

УДК 621.396.67

**Ю.П. Михайлюк, доцент, канд. техн. наук,**

**А.А. Савочкин, доцент, канд. техн. наук,**

**А.А. Щекатурин, доцент, канд. техн. наук,**

**В.М. Иськив, старший преподаватель**

*Севастопольский национальный технический университет*

*ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053*

*E-mail: rt@stel.sebastopol.ua*

## **ДВУХДИАПАЗОННАЯ ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ АБОНЕНТСКОГО ТЕРМИНАЛА СЕТИ Wi-Fi**

*Представлены результаты разработки двухдиапазонной фазированной антенной решетки с управляемым положением максимума диаграммы направленности для абонентского терминала сетей Wi-Fi. Выбор положения максимума диаграммы направленности производится по результатам анализа напряженности поля, создаваемого точкой доступа.*

В настоящее время широкое распространение получили беспроводные локальные сети стандарта *Wi-Fi*, в которых, как правило, используются ненаправленные антенны [1]. Применение направленных антенн в таких системах позволяет увеличить скорость передачи информации за счет повышения энергетического потенциала линии связи, либо увеличить размер зоны обслуживания точки доступа при сохранении скорости передачи. Кроме того, применение направленных антенн в абонентских терминалах приводит к уменьшению уровня излучения в направлениях, отличающихся от направления на точку доступа, что в целом улучшает электромагнитную обстановку. Поскольку абонентские терминалы являются мобильными, то использование направленных антенн с фиксированным положением максимума диаграммы направленности (ДН) не всегда эффективно.

Целью данной статьи является разработка фазированной антенной решетки (ФАР) с управляемым положением максимума ДН. Выбор положения максимума ДН производится на основе результатов анализа напряженности поля, создаваемого точкой доступа: главный лепесток ДН антенны абонентского терминала должен быть сориентирован в направлении максимума излучения точки доступа для данного взаимного расположения абонентского терминала и точки доступа. Поскольку в сетях *Wi-Fi* в основном используются два частотных диапазона (2,4 ГГц и 5 ГГц) [1], анализируется возможность реализации варианта ФАР, работающей в обоих диапазонах.

Для решения задачи из всего многообразия ФАР самыми простыми являются линейные эквидистантные решетки излучающих элементов с равномерным амплитудным и линейным фазовым распределениями возбуждения элементов, последнее из которых обеспечивается управляемой схемой фазирования [2]. Задачу целесообразно решать путем использования малоэлементных ФАР, поскольку это приводит к упрощению схемы фазирования и процедуры управления положением максимума ДН. Такие решетки реализуются в двух конструктивных вариантах (без экрана и с экраном), второй вариант позволяет увеличить коэффициент усиления ФАР за счет уменьшения уровня побочных излучений.

На начальном этапе работы определены геометрические параметры (число излучающих элементов  $m$ , расстояние между элементами  $d$  и расстояние до экрана  $h$ ) варианта ФАР с экраном, а также параметры схемы фазирования, при которых обеспечивается работа антенны в двухдиапазонном режиме.

Установлено, что приемлемые в рамках поставленной задачи характеристики излучения (ДН и поле в ближней зоне) ФАР обеспечиваются при расстоянии между элементами  $d = 0,024$  м и расстоянии до экрана  $h = 0,015$  м.

Характеристики ФАР с указанными  $d$  и  $h$  при различном числе излучающих элементов исследовались в обоих диапазонах частот.

В качестве примера на рисунках 1, 2 показаны ДН восьмиэлементных ФАР с экраном при различных величинах фазовых сдвигов  $\psi$  между соседними элементами для двух диапазонов. Положения главных максимумов ДН ФАР, рассчитанные для восьмиэлементной ФАР диапазона 5 ГГц, в диапазоне 2,4 ГГц (для четырехэлементной ФАР) обеспечиваются при других значениях фазовых сдвигов между элементами:  $\psi = 0^\circ, 35^\circ, 61^\circ$ . При этом ширины главных лепестков ДН в диапазоне 2,4 ГГц увеличиваются по сравнению с ширинами главных лепестков ДН в диапазоне 5 ГГц.

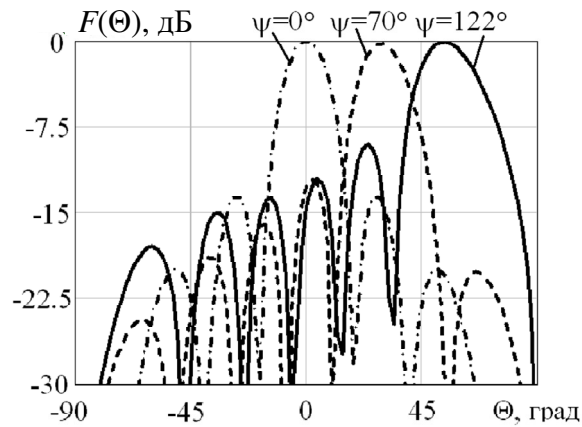


Рисунок 1 — ДН ФАР ( $m = 8$ ,  $d = 0,024$  м,  $h = 0,015$  м) в диапазоне 5 ГГц

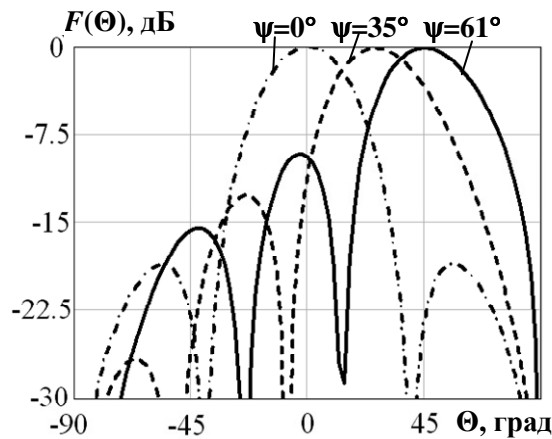


Рисунок 2 — ДН ФАР ( $m = 8$ ,  $d = 0,024$  м,  $h = 0,015$  м) в диапазоне 2,4 ГГц

В результате обработки семейства ДН получены зависимости ширины главного лепестка ДН от его углового положения. Так, например, для решетки с  $m = 8$ ,  $d = 0,024$  м,  $h = 0,015$  м (рисунок 3) при изменении угла отклонения главного лепестка от  $0^\circ$  до  $60^\circ$  ширина ДН монотонно увеличивается от  $32^\circ$  до  $35^\circ$  в диапазоне 2,4 ГГц и от  $16^\circ$  до  $23^\circ$  в диапазоне 5 ГГц. Аналогичная зависимость ширины ДН от углового положения максимума ДН обеспечивается и при меньшем числе элементов ( $m = 4$ ) для диапазона 2,4 ГГц.

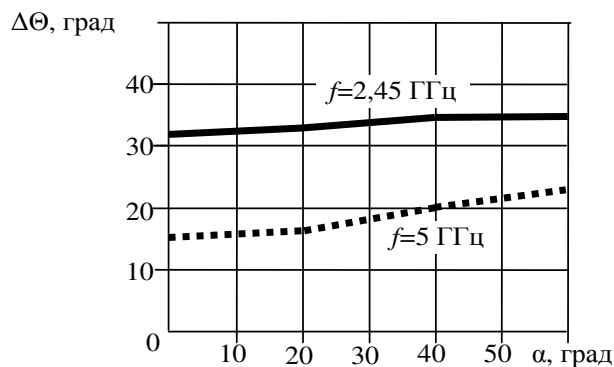


Рисунок 3 — Зависимости ширины главного лепестка ДН ФАР ( $m = 8$ ,  $d = 0,024$  м,  $h = 0,015$  м) от величины смещения максимума излучения

Поскольку ДН, рассчитанные для дальней зоны антенны, не дают полного представления о структуре поля, исследовалось ближнее поле ФАР в обоих диапазонах. Показанное на рисунках 4, 5 распределение для ближнего поля ФАР в области с размерами  $X = 2$  м и  $Y = 2$  м ( $X$  и  $Y$  — пространственные координаты в горизонтальной плоскости) позволяет сделать вывод о возможности формирования направленного

излучения в ближней зоне антенны (на рисунках 4, 5, 6 использован относительный отсчет уровня поля в дБ).

Для примера, показанного на рисунке 5, максимум излучения обеспечивается под углом  $30^\circ$  от нормали к линии расположения элементов. Сопоставление результатов расчета ближнего поля ФАР для обоих частотных диапазонов позволяет сделать вывод о том, что направленность для частоты 5 ГГц более высокая. Однако при значительных угловых смещениях величины ширины главного лепестка для обоих диапазонов сближаются, что может оказаться важным при использовании антенны в системе связи с изменяемым расположением точек доступа.

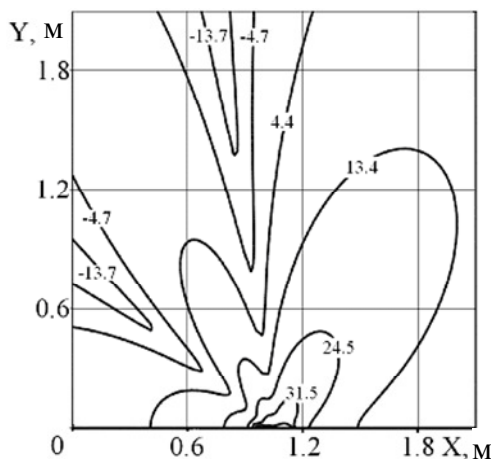


Рисунок 4 — Ближнее поле ФАР ( $m = 8$ ,  $d = 0,024$  м,  $h = 0,015$  м) на частоте 2,4 ГГц при  $\psi = 70^\circ$

На втором этапе работы исследовались характеристики излучения двухдиапазонной антенны. В диапазоне 5 ГГц использовались все восемь элементов ФАР, а в диапазоне 2,4 ГГц — только четыре элемента.

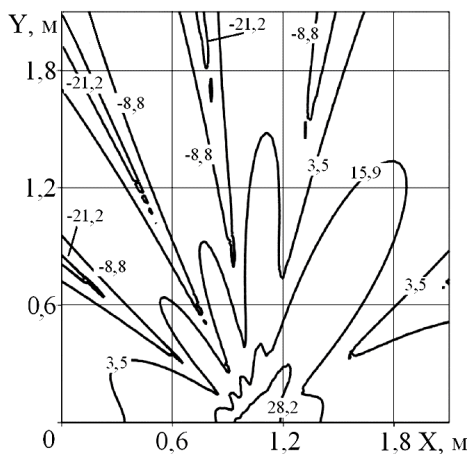


Рисунок 5 — Ближнее поле ФАР ( $m = 8$ ,  $d = 0,024$  м,  $h = 0,015$  м) на частоте 5 ГГц при  $\psi = 70^\circ$

В результате обработки семейства ДН этого варианта ФАР получены зависимости ширины главного лепестка ДН от его углового положения, которые также имеют в обоих диапазонах монотонно нарастающий характер, аналогичный первому варианту ФАР.

На рисунке 6 показано ближнее поле ФАР диапазона 2,4 ГГц, сформированное четырьмя элементами восьмиэлементной ФАР. Для приведенного примера максимум излучения обеспечивается также под углом  $30^\circ$  от нормали к линии расположения элементов.

Сравнительный анализ результатов расчетов для обоих диапазонов показал, что направленность этого варианта ФАР в диапазоне 5 ГГц более высокая, как и для первого варианта антенны при  $m = 8$ .

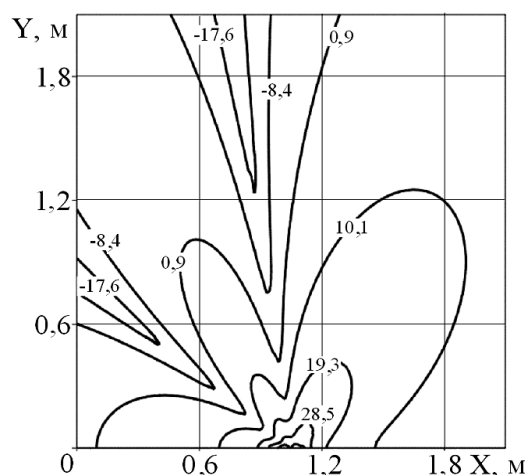


Рисунок 6 — Ближнее поле ФАР ( $m = 4$ ,  $d = 0,048$  м,  $h = 0,015$  м) в диапазоне 2,4 ГГц при  $\psi = 70^\circ$

В ходе выполнения исследований разработан и изготовлен макет четырехэлементной ФАР диапазона частот 2,4 ГГц. В качестве элементов ФАР использовались малогабаритные керамические излучатели типа WE-MCA производства Würth Elektronik [3].

Схема питания ФАР выполнена с использованием восьмиразрядных фазовращателей фирмы MACOM [4]. Для управления антенной был разработан специализированный контроллер на базе микроконтроллера типа AT89S8252.

Проводилось экспериментальное исследование характеристик излучения (ДН и коэффициента усиления (КУ)) двух вариантов антенны: без экрана и с экраном, расположенном на расстоянии  $0,25\lambda$  от полотна антенны, где  $\lambda = 0,12$  м — длина волны.

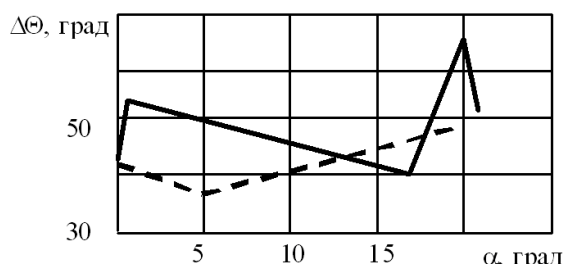


Рисунок 7 — Экспериментальные зависимости ширины главного лепестка ДН ФАР от величины смещения максимума излучения (сплошная — без экрана, штриховая — с экраном)

На рисунке 7 показаны зависимости ширины главного лепестка ДН  $\Delta\theta$  от угла смещения максимума  $\alpha$ , построенные по измеренным ДН.

Общая тенденция этих зависимостей сохраняется для обоих вариантов антенны: при увеличении угла отклонения ширина ДН возрастает. Диапазон изменений ширины ДН в случае антенны с экраном существенно меньший, что делает этот вариант предпочтительным для использования. Измерения КУ макета ФАР показали, что КУ антенны с экраном увеличивается примерно на 1 дБ по отношению к альтернативному варианту.

Результаты теоретического и экспериментального исследований рассмотренных

вариантов ФАР подтверждают возможность разработки адаптивных малоэлементных антенных решеток для использования в сетях Wi-Fi.

Задачей дальнейшего исследования в данном направлении является разработка малоэлементных антенных решеток для сетей Wi-Fi с большим числом элементов и управляемым амплитудным распределением.

#### Библиографический список

1. Nepa P. Numerical and Experimental Investigation of a Multiband PIFA for Laptop // P. Nepa, G. Manara, A.A. Serra/ Microwave and optical technology letters. — 2005. — Vol. 46. — No. 5. — P. 454 — 458.
2. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства / А.З. Фрадин. — М.: Связь, 1977. — 440 с.
3. Multilayer Chip Antenna WE-MCA // Würth Elektronik GmbH & Co. — Режим доступа: <http://we-online.de/website/emc/eisos/layout/frameset.php?sector=4&selmenu=1&catid=9&lan=1>. — Monday, 10 March 2008 16:08:05.
4. 6-Bit Phase Shifter // M/A-COM Inc. — Режим доступа: <http://www.macom.com/DataSheets/MAPCGM0003.pdf>. — Monday, 10 March 2008 18:08:06.

Поступила в редакцию 14.04.2008 г.