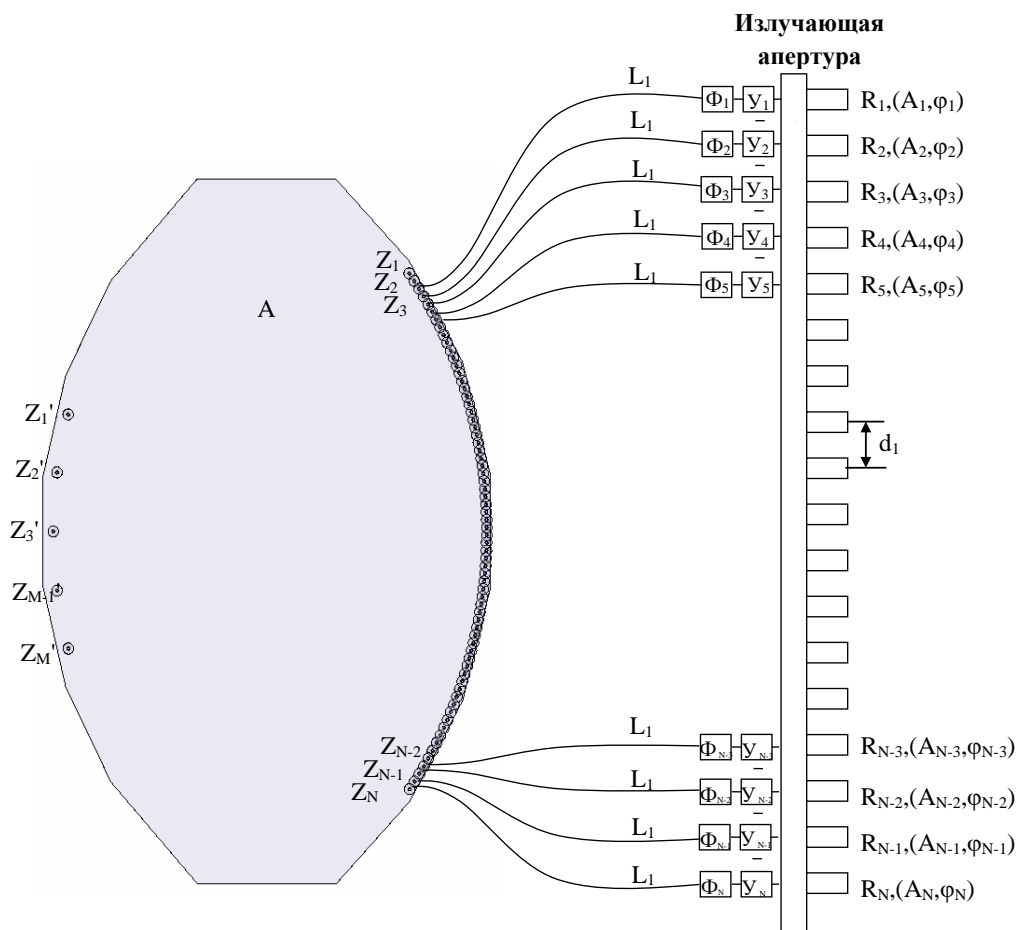


Рисунок 1. Структурная схема многолучевой АФАР.

Использование кабелей L_1 позволяет ввести дополнительную степень свободы и геометрически разделить задачу получения фазового распределения и излучения.

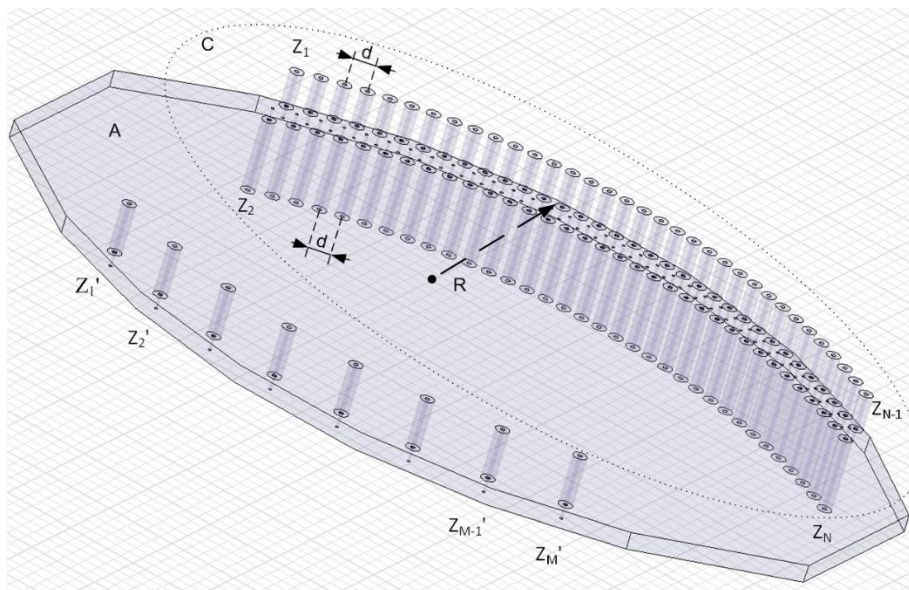


Рисунок 2. Геометрия распределительной системы оптического типа многолучевой АФАР.

3. Моделирование линзы многолучевой АФАР

В качестве примера квазиоптической линзовой системы [10, 11] для многолучевой АФАР была выбрана система со следующими исходными данными: число приемных зондов $N = 71$; число передающих зондов $M = 5$; большая полуось эллипса приемных зондов $Z_{1'} \div Z_{71'}$, равна $a = 342$ мм; углы отклонения диаграмм направленности $\alpha_1 = -\alpha_5 = \alpha_{\text{макс}} = 3.6^\circ$, $\alpha_2 = -\alpha_4 = 1.8^\circ$, $\alpha_3 = 0^\circ$; рабочая частота F_0 ; расстояние между излучателями $d = 41$ мм; проекция расстояния между приемными зондами на большую полуось $Z_{1'} \div Z_{71'}$, составляет $\Delta x = 6.9$ мм; относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей распределительную систему, равна $\varepsilon = 2.1$. Подробный расчет аналогичной РСОТ приведен в [6].

Так же важным требованием при проектировании АФАР было минимизировать уровень боковых лепестков (УБЛ) ДН. Заключительным этапом проектирования РСОТ стал выбор типа амплитудного распределения. Рассматривалось два варианта: «косинус на пьедестале» с $\Delta=0.1$ (см. рисунок 3) и «растянутый косинус на пьедестале» с $\Delta=0.1$ (см. рисунок 4).

При распределении «косинус на пьедестале» ($\Delta = 0.1$) главный луч диаграммы направленности расширяется относительно равномерного распределения – пересечение на уровне -4 дБ, а уровень боковых лепестков уменьшается до -23 дБ.

При распределении «растянутый косинус на пьедестале» ($\Delta = 0.1$) главный луч диаграммы направленности еще сильнее расширяется относительно равномерного распределения – пересечение на уровне -2.5 дБ, а уровень боковых лепестков минимизируется до уровня -41 дБ.

Из соображений оптимизации системы по минимальному уровню боковых лепестков диаграммы направленности было выбрано амплитудное распределение – «растянутый косинус на пьедестале» ($\Delta = 0.1$). Данное амплитудное распределение обеспечивается за счет различных коэффициентов усиления усилителей в каждом канале АФАР.

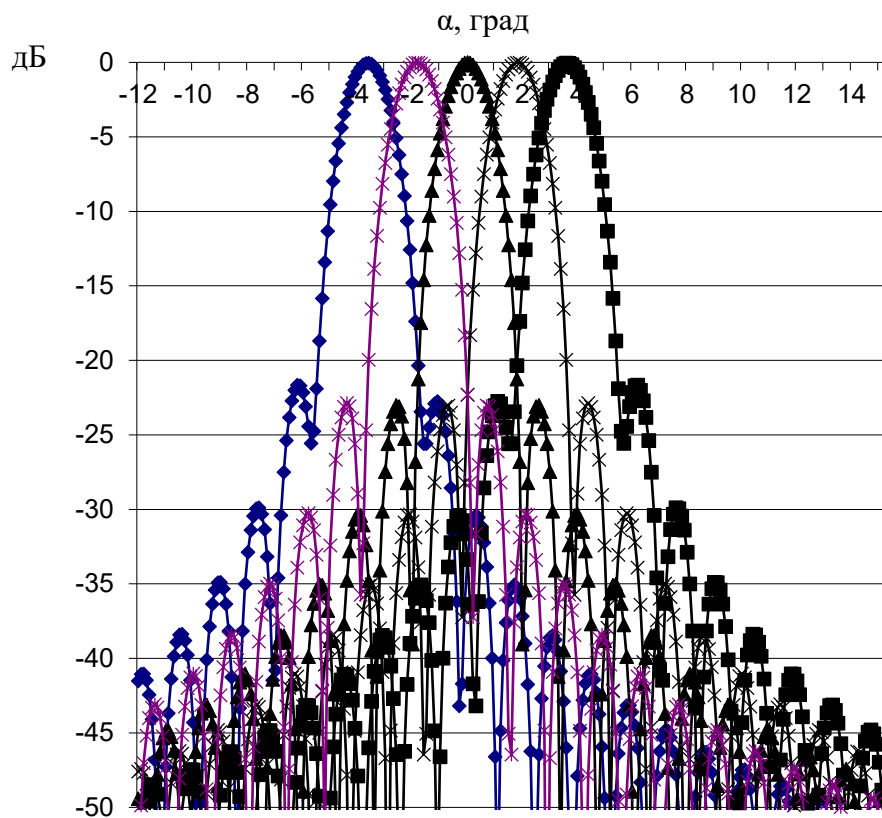


Рисунок 3. ДН многолучевой АФАР при распределении «косинус на пьедестале» ($\Delta = 0.1$).

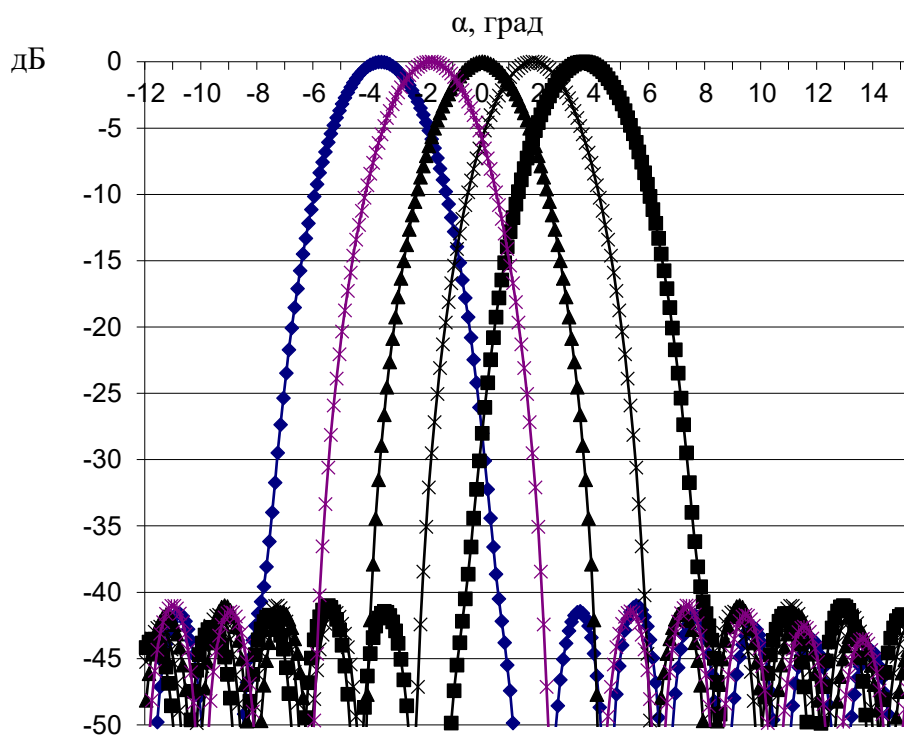


Рисунок 4. ДН многолучевой АФАР при распределении «растянутый косинус на пьедестале» ($\Delta = 0.1$).

4. Заключение

Рассмотрена структурная схема построения РСОТ для многолучевых АФАР. Приведен пример построения многолучевой АФАР на основе предложенной ДОС оптического типа с уровнем боковых лепестков до 40 дБ.

Список литературы

1. Перегонов С.А. Многолучевая СВЧ антенная решётка с параллельным контролем обозреваемого пространства. // Электронная техника. серия 1: СВЧ-техника. –2014. –№1. –С. 54-62.
2. Грибков В.Ф. РЛС с ФАР/АФАР: вчера, сегодня, завтра. // Авиационные системы. –2011. –№5. С. 10-18.
3. Тушнов П.А., Бердыев В.С., Левитан Б.А. Аспекты развития технологий приемо-передающих модулей активных фазированных антенных решеток. // Радиотехника. –2015. –№4. С. 91-98.
4. Пономарёв Л.И., Вечтомов В.А., Милосердов А.С. Многолучевая антенная решётка для системы спутниковой связи. //Антенны. –2012. –№5. С. 52-65.
5. Кашин В.А., Туманская А.Е., Шумилов В.Ф. Особенности формирования диаграмм направленности моноимпульсной активной фазированной антенной решетки с купольной линзой // Радиотехника и Электроника. –2012. –Т. 57, №9. –С. 957-967.
6. Климов К.Н., Фирсов-Шибяев Д.О., Перфильев В.В. Геометрическая интерпретация синтеза квазиоптической распределительной системы для многолучевых фазированных антенных решеток. // Радиотехника и Электроника. –2015. –Т. 60, №3. –С. 254-281.
7. Гежа Д.С., Годин А.С., Климов К.Н. Электродинамическое моделирование возбудителя для СВЧ-распределительной системы оптического типа многолучевой ФАР // Антенны. –2015. –№4 (215). –С. 9-14.
8. Гежа Д.С., Годин А.С., Климов К.Н. Электродинамическое моделирование приемных зондов СВЧ-распределительной системы оптического типа многолучевой ФАР. // Антенны. –2015. –№3 (214). –С. 48-53.
9. Степанов Е.С., Гежа Д.С., Климов К.Н. Электродинамическое моделирование уплотненной модификации приемных зондов СВЧ-распределительной системы оптического типа многолучевой АФАР // Антенны. –2015. –№ 9 (220). –С. 53-60.
10. Климов К.Н. Боделан Б.Г., Хрупало Б.А., Логачев П.В. Многолучевая приёмная антенна «ЛЭМЗ» // Патент РФ на полезную модель RU № 90266. ОБ «Изобретения. Полезные модели». 2009. №36.
11. Климов К.Н., Гежа Д.С., Фирсов-Шибяев Д.О. Практическое применение электродинамического моделирования, LAR-Lambert, 2012. –С. 216.