

Влияние способов расположения и распределения фаз между излучателями в АР на уровень кроссполяризации составляющей на примере квази-логопериодической антенны

С.С. Сидоренко, И.А. Богачев, В.В. Демшевский, И.А. Сикорская, А.В. Парижанкова

АО НПП «Исток «им. Шокина»

Аннотация: в работе представлен квази-логопериодический дипольный излучатель с микрополосковым питанием, имеющий ширину полосы рабочих частот более 60%, коэффициент усиления на центральной частоте равный 7 дБ, уровень кроссполяризации составляющей менее -15дБ и относительно небольшие размеры, а также рассмотрены возможные варианты расположения и распределения фазы между излучателями в конечной ФАР, на основе представленного излучателя.

Ключевые слова: квази-логопериодическая антенна, электронное сканирование, антенная решетка, зеркальное расположение излучателей, уменьшение уровня кросс-поляризации составляющей.

1. Введение

Модульный принцип построения аппаратуры, при котором за основу берется унифицированный элемент, в ФАР (АФАР) - это блок подрешетки, и на основе которого строится требуемая апертура антенной системы позволяет существенно снизить стоимость изделий, а также повысить технологичность производства. Кроме того, авиационные радарные комплексы существенно расширяют свои функциональные возможности при использовании двухдиапазонных антенных систем с различными сочетаниями в S, C, X, Ku диапазонах частот. Фундамент этих направлений базируется на принципах и технических решениях построения широкополосных излучающих антенных систем (полотна) с электронным управлением лучом.

Цель работы – моделирование и анализ характеристик квази-логопериодического дипольного излучателя с микрополосковым питанием для использования в широкополосных ФАР, а также рассмотрение вариантов уменьшения уровня кроссполяризации конечной ФАР на основе рассмотренного излучателя.

2. Электродинамическое моделирование квази-логопериодической дипольной антенны с микрополосковым питанием

В настоящее время существует достаточно много антенных излучателей имеющих широкую полосу рабочих частот, высокий коэффициент усиления (КУ), хорошую развязку по уровню кроссполяризации или небольшие габаритные размеры [1 - 5], но достаточно сложно встретить излучатель, который в совокупности обладал бы всеми вышеперечисленными свойствами. В работе представлена квази-логопериодическая дипольная антенна с микрополосковым питанием, имеющая ширину полосы рабочих частот более 60%, коэффициент усиления на центральной частоте равный 7 дБ, уровень кросс-поляризации составляющей менее -15дБ, при всем этом излучатель рассчитан на диэлектрической подложке размерами $0.67\lambda_0 \times 0.6\lambda_0$ и толщиной $0.021\lambda_0$ с $\epsilon_r = 10.2$ и $tg\delta = 0.0023$ (рисунок 1а).

На рисунке 1б представлен график частотной зависимости модуля коэффициента отражения излучателя. На рисунке 2 показаны нормированные диаграммы

направленности (ДН) в H – плоскости. На частотах $1.27f_0$ и выше наблюдаются искажения ДН. Уровень кросс-поляризационной составляющей в секторе $\pm 60^\circ$ не более -15дБ в полосе частот от $0.64f_0$ до $1.1f_0$ в H – плоскости, в E – плоскости этот показатель не превышает -20дБ .

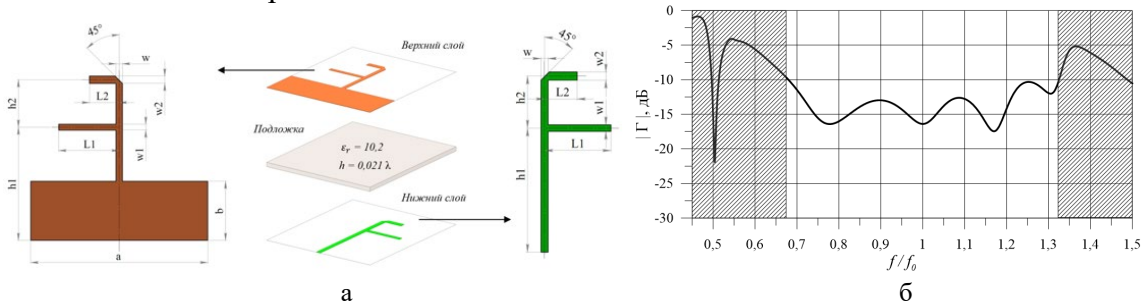


Рисунок 1. Эскиз квази-логопериодического излучателя с микрополосковым питанием а); график частотной зависимости модуля коэффициента отражения излучателя б)

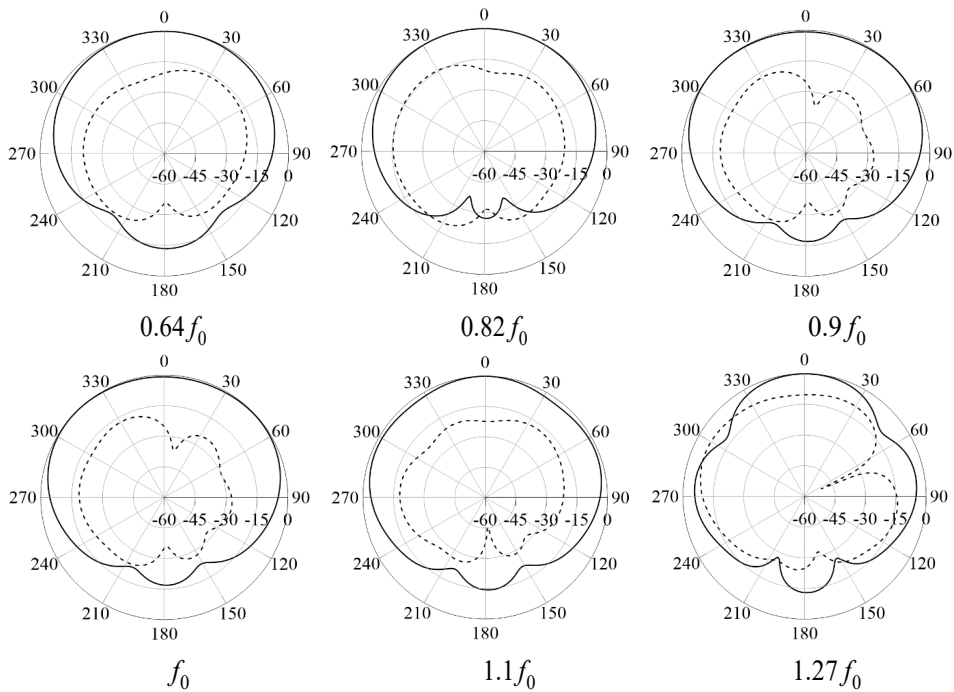


Рисунок 2. Нормированные ДН излучателя в H – плоскости: E_θ (—) и E_φ (---)

3. Моделирование характеристик ФАР на основе квази-логопериодической дипольного излучателя

Оптимизация параметров ФАР с квази-логопериодическими дипольными элементами с микрополосковым питанием осуществлялась на основе целевых функций (Obj) при помощи генетического алгоритма глобальной оптимизации для гексагональной сетки расположения элементов $d_x d_y = 0.6\lambda_0 \times 0.3\lambda_0$:

$$Obj1 = Obj f \Delta f (|S_{11}|, -10\text{дБ}),$$

$$Obj2 = Obj f G_{\text{дБ}} (f_0, \theta_{a\text{max}}, \varphi_{a\text{max}}),$$

$$Obj3 = Obj f Pol (AR, f_0, \theta_{a\text{max}}, \varphi_{a\text{max}})$$

где f_0 – центральная частота, $\theta_{a\text{max}}, \varphi_{a\text{max}}$ – угол места и азимут максимума отклонённого луча ДН (индекс a – антенная система координат), AR – коэффициент

эллиптичности, S_{11} – коэффициент отражения. Значения основных геометрических параметров излучателя в АР приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические размеры излучателя в составе АР

№	Параметр	Значения в λ_0	№	Параметр	Значения в λ_0
	a	0.6		h2	0.19
	a1	0.28		h3	0.8
	a2	0.048		L1	0.2
	b	0.05		L2	0.115
	b1	0.05		w	0.015
	b2	0.067		w1	0.02
	h	0.021		w2	0.01
	h1	0.22			

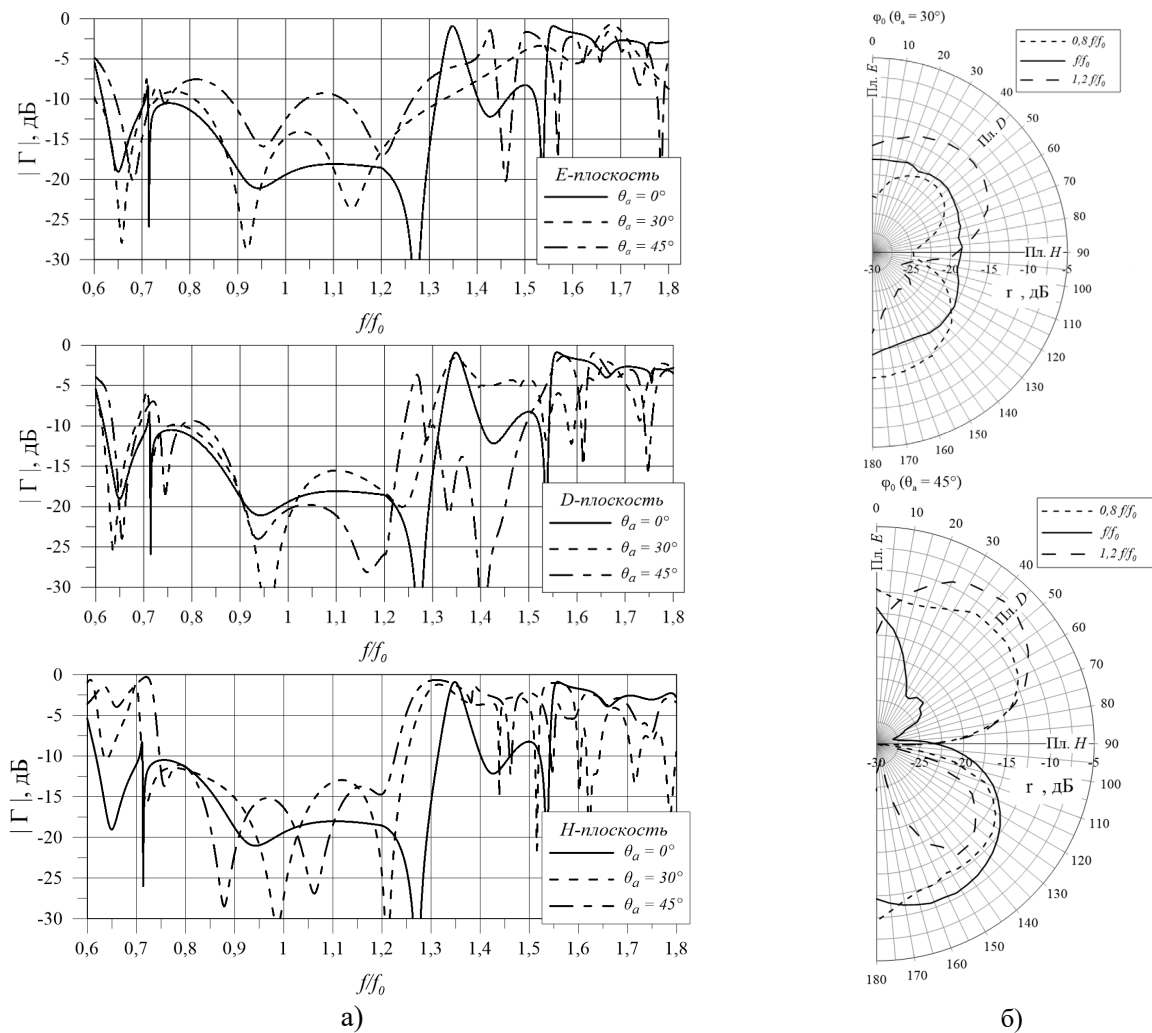


Рисунок 3 – Графики частотной зависимости модуля коэффициента отражения $|\Gamma|$ антенны при сканировании луча а); диаграммы коэффициента эллиптичности r в направлении луча ФАР б)

Графики частотной зависимости модуля коэффициента отражения $|\Gamma|$ антенны при сканировании луча и диаграммы коэффициента эллиптичности r в направлении луча ФАР из квази-логопериодических дипольных излучателей с микрополосковым питанием в модели бесконечной решетки при фазировании в направлении углов

сканирования $\theta_a = 30^\circ$ и $\theta_a = 45^\circ$ и сканировании луча вокруг направления нормали приведены на рисунке 3.

Относительно высокий уровень кросс-поляризационного излучения в направлениях близких к диагональным вызван в первую очередь несимметричной конструкцией. Известны методы снижения кросс-поляризации, в частности, путём симметричного противофазного возбуждения соседних элементов АР [5, 6].

4. Влияние способов расположения и распределения фаз между излучателями в АР на уровень кроссполяризации

В работе [6] приводятся несколько методов улучшения кроссполяризационных характеристик антенны. Один из них является наиболее подходящим для квази-логопериодической дипольной антенны с микрополосковым питанием - это зеркальное расположение соседних излучающих элементов в ФАР, когда два рядом расположенных элемента размещаются таким образом, что являются "зеркальным" отражением друг друга; возбуждение соседних элементов отличается по фазе на 180° (рис 4).

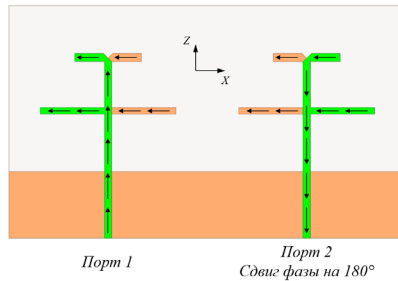


Рисунок 4 – Конструкция из двух излучателей с разностью фаз в 180° , расположенных "зеркально" друг относительно друг

На основе этого метода были рассмотрены несколько возможных вариантов расположения излучателя (оранжевый кружок) и его "зеркального" отражения (синий кружок) на примере конечной АР размером 5×5 элементов, расположенных в гексагональном порядке (рис. 5). Значение сдвига фазы указано внутри каждого элемента. Лучший результат развязки по поляризации достигается для конструкции, показанной на рисунке 5в. Результаты расчетов ДН для каждой конструкции приведены на рисунках на рисунках 6 в H – плоскости на центральной частоте f_0 .

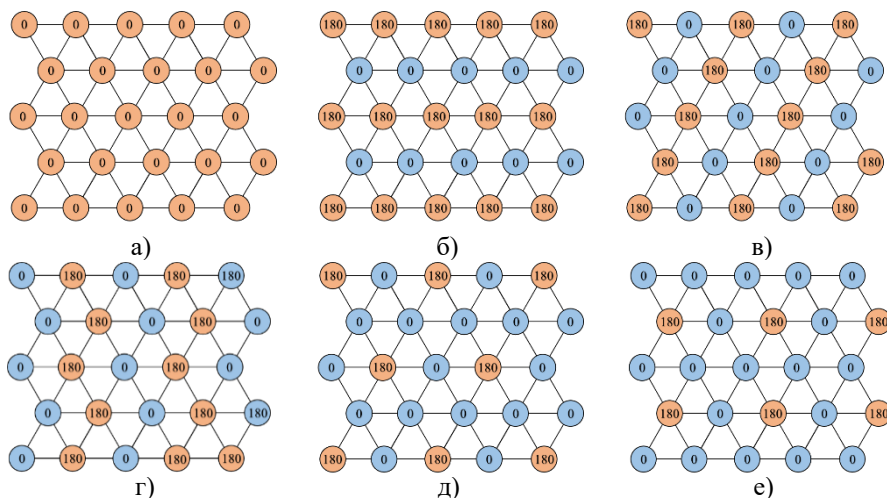


Рисунок 5 – Способы расположения излучающих элементов в решетке

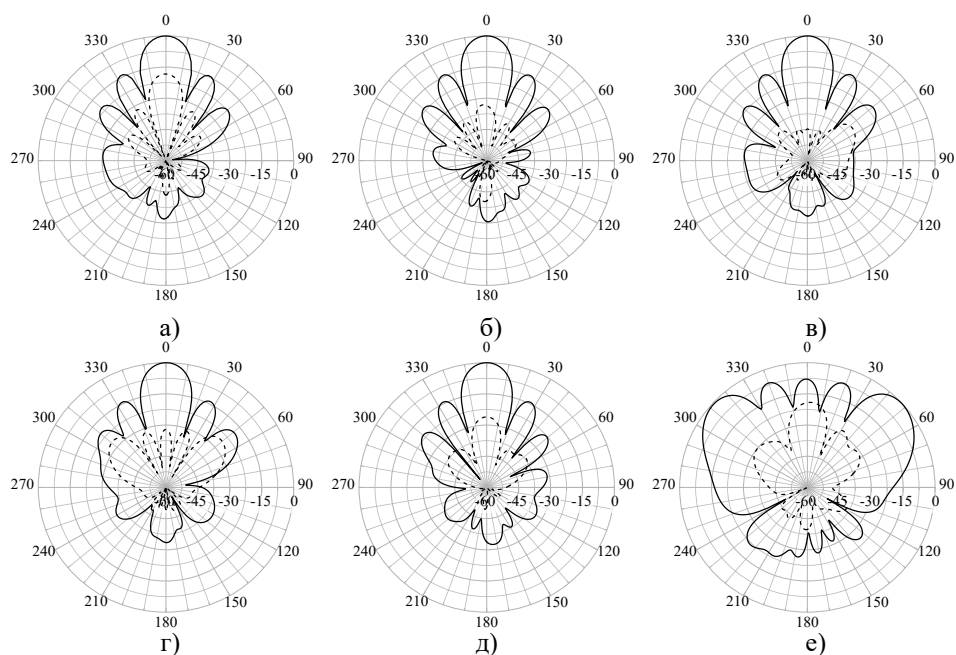


Рисунок 6 – Нормированные ДН АР из квазилогопериодических антенн, рассчитанных на центральной частоте f_0 для каждого варианта расположения излучателя, соответственно рисунку 12, в H – плоскости: E_0 (—) и E_ϕ (----)

Сравнение результатов, представленных на рисунке 6, показало, что уровень кросс-поляризации в ФАР возможно снизить более чем на 20дБ, используя схему расположения излучателей и распределения фазы между ними, представленную на рисунке 5в.

Вывод

В работе был представлен широкополосный квази-логопериодический излучатель, перекрывающий полностью X-диапазон с перспективой использования в АФАР с углом электронного сканирования $\pm 45^\circ$. Рассмотрены некоторые возможные способы расположения и распределения фазы между излучателями на примере конечной ФАР для уменьшения уровня кросс-поляризации.

Список литературы

1. Aaron K. Shackelford A. K., Lee K-F., Luk K. M.. Design of small-size wide-bandwidth microstrip-patch antennas // IEEE Antennas and Propag. Magazine. 2003. №1. P. 75-83.
2. Лось В.Ф., Малов А.В. Эффективные и широкополосные микрополосковые печатные антенны// Антенны. 2009. №3.
3. Яцкевич В.А., Микирев А.Н. Печатная логопериодическая антенна и её сравнение с антенной Вивальди // Антенны. 2011. № 6. С. 27-34.
4. Eldek A. A. Design of double dipole antenna with enhanced usable bandwidth for wideband phased array applications // Progress In Electromagnetics Research, PIER. 2006. 59. P.1–15.
5. Eldek A. A. Ultra wideband microstrip antenna for phased array application //Proceedings of the 4th European Radar Conference. Germany. 2007. P. 319–321.
6. А. Ю. Гринев, Е. В. Ильин, Д. А. Евсеев. Улучшение поляризационных характеристик микрополосковых фазированных антенных решеток с линейной поляризацией // Антенны. 2017. № 10. С. 3-10.