

Экспериментальные измерения суммарных и разностных диаграмм направленности малоэлементной печатной антенной решетки

С.С. Сидоренко¹, В.В. Демшевский¹, В.В. Лободин¹, А.Д. Баженов¹, И.А. Богачев¹,
Г.С. Аникин^{1,2}, Д.В. Багно^{1,2}, Е.В. Ильин^{1,2}

¹АО НПП «Исток «им. Шокина», г. Фрязино

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Аннотация: в рамках проведенных исследований осуществлена разработка макета печатной малоэлементной антенной решетки и проведено экспериментальное измерение ее характеристик. Полученные результаты послужили основой для создания малогабаритной АФАР.

Ключевые слова: малогабаритная, антенная решетка, ФАР, АФАР, суммарно-разностный режим, макет, печатный тип.

1. Введение

Разработка, изготовление и сборка фазированной антенной решетки (ФАР) для радиотехнических систем и комплексов требует колоссальных ресурсов и усилий, а также больших финансовых затрат, кроме того производственно-технологические погрешности при изготовлении ФАР приводят к искажению ДН ФАР и ухудшению основных характеристик системы в целом [1 – 4]. В связи с чем актуальным является проведение экспериментальных измерений и отработка конструктивных, технологических решений на малоэлементных макетах антенных решеток на ранних этапах разработки. Экспериментальные измерения параметров малоэлементных антенных решеток обеспечивают получение необходимых данных для дальнейшего совершенствования АФАР. Малоэлементной антенной решеткой в таком случае может являться конструкция антенной решетки размерностью 4x4 элемента, которая позволит исследовать характеристики как суммарных, так и разностных ДН, проверить на соответствие с разработанными математическими и электродинамическими моделями, отработать технологию монтажа соединителей, сборки с делителями/сумматорами мощности и т.д.

Целью работы является экспериментальные измерения суммарных и разностных диаграмм направленности малоэлементной печатной антенной решетки Ку-диапазона частот; отработка технологии монтажа и сборки.

2. Электродинамическое моделирование малоэлементной антенной решетки на основе патч-излучателя

Электродинамическое моделирование малоэлементной антенной решетки (АР) Ку-диапазона частот осуществлялось методом конечных элементов в специализированном САПР. АР состоит из 16-ти излучающих печатных многослойных патч-излучателей на основе диэлектрической подложки с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 2,94$ и тангенсом диэлектрических потерь $tg\delta = 1,2 \cdot 10^{-3}$. Габаритные размеры АР не превышают $4\lambda \times 4\lambda \times 0,4\lambda$. Возбуждение модели АР осуществляется при помощи системы синфазных равноамплитудных многоканальных делителей мощности. Получение разностных ДН в АР осуществлялось при помощи использования делителя мощности в последнем слое, имеющего сдвиг фазы в 2-х парах выходов 180 градусов.

На рисунке 1 показано семейство графиков частотной зависимости КСВН на входах элементов в АР. Разброс графиков обуславливается различным взаимным влиянием излучателей друг на друга из-за их различного местоположения на АР. Из графиков видно, что рабочая полоса элементов по уровню $КСВН = 2$ составляет более 11%.

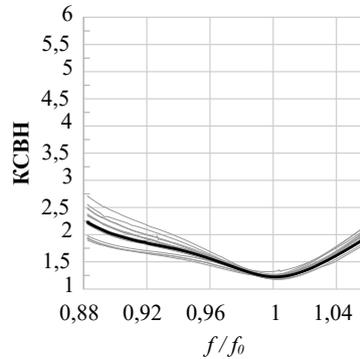


Рисунок 1. Семейство графиков зависимостей КСВН модели малоэлементной АР

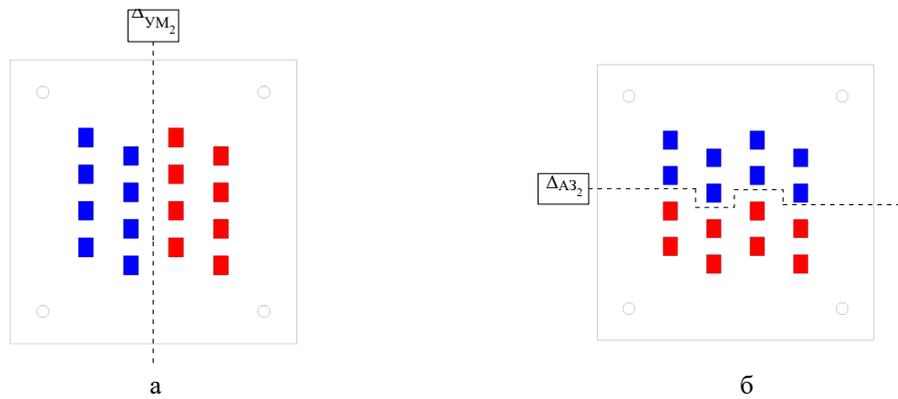


Рисунок 2. Внешний вид малоэлементной АР на основе патч-излучателей. Реализация разностного режима в угломестной плоскости а); реализация разностного режима в азимутальной плоскости б)

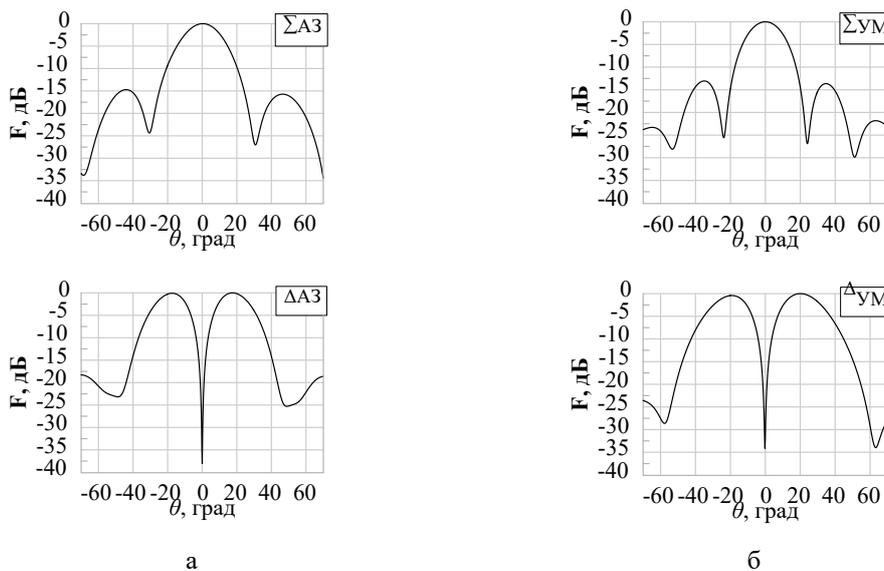


Рисунок 3. Нормированные ДН модели малоэлементной АР суммарного и разностных режимов. Сечение ДН проходящей через луч в азимутальной плоскости а); Сечение ДН проходящей через луч в угломестной плоскости б)

Выбранное количество элементов в АР позволяет реализовать суммарный и разностные режимы работы в двух ортогональных плоскостях (рисунок 2). Рассчитанные ДН малоэлементной АР представлены на рисунке 3. Фазирование выполнено в направлении нормали, то есть $\theta_0 = 0^\circ$, $\varphi_0 = 0^\circ$. Значение УБЛ ДН суммарного режима, как видно из графиков, не превышает 12дБ. Глубина нуля разностных ДН составляет менее -34дБ.

3. Экспериментальные измерения макета малоэлементной АР

Внешний вид макета малоэлементной АР представлен на рисунке 4 (а). В процессе проведения экспериментальных измерений параметра КСВН на векторном анализаторе цепей (ВАЦ) Agilent N5227, рабочая полоса патч-излучателей оказалась смещена в сторону низких частот в область $0,92f_0$, рисунок 4 (б). Смещение рабочей полосы обуславливается расхождением модели с изготовленным макетом малоэлементной АР. Монтаж соединителей типа SMP на практике оказал непосредственное влияние на электродинамические характеристики отдельных элементов.

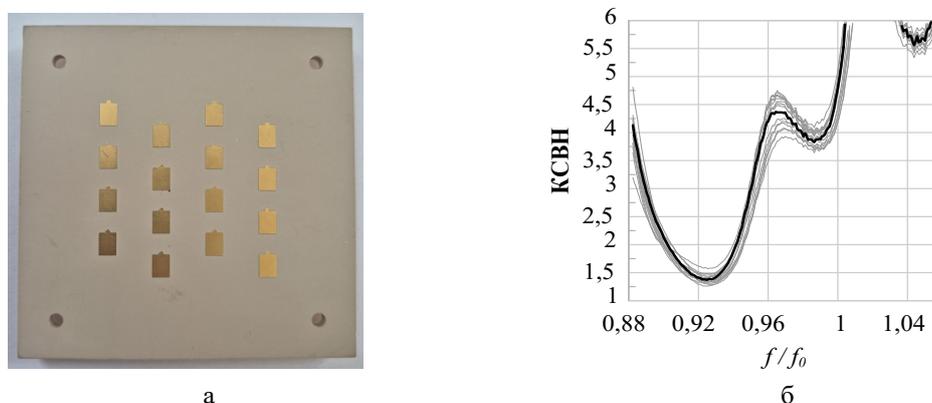


Рисунок 4. Внешний вид макета малоэлементной АР до подстройки патч-элементов а) и его семейство графиков частотной зависимости КСВН б)

Подстройка в область рабочих частот ранее смещенного диапазона осуществлялась корректировкой геометрических размеров самих патчей. Использование процесса фрезеровки позволило с необходимой точностью отсечь часть металлизированного рисунка АР, рисунок 5 (а). Изменение геометрических размеров патч-элементов повлияло на настройку рабочего диапазона на необходимую частоту, рисунок 5 (б).

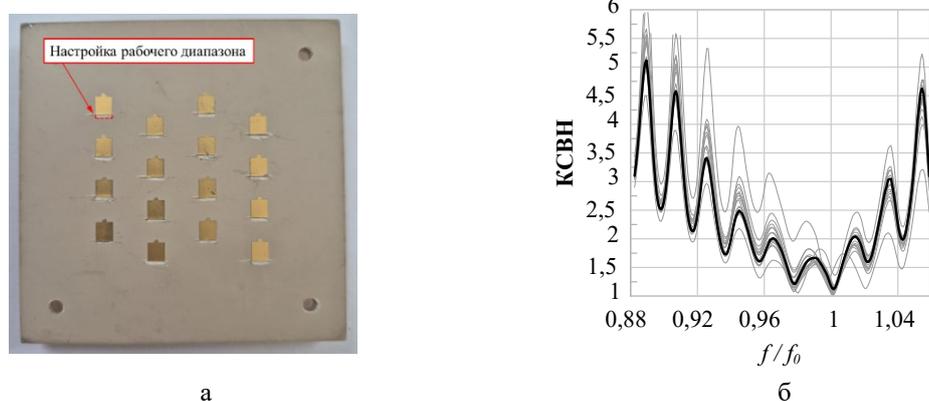


Рисунок 5. Внешний вид макета малоэлементной АР после подстройки патч-элементов а) и его семейство графиков частотной зависимости КСВН б)

Измерения ДН антенны проводились при помощи автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса (АИВК), предназначенного для измерений радиочастотных характеристик антенн методом ближнего поля в частотной области. Комплекс состоит из пульта дистанционного управления (ДУ), контроллера сканера, сканера, анализатора сигналов, опорно-передвижного устройства (ОПУ) и контроллера ОПУ. АИВК располагается внутри безэховой камеры (БЭК). На рисунке 4 представлена структурная схема комплекса АИВК. Измеренные ДН суммарного и разностных режимов малоэлементной АР представлены на рисунке 7, где сплошной линией изображены результаты электродинамического моделирования, пунктирной – результаты измерения макета АР. Анализ графиков на рисунке 7 демонстрирует хорошее совпадение: совпадают форма главных лепестков и нулей АР.

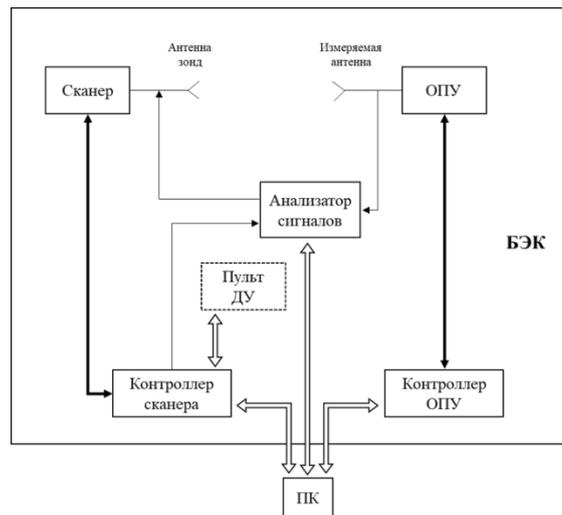


Рисунок 6. Структурная схема АИВК

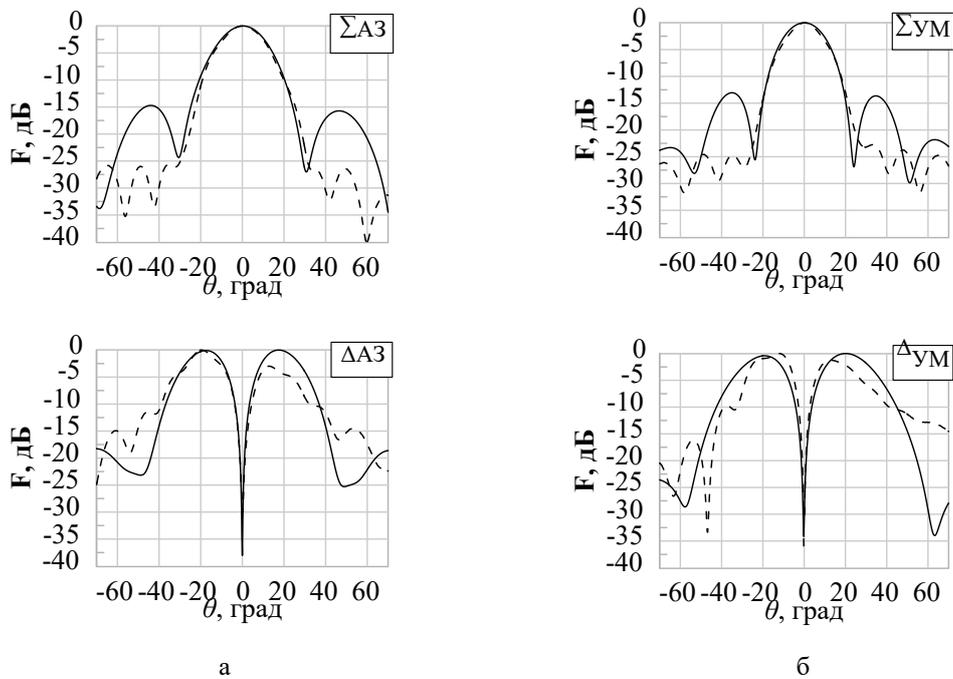


Рисунок 7. Нормированные ДН малоэлементной АР суммарного и разностных режимов. Сплошная линия – результаты, полученные в САПР; пунктирная линия – результаты экспериментального измерения макета. Сечение ДН проходящей через луч в азимутальной плоскости а); Сечение ДН проходящей через луч в угломестной плоскости б)

4. Вывод

Изготовленный макет малоэлементной АР на основе патч-излучателей продемонстрировал хорошее совпадение параметров с моделью АР, разработанной при помощи электродинамического моделирования в САПР. В процессе подготовки макета к измерениям были отработаны технологические аспекты монтажа соединительных разъемов типа SMP на плату, монтажа кабельных сборок, а также проведена корректировка рабочего диапазона частот макета. Вышеперечисленные процессы отработки конструктивных, технологических решений на малоэлементных макетах АР на ранних этапах разработки, помогут в дальнейшем минимизировать производственно-технологические погрешности при изготовлении ФАР, а также избежать больших финансовых затрат, в случае расхождения параметров расчетной модели с параметрами изготовленного макета.

Список литературы

1. Инденбом М.В. Антенные решётки подвижных обзорных РЛС. М.: Радиотехника. 2015.
2. Справочник по антенной технике / Под ред. Я.Н. Фельда, Е.Г.Зелкина. М.: ИПРЖР. 1997.
3. Шифрин Я.С., Корниенко Л.Г. Статистика поля антенных решёток // Антенны. 2000. № 1 (44). С. 3–16.
4. Шифрин Я.С., Усин В.А. Статистическая теория антенных измерений // Антенны. 2000. № 1 (44). С. 27–62.