

УДК 621.396.67:629.73

МИКРОПОЛОСКОВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА С ОТКЛОНЕННЫМ ПО УГЛУ МЕСТА ГЛАВНЫМ ЛЕПЕСТКОМ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ

СУХАЧЕВСКИЙ П. В.

ОАО «КБ Радар» – Управляющая компания холдинга «Системы радиолокации»
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: blanc_aigle@mail.ru

Аннотация. В настоящее время активно развивается техника беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Актуальна задача создания наземных компактных антенных устройств, для управления и передачи данных в режиме полета с БЛА, патрулирующих участок территории. Проектированию микрополоскового антенного устройства, в рамках обозначенной задачи, посвящена настоящая статья.

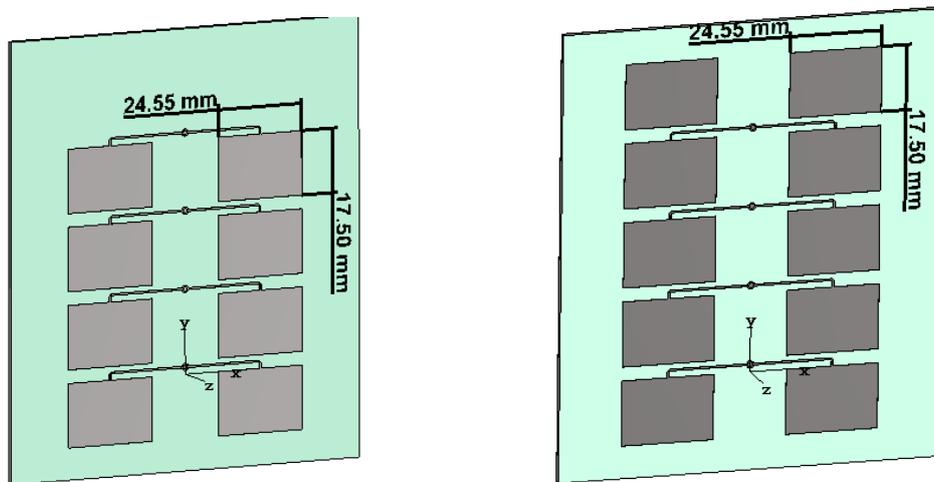
Abstract. Currently, the technology of unmanned aerial vehicles (UAVs) is being actively developed. The task of creating ground-based compact antenna devices for controlling and transmitting data in flight mode from UAVs patrolling an area of the territory is urgent. This article is devoted to the design of a microstrip antenna device, within the framework of the designated task.

Технические требования

В работе предполагается, что для обеспечения связи с БЛА главный лепесток диаграммы направленности (ДН) наземной антенной решетки должен быть отклонен от поверхности Земли на $\theta_e = [30 - 45]^\circ$, ширина главного лепестка ДН в угломестной плоскости не должна превышать $2\theta_{05} = 40^\circ$. Рабочий диапазон частот 5,15 – 5,21 ГГц. Микрополосковые антенные решетки (МПА) обладают компактностью, их не сложно изготовить, легко незаметно крепить в различных условиях, поэтому в качестве излучающего элемента устройства был выбран микрополосковый излучатель прямоугольной формы с вертикальной поляризацией.

Результаты численного моделирования

Анализируемые антенные решетки представлены на рис. 1. Задача решалась методом численного моделирования во временной области [1].



а) – МПА из четырех элементов

б) – МПА из пяти элементов

Рис.1. Микрополосковые антенные решетки

Методом эволюционной стратегии [2] на входах МПА были получены коэффициенты амплитудного распределения, представленные в табл. 1. Целевыми функциями были одновременно: минимальный уровень боковых лепестков (УБЛ) равный минус 15 дБ и направление главного лепестка диаграммы направленности в угломестной плоскости равно $\theta_e = 40^\circ$. В табл. 1. полученное амплитудное распределение существенно отличается от исходного равномерного амплитудного распределения.

Таблица 1. Коэффициенты амплитудное распределение

Значения амплитудного распределения для:	Координата центра излучателя по оси Y			
	0 мм	21,2 мм	42,4 мм	63,6 мм
МПА из 4-ех элементов	1	1	0,56	0,25
МПА из 5-ти элементов	0,865	0,965	1	0,5

Зависимость УБЛ от частоты представлена на рис. 2.

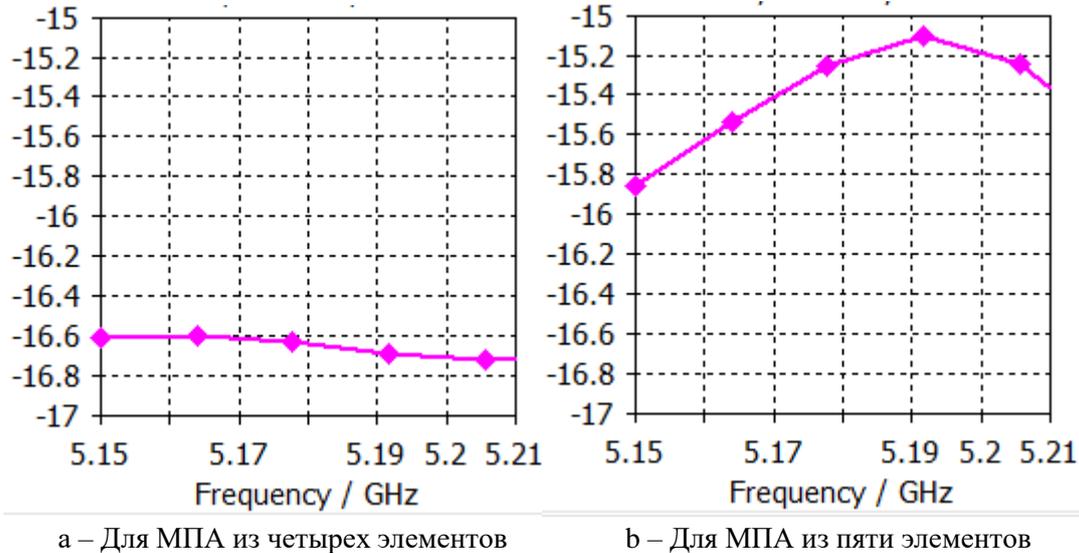


Рис. 2. Зависимость УБЛ от частоты

Зависимость направления главного лепестка ДН в угломестной плоскости от частоты представлена на рис. 3.

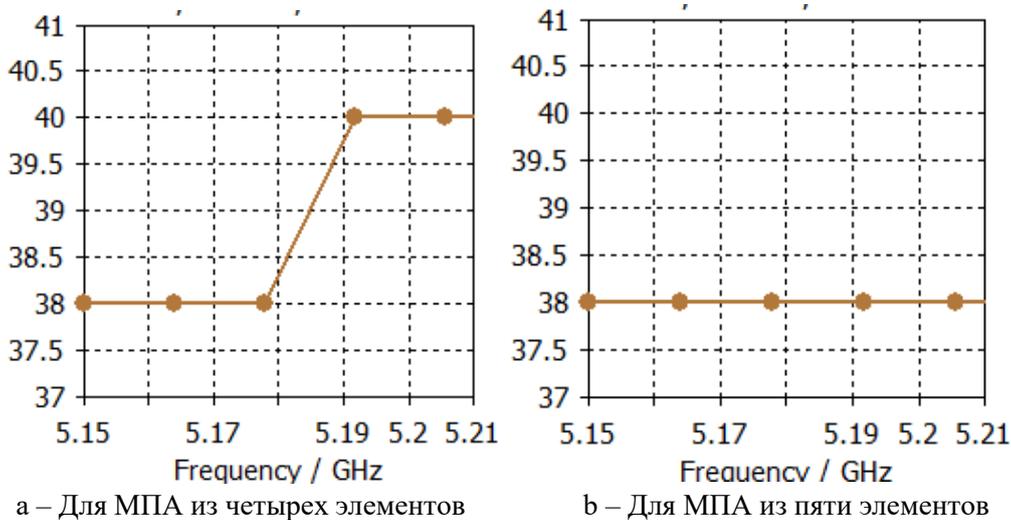


Рис. 3. Зависимость направления главного лепестка ДН в угломестной плоскости от частоты

Результаты оптимизации целевых функций по УБЛ и θ_e соответствуют техническим требованиям, что демонстрирует эффективность примененной эволюционной стратегии.

Зависимость ширины главного лепестка ДН в угломестной плоскости от частоты представлена на рис. 4.

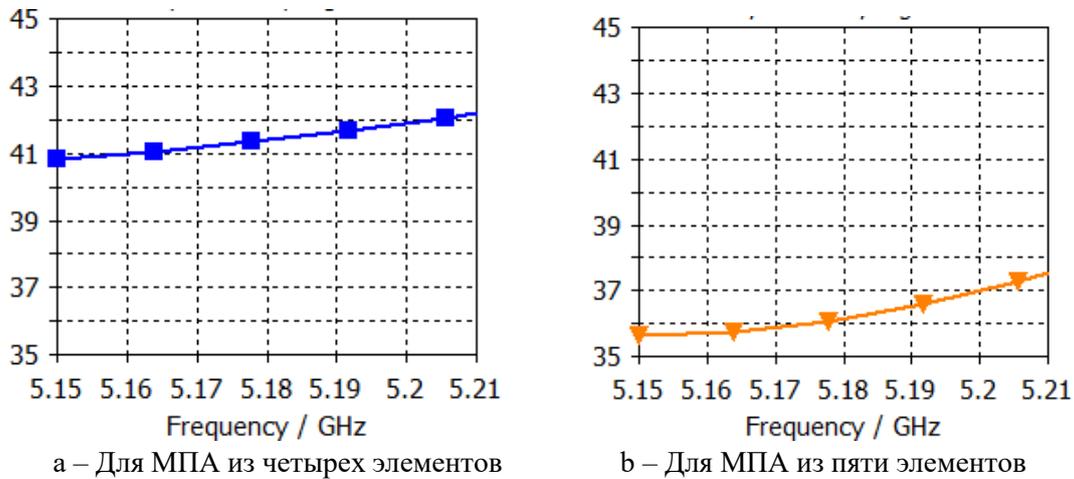


Рис. 4. Зависимость ширины главного лепестка ДН в угломестной плоскости от частоты

На рис. 4.a ширина главного лепестка ДН в угломестной плоскости для антенной решетки из четырех элементов $2\theta_{05} > 41^\circ$. На рис. 4.b не превышает 38° , что соответствует заданным техническим требованиям, поэтому далее будет рассматриваться только пятиэлементная антенная решетка. Верхний ряд излучателей в пятиэлементной антенной решетке возбуждается по полю, что увеличивает апертуру МПА и сужает главный лепесток ДН в угломестной плоскости.

Для формирования требуемого амплитудно-фазового распределения на апертуре пятиэлементной антенной решетки была применена схема деления мощности на мостах Уилкинсона [3], представленная на рис. 5. Выходы и входы делителя на рис. 5. обозначены p1 – p2. На рис. 5 часть 1 делителя формирует требуемое амплитудное распределение, а часть 2 – фазовое распределение. Платы делителя мощности и МПА соединены между собой коаксиальными переходами с входным сопротивлением $R_{вх}=44,4$ Ом, что соответствует входному сопротивлению двух соединенных параллельно микрополосковых излучателей. Делитель мощности экранирован от антенны металлическим корпусом толщиной 58 мм.

Делитель мощности экранирован от антенны металлическим корпусом толщиной 58 мм.

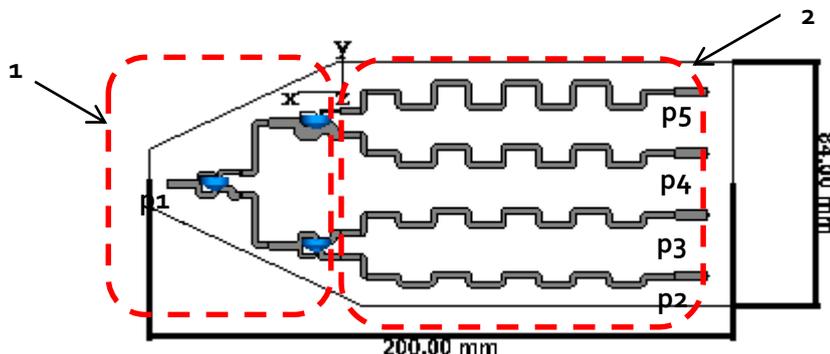


Рис. 5. Схема деления мощности на мостах Уилкинсона

На рис. 6 показаны S-параметры делителя мощности. Разница между S51 и S41 составляет 6дБ, что соответствует данным табл. 1.

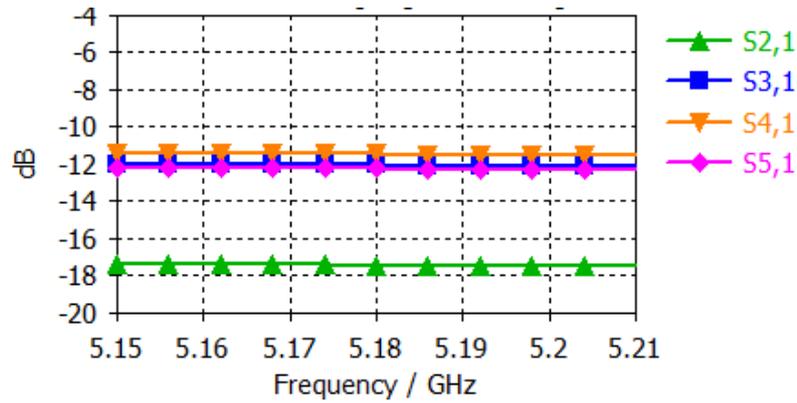


Рис. 6. S-параметры делителя мощности

На рис. 7.a – КСВ делителя мощности, помещенного в металлический корпус и подключенного к МПА не превышает 1.6 в полосе частот 5,15 – 5,21 ГГц. На рис. 7.b – КСВ делителя мощности без учета металлического корпуса не превышает 1.2.

На рис. 8.a представлена зависимость ширины главного лепестка ДН в угломестной плоскости от частоты. На рис. 8.b показана зависимость УБЛ от частоты. Результат на рис. 8.b отличается от результата 2.b менее чем на 1 дБ.

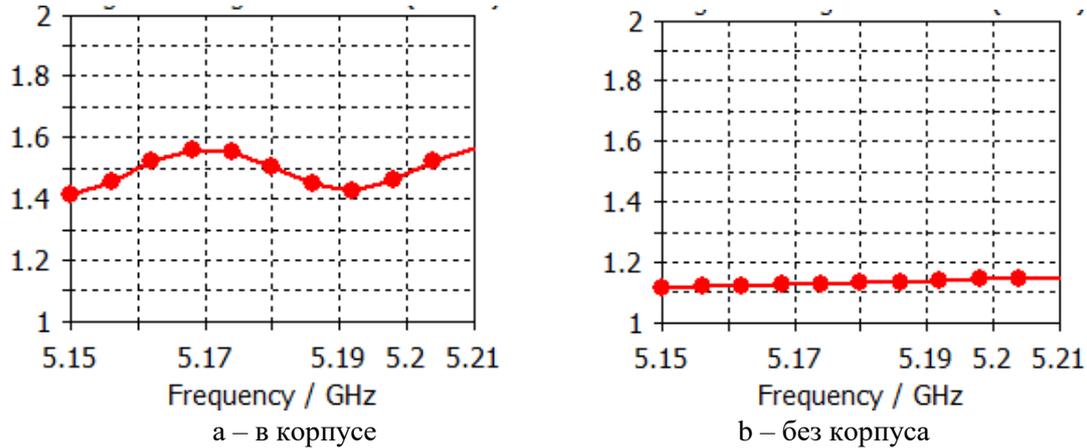


Рис. 7. КСВ от частоты делителя мощности

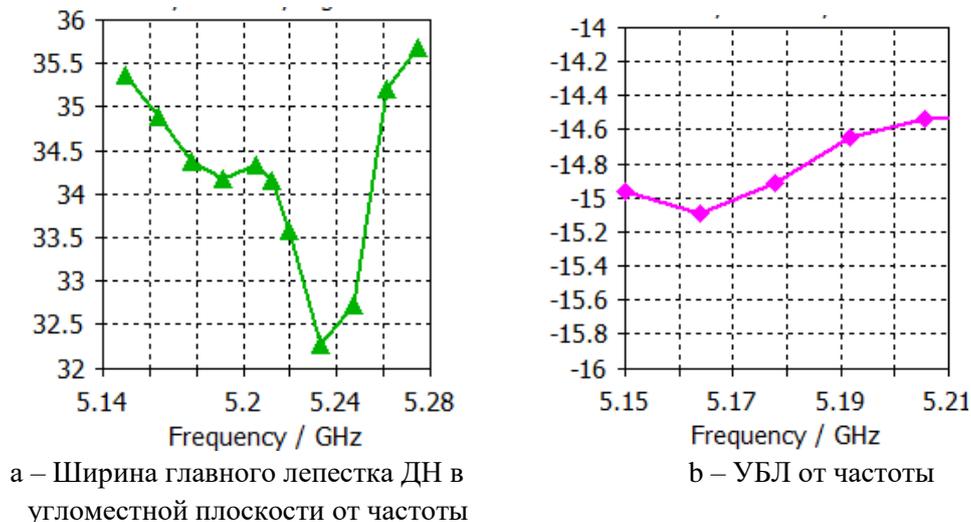


Рис. 8. Электродинамические характеристики антенного устройства с отклоненным по углу места главным лепестком ДН

Результаты и выводы

Численно спроектирована пятиэлементная микрополосковая антенная решетка с диаграмма-образующей схемой на основе мостов Уилкинсона. Применен делитель мощности с четырьмя выходами. Амплитудное распределение, формируемое делителем мощности, было найдено с использованием эволюционной стратегии. Полученное амплитудное распределение не симметрично относительно центра раскрытия антенной решетки. Верхний ряд излучателей в пятиэлементной антенной решетке возбуждается по полю, что увеличивает апертуру МПА и сужает главный лепесток ДН в угломестной плоскости. Ширина главного лепестка ДН в угломестной плоскости не превышает 36° , УБЛ не более чем 14,5 дБ. Усиление полученного устройства составляет 13 – 14 дБ в полосе частот 5,15 – 5,21 ГГц. КСВ с учетом металлического корпуса не превышает 1,6. Металлический корпус оказывает существенное влияние на КСВ, что необходимо учитывать при проектировании антенных устройств в рамках обозначенной проблемы. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании компактных антенных устройств, взаимодействующих с БЛА.

Список использованных источников

1. Time-domain methods for microwave structures: analysis and design. TDM for microwave structures / eds. T. Itoh, B. Houshmand. – London: Wiley-IEEE Press, 1998. – 538 p.
2. N. Hansen, S. Müller, and P. Koumoutsakos, "Reducing the Time Complexity of the Derandomized Evolution Strategy with Covariance Matrix Adaptation (CMA-ES)," *Evolutionary Computation*, vol. 11, no. 1, pp. 1–18, 2003.
3. E. J. Wilkinson, "An N-way hybrid power dividers", *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. MTT-8, pp. 116-118, 1960.