

УДК 621.396.677.3

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ  
ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ 2300–2400 МГц ДЛЯ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ****А.В. КАРАСЬ, канд. техн. наук, доц. В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ  
(Полоцкий государственный университет, Новополоцк)**

*Представлены дизайн и моделирование прямоугольной микрополосковой антенной решетки на частоте 2300–2400 МГц. На основании стандарта LTE 4G разработана антенная решетка для беспроводной связи, обеспечивающая усиление 14,06 дБм. Моделирование проведено в программном пакете Antenna Magus. Разработана конструкция микрополосковой антенной решетки с улучшенным коэффициентом передач в диапазоне 2300–2400 МГц. Представлены результаты расчетов входного сопротивления антенной решетки в указанном диапазоне частот.*

**Ключевые слова:** микрополосковые антенны, мобильная связь, сотовая сеть.

**Введение.** Современные требования к характеристикам высоконадежных антенн (уменьшения стоимости, веса, размера) ставят новые задачи в области беспроводной связи. Актуальность исследования вызвана необходимостью проектирования компактных антенн с оптимальными характеристиками в диапазоне частот 2300–2400 МГц для систем телекоммуникаций. Повышение функциональности изделий электроники способствует их миниатюризации, что накладывает соответствующие требования на аналогичные уменьшения размеров антенн. Кроме того, конструкции миниатюрных антенн также важны для фиксированных беспроводных устройств. Микрополосковые антенны находят широкое применение от систем связи до спутниковых и биомедицинских устройств.

Последним из внедренных стандартов беспроводной связи в настоящее время является стандарт LTE. Он основан на GSM/EDGE и UMTS/HSPA сетевых технологиях, которые относятся к четвертому поколению сотовой связи (4G) и предоставляют передачу данных со скоростью до 300 Мбит/с. Благодаря 4G мы уже можем пользоваться YouTube и смотреть ролики в HD качестве. В идеальных условиях скорость сетей LTE сравнима с проводным подключением. В скором времени должно выйти и улучшение стандарта LTE – это LTE Advanced со скоростью 300 Мбит/с. К примеру, 1,5 Гбайта данных будут скачиваться пользователями за минуту. Основное преимущество новейших поколений сотовой связи – повышение скорости передачи данных в условиях перегруженных диапазонов радиочастот. В этом частотном спектре работают не только сотовые операторы, но и ТВ-компании, провайдеры спутниковой связи, а также около десятка разных телекоммуникационных компаний. LTE дает возможность более эффективно использовать радиодиапазон и предоставляет доступ к современным сервисам большему числу пользователей одновременно [1].

В основу стандарта LTE положено использование технологии передачи информации MIMO с применением системы кодирования OFDM. Принцип действия технологии MIMO основан на работе приемных и передающих антенн разного типа, причем расположение этих антенн предусматривает практически полное отсутствие корреляционной зависимости.

Современные сети стандарта 4G в основном работают на частоте 2300 МГц. Частота 2500 МГц не менее востребована, предпочтение ей отдают большинство сотовых операторов Евразии, Японии и Соединенных Штатов Америки. Из-за узкого диапазона (от 5 до 15 МГц) частота 2100 МГц большого распространения не получила. Новые возможности применения стандарта 4G получают операторы сотовой связи при работе в диапазоне частот 2300–2400 МГц, так как его использование не требует приобретения и настройки дорогостоящего оборудования [2].

Цель работы заключается в проектировании и создании микрополосковой антенны в диапазоне частот 2300–2400 МГц, имеющей коэффициент усиления более 13 дБм.

**Описание антенны.** Микрополосковая антенна имеет плоскость заземления на одной стороне диэлектрической подложки, на другой стороне – излучающие элементы. Элемент, как правило, изготовлен из проводящего материала, такого как медь или золото, и может принимать любую возможную форму. Диэлектрическая постоянная подложки ( $\epsilon_r$ ) находится в диапазоне  $2,2 < \epsilon_r < 12$ . Для упрощения анализа и прогнозирования производительности излучающий элемент обычно устанавливается квадратной, прямоугольной, круглой, треугольной, эллиптической или другой распространенной формы. Для создания антенны с большей пропускной способностью, высокой эффективностью и максимальным коэффициентом усиления, она должна быть выполнена на подложке, материал которой имеет наименьшую диэлек-

трическую постоянную и оптимальную толщину. Для повышения коэффициента усиления используется массив излучающих элементов.

В качестве приемной антенны диапазона LTE 2300–2400 МГц выбрана антенная решетка, с улучшенным коэффициентом усиления, представленная на рисунке 1. Компоненты электрического поля на двух краях по ширине находятся в противоположных направлениях и, так как элемент имеет длину  $\lambda / 2$ , уравнивают друг друга в поперечном направлении. Тангенциальные компоненты, которые находятся в фазе, показывают, что полученные поля объединяются, чтобы дать максимальное поле излучения по нормали к поверхности конструкции [3].

Основные требования стандарта LTE 4G к характеристикам антенны диапазона 2300–2400 МГц:

- |                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| – поляризация              | линейная;                     |
| – диаграмма направленности | широкий луч однонаправленный; |
| – усиление                 | 13 дБм;                       |
| – сопротивление            | 50 Ом;                        |
| – пропускная способность   | 5 %.                          |

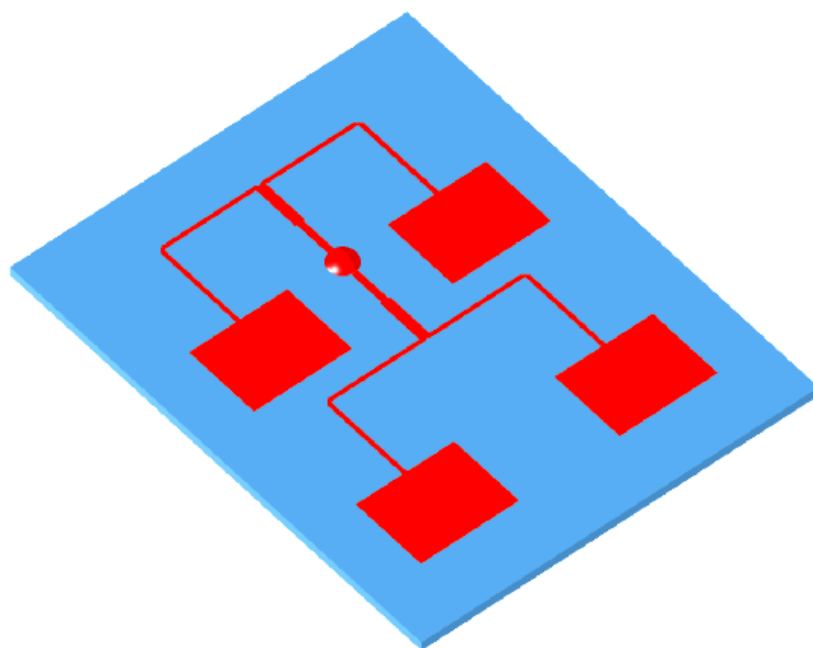


Рисунок 1 – Микрорешетчатая антенная решетка диапазона 2300–2400 МГц

*Способ питания.* Питание одиночных элементов массива микрорешетчатой антенны осуществляется с помощью микрорешетчатой линии, подключенной к краю элемента. Четыре элемента с одним типом поляризации этой антенны питаются от одной точки подачи напряжения. Сгибы микрорешетчатых линий под углом  $90^\circ$ , а также Т-образные перекрестки уменьшают рассогласование из-за отражений в местах их разветвлений. Импеданс можно регулировать с помощью ширины микрорешетчатых линий передачи.

Выбранное устройство 2 по 2 сочетает в себе конструкцию отдельного элемента с питанием по микрорешетчатой линии. Размеры одного резонансного элемента ограничены параметрами подложки. Волновое сопротивление линий передачи диктуется соображениями конструктивного исполнения. Например, для характеристических импедансов значительно выше, чем, скажем, 100 Ом, ширина линий может стать слишком узкой для травления, в зависимости от высоты подложки и относительной диэлектрической проницаемости. И наоборот, если сопротивление входного порта будет выбрано слишком низким, то ширина линии может быть неприемлемо большой. Длина элемента может быть изменена, чтобы сместить резонансы или центральные частоты отдельных элементов. Резонансное сопротивление входа одного элемента может быть уменьшено за счет увеличения ширины пластины. Это приемлемо до тех пор, пока отношение ширины к длине не превышает 2. Для повышения пропускной способности необходимо увеличить высоту подложки и/или уменьшить диэлектрическую проницаемость подложки (это также будет влиять на резонансную частоту и согласование импеданса).

#### **Моделирование антенны в программном пакете Antenna Magus:**

Начальные параметры, которые необходимо задать в программе, предложены в таблице 1.

Таблица 1 – Начальные параметры антенны

Наименование параметра	Значение
Центральная частота	2,35 ГГц
Минимальная частота	2,3 ГГц
Максимальная частота	2,4 ГГц
Входное сопротивление	50 Ом
Толщина материала	1,575 мм
Диэлектрическая проницаемость	2,2

Для проектирования прямоугольной микрополосковой антенны на частоте 2,4 ГГц в основном используется материал подложки Rogers RT duroid 5880 с  $\epsilon_r = 2,2$  [4].

В результате работы программы (моделирование начальных данных) были получены геометрические размеры антенны, представленные на рисунке 2.

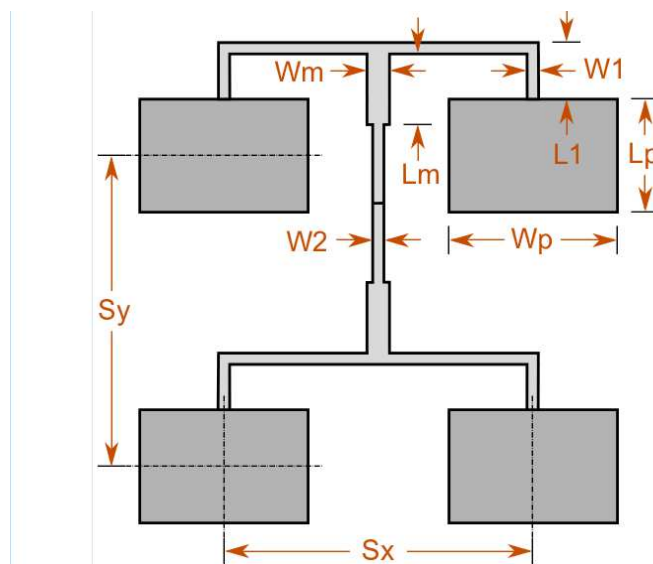
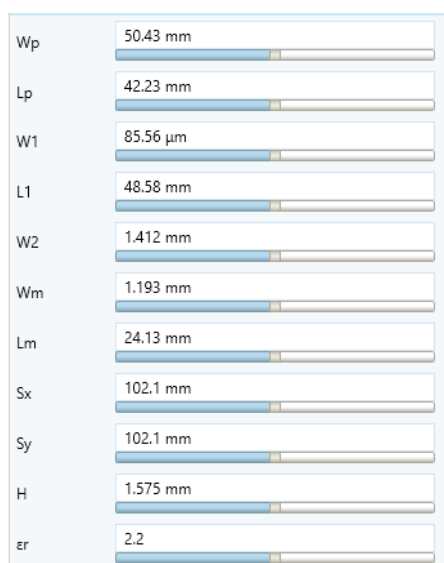
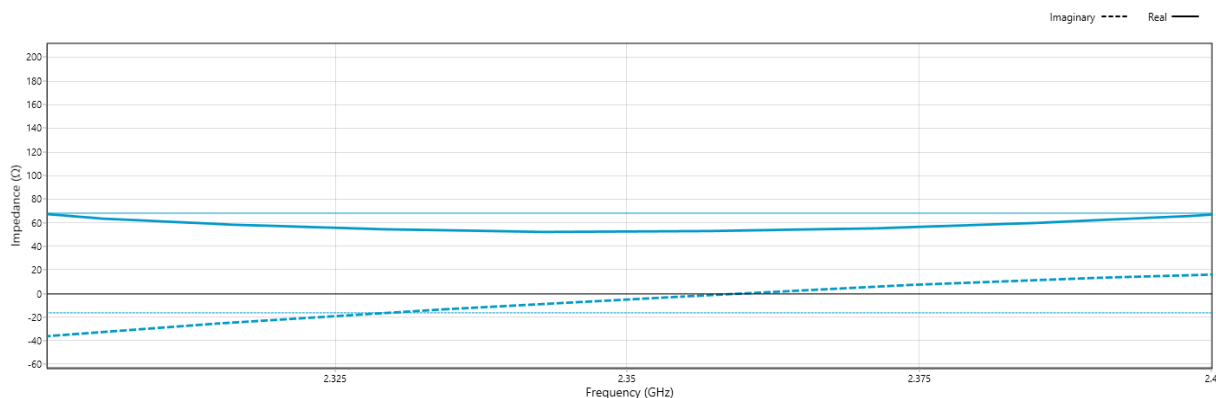


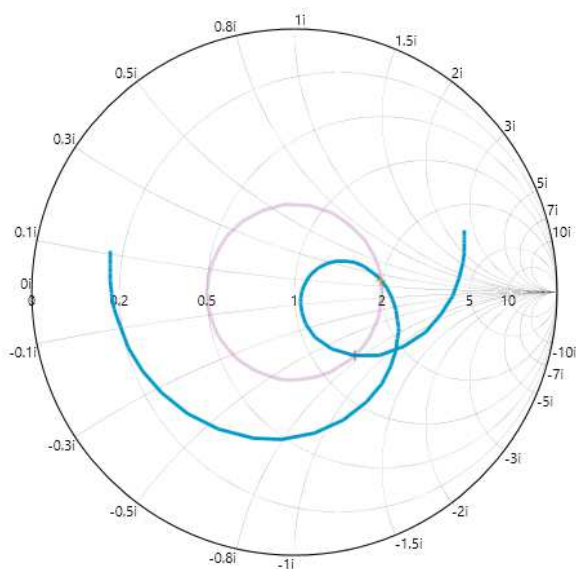
Рисунок 2 – Геометрические размеры промоделированной антенны

Для наилучшего согласования необходимо, чтобы входное сопротивление антенны было равным 50 Ом. Входной импеданс моделируемой антенны представлен на рисунке 3.



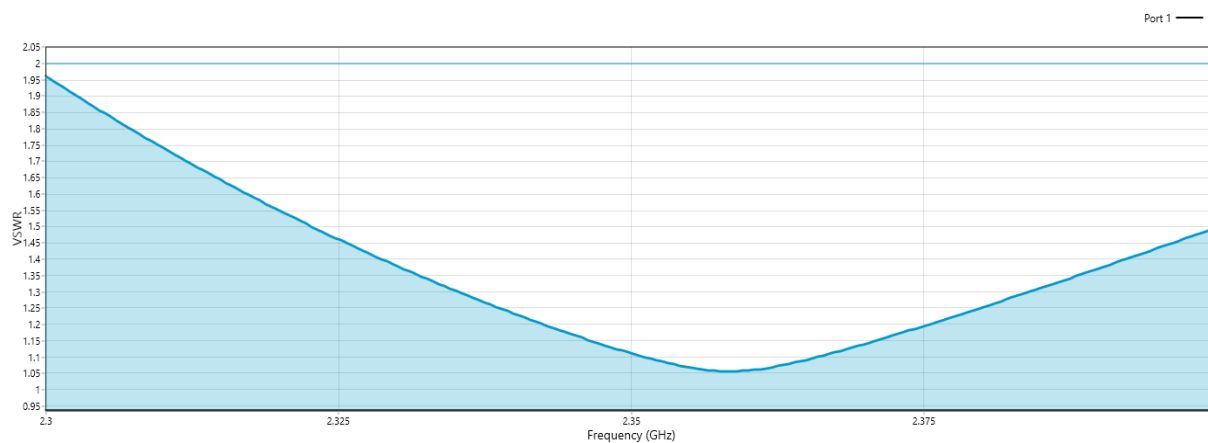
**Рисунок 3 – Зависимость входного сопротивления (активного и реактивного) антенны от частоты**

С помощью диаграммы Вольперта – Смита, представленной на рисунке 4, определено комплексное сопротивление нагрузки линии по значениям коэффициента стоячей волны (КСВ).



**Рисунок 4 – Диаграмма Вольперта – Смита**

По данным входного сопротивления антенны видно (рис. 5), что антенна хорошо согласована с приемным устройством, поэтому коэффициент стоячей волны на необходимой нам частоте также будет соответствовать КСВ антенны.



**Рисунок 5 – Зависимость КСВ от частоты**

На рисунке 7 показана диаграмма направленности антенной решетки. Максимальное усиление при горизонтальном расположении антенны со стороны излучателя составляет 14,06 дБм.

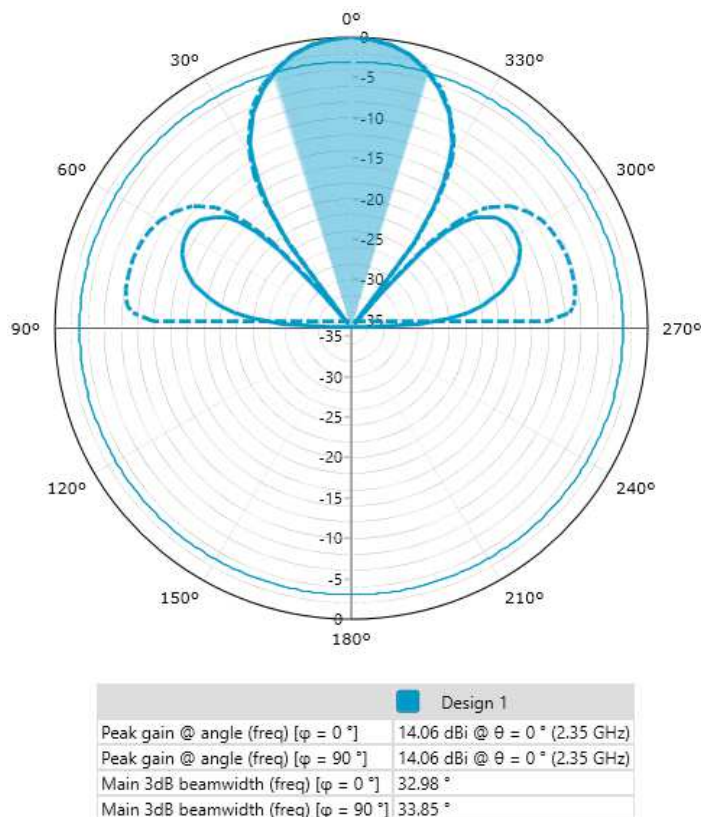


Рисунок 7 – Диаграмма направленности антенной решетки

Расчет диаграммы направленности проведен по следующим формулам:

$$F_b(\theta, \varphi) = (L_x \cdot \cos \varphi + L_y \cdot \sin \varphi) \cdot \cos \theta,$$

где  $L_x$  – вспомогательный параметр, определяемый по формуле

$$L_x = \frac{\cos u \cdot \sin v}{v},$$

$u$  – величина, определяющая угловую зависимость по координате  $b$  ( $b \in (0, 48 \dots 0, 49) \cdot \lambda_\epsilon$ ,  $\lambda_\epsilon$  – длины волны в диэлектрике), вычисляемая по формуле

$$u = \frac{k_0 \cdot b \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi}{2},$$

$v$  – величина, определяющая угловую зависимость по координате  $a$  ( $a \leq \lambda_\epsilon$ ), вычисляемая по формуле

$$v = \frac{k_0 \cdot a \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi}{2},$$

$\theta, \varphi$  – угловые координаты:  $\theta = 0$ ;

$k_0$  – волновое число для свободного пространства

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0},$$

$\lambda_0$  – длина волны для свободного пространства;

$L_y$  – вспомогательный параметр, равный 0.

Диаграмма общего усиления антенной решетки показана на рисунке 8.

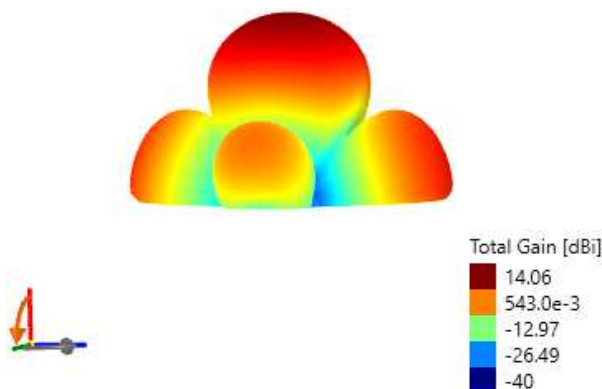


Рисунок 8 – Диаграмма общего усиления

Коэффициент общего усиления антенной решетки рассчитывается по формуле

$$G = G_A + 10 \lg n,$$

где  $G_A$  – коэффициент усиления одного элемента антенной решетки;  
 $n$  – количество элементов антенной решетки.

**Закключение.** Таким образом, была успешно промоделирована антенная решетка диапазона частот LTE 4G 2300–2400 МГц.

Преимущества данной антенны:

- уменьшение рассогласования за счет изгиба микрополосковых линий под углом  $90^\circ$  и наличия Т-образных перекрестков;
- усиление мощности 14,06 дБм получено подбором оптимальных соотношений ширины и длины одного элемента решетки, а также за счет массива излучающих элементов.

Эта модель антенны является экономически эффективной, поскольку обладает наилучшими массогабаритными показателями, с оптимальными излучающими характеристиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарт 4G: операторы и устройства с поддержкой LTE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mediapure.ru/stati/standart-4g-v-rossii-operator-i-ustrojstva-s-podderzhkoj-lte/>. – Дата доступа: 08.03.2016.
2. Стандарт 4G (LTE) – краткое описание поколения мобильной связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://feetch.com/4g-LTE.html>. – Дата доступа: 08.03.2016.
3. Компания ООО «Евроинтех» [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информации Рос. Федерации. – Москва. – Режим доступа: <http://www.eurointech.ru>. – Дата доступа: 08.03.2015.
4. Материалы фирмы Rogers Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.circuitry.ru/files/article\\_pdf/2/article\\_2189\\_565.pdf](http://www.circuitry.ru/files/article_pdf/2/article_2189_565.pdf). – Дата доступа: 08.03.2016.
5. Панченко, Б.А. Микрополосковые антенны / Б.А. Панченко, Е.И. Нефедов. – М. : Радио и связь, 1986.

Поступила 17.03.2016

#### SIMULATION MICROSTRIP ANTENNA FREQUENCY RANGE OF 2300–2400 MHZ FOR TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

A. KARAS, V. YANUSHKEVICH

*The need to reduce the cost, weight, size, highly reliable antenna poses new challenges in the field of antenna design Wireless. This article presents the design and simulation of a rectangular microstrip antenna array at a frequency of 2300-2400 MHz. Described LTE 4G communication standard, which is the working range of the antenna array developed for wireless communication, which provides radiation pattern and the gain reaches 14.06 dBm. Modelling conducted in Antenna Magus software package. Microstrip antenna array with improved gear ratio is the perfect solution for use in this frequency range. Array of design in the range 2300-2400 MHz. The results of the calculations of the input impedance of the antenna array in the specified frequency range. The results can be used in telecommunication systems.*

**Keywords:** microstrip antenna, mobile communication, cellular network.