

УДК 621.396

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПЕЧАТНЫХ АНТЕНН В МАТЛАБ

Пяе Пью Вай, магистрант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** С использованием компьютерной модели в MatLab выполнена оптимизация и получены конструктивные параметры широкополосных печатных антенн для использования в составе радиолокатора с широкополосным непрерывным частотно-модулированным излучением для центральной частоты излучения 5,5 МГц. Показано, что наилучшие результаты получаются при использовании варианта с расположением активного и пассивного излучателей (патчей) в два слоя при длинах излучателей 12,7 мм и 14,5 мм, соответственно при высоте второго слоя диэлектрика 4 мм.

**Ключевые слова.** Компьютерная модель, широкополосность, микрополосковая антенна, оптимизация, импеданс.

### Введение

Разработка широкополосных антенн остается крайне актуальной в современных условиях из-за стремительного развития беспроводных технологий и роста требований к пропускной способности, универсальности и компактности антенных систем.

Внедрение 5G/6G, IoT, Wi-Fi 6/7 требует антенн, работающих в широком диапазоне частот (от сотен МГц до десятков ГГц). Широкополосные антенны позволяют охватить несколько стандартов связи без необходимости использования множества узкополосных антенн. Современные устройства (смартфоны, дроны, носимые гаджеты) требуют миниатюрных антенн, способных заменять несколько узкополосных решений. Специальные типы широкополосных антенны (например, логопериодические, спиральные) обеспечивают работу в разных диапазонах без потери эффективности, но в ряде случаев имеют увеличенные габариты и стоимость. Широкополосные антенны критически важны для современных и будущих телекоммуникационных, радиолокационных и IoT-систем. Их разработка направлена на повышение эффективности, миниатюризацию и адаптацию к новым стандартам связи, что делает эту область одной из ключевых в антенной технике.

В [1] разработана компьютерная модель в *MatLab* для оптимизации параметров микрополосковых широкополосных антенн. Модель основана на использовании объекта (функции, структуры) *pcbobj()* из состава приложения PCB Designer пакета SIGNAL PROCESSING AND .... Компьютерная модель обеспечивает задание исходных данных по конструктивным параметрам МПА, их визуализацию, расчет импеданса в полосе частот, вычисление коэффициента отражения при заданных параметрах согласования, диаграммы направленности, КСВ и т.д. Расчет проводится с использованием встроенных функций MatLab методом моментов (MoM).

Цель статьи – проведение оптимизации параметров широкополосных микрополосковых антенн (МПА) с использованием компьютерного полноволнового электродинамического моделирования.

Рассматривались следующие варианты конструкции широкополосных МПА [ ]:

V1 - использование двух пассивных резонаторов (патчей) в одном слое с активным резонатором (патчем), вблизи излучающих кромок (рисунок 1);

V2 - использование двух пассивных резонаторов в одном слое с активным резонатором, вблизи неизлучающих кромок (рисунок 2);

V3 - использование одного пассивного резонатора во втором слое вместе с активным резонатором (рисунок 3);

V4 - использование двух пассивных резонаторов в два слоя с активным резонатором, вблизи излучающих кромок (рисунок 4);

V5 - использование решетки из четырех пассивных резонаторов в два слоя с активным резонатором (рисунок 5).

Оптимизация проводилась для антенны радиолокатора с непрерывным частотно-модулированным излучением с центральной частотой 5500 МГц. Цель оптимизации – получить полосу рабочих частот до 800 МГц при коэффициенте отражения не выше -10 дБ ( $КСВ < 2$ ). Для исходной МПА полоса составляла 220 МГц.

Варьируемыми параметрами для вариантов являлись: длина  $L_a$  и ширина  $W_a$  активного патча; длина  $L_p$  и ширина  $W_p$  пассивного патча; зазор  $s$  между активным и пассивным патчами; смещение  $\Delta L, \Delta W$  активного и пассивных патчей при их размещении в два слоя; тип и высота  $h_a$  диэлектрика первого слоя; тип и высота  $h_p$  диэлектрика второго слоя; смещения  $\Delta L_f, \Delta W_f$  фидера от центра МПА по длине и ширине.

Для сокращения объема моделирования было принято: тип диэлектрика первого слоя Taconic-35 с диэлектрической проницаемостью 3,5, высота  $h_a=1,5$  мм; тип диэлектрика второго слоя Teflon с диэлектрической проницаемостью 2,1, высота  $h_p=1,5$  мм.

Базовый вариант узкополосной МПА с резонансной частотой 5500 МГц имел следующие конструктивные параметры:  $L_a=13,28$  мм;  $W_a=18$  мм;  $\Delta L_f=5,25$  мм;  $\Delta W_f=0$  мм. Полоса рабочих частот такой МПА составляет всего 180 МГц. Коэффициент усиления антенны 7,1 дБ.

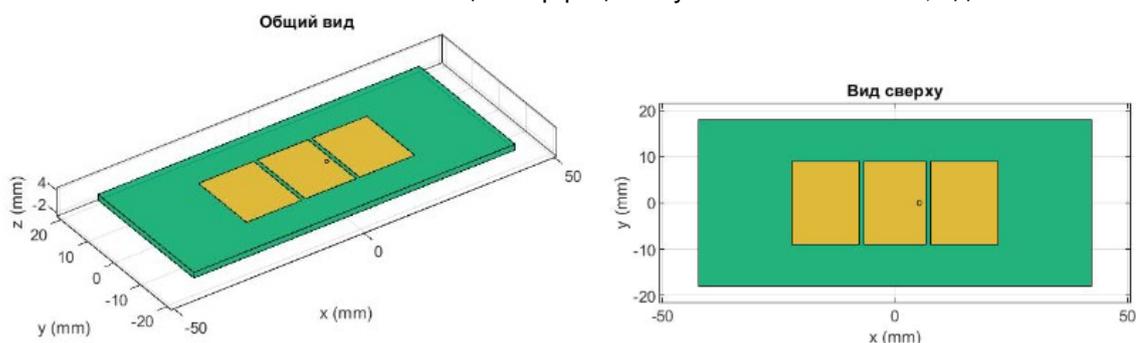


Рисунок 1 – Конструкция МПА с двумя пассивными резонаторами у излучающих кромок

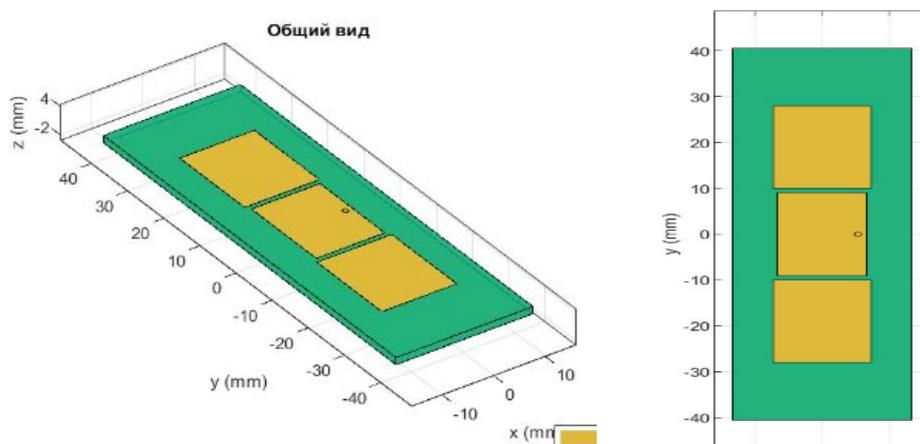


Рисунок 2 – Конструкция МПА с двумя пассивными резонаторами у неизлучающих кромок

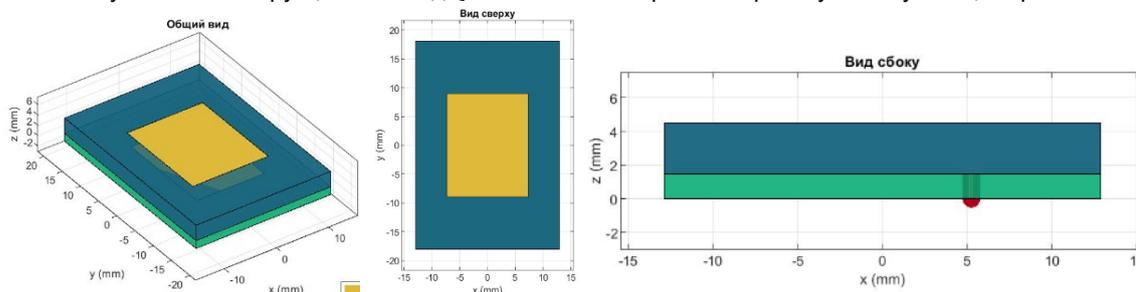


Рисунок 3 – Конструкция МПА с одним пассивным резонатором два слоя у излучающих кромок

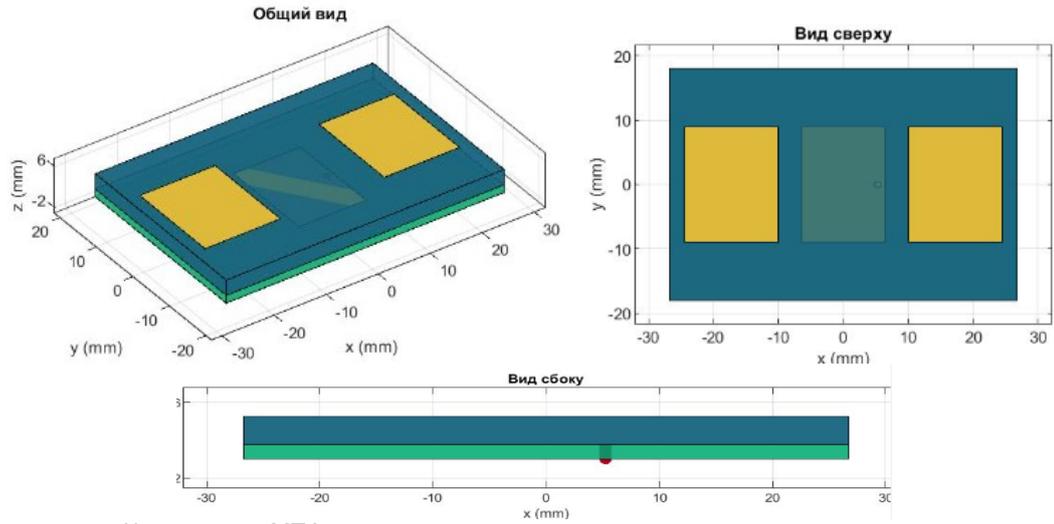


Рисунок 4 – Конструкция МПА с двумя пассивными резонаторами два слоя у излучающих кромок

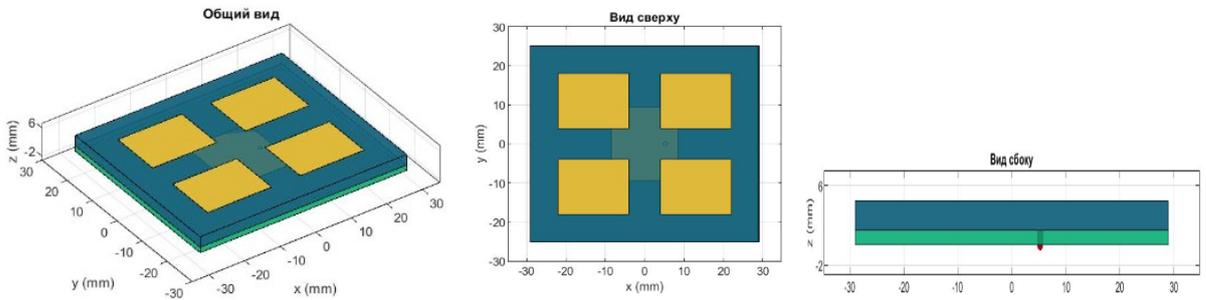
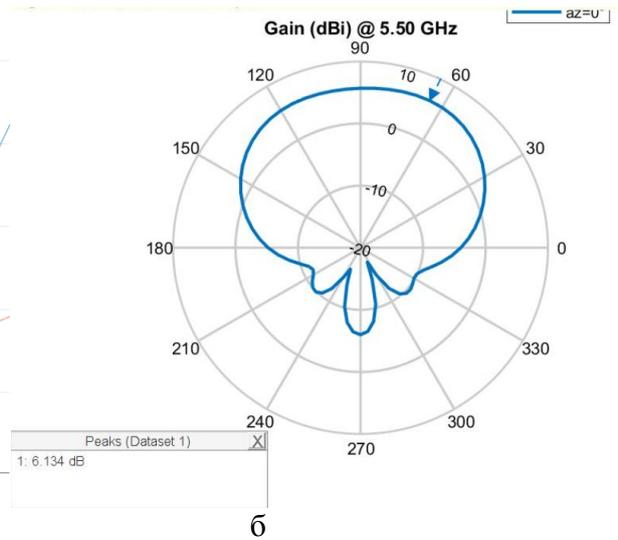
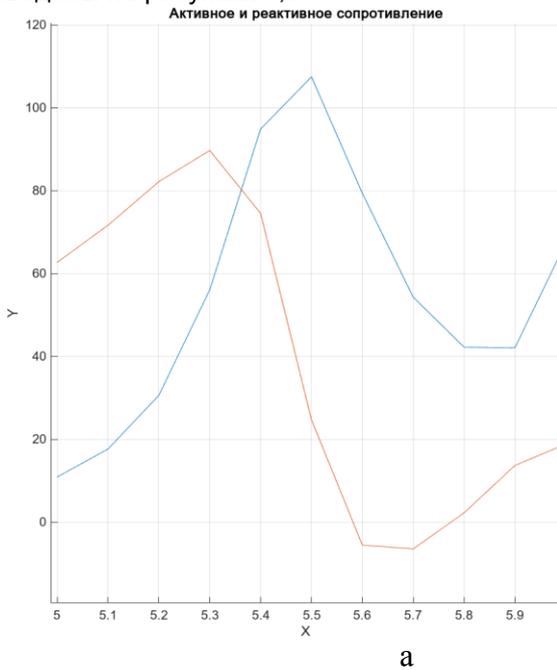


Рисунок 5 – Конструкция МПА с четырьмя пассивными резонаторами в два слоя

### Результаты оптимизации параметров вариантов В1, В2 конструкции широкополосной МПА при размещении пассивных резонаторов на одном слое с активным

Результаты расчета импеданса для варианта В1 конструкции МПА для некоторых параметров приведены на рисунках 6,7



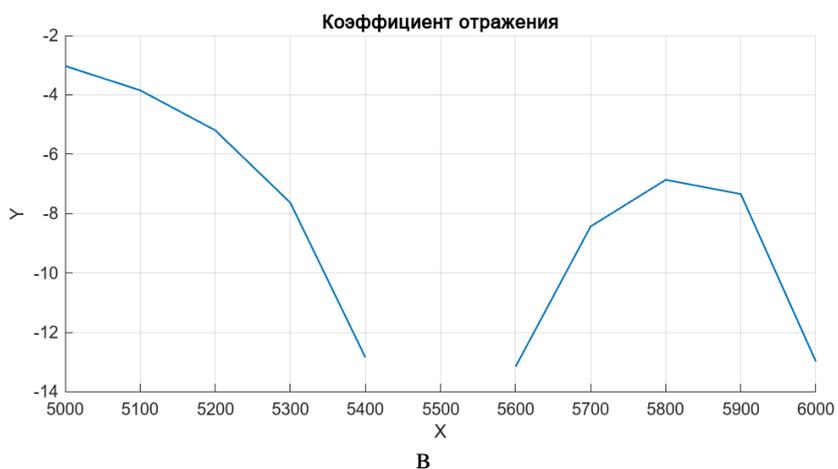


Рисунок 6 – Характеристики МПА по варианту В1 при  $L_a = 13,1$  мм;  $L_p = 12,3$  мм;  $s = 0,8$  мм :

а – импеданс; б – диаграмма направленности; в – модуль коэффициента отражения

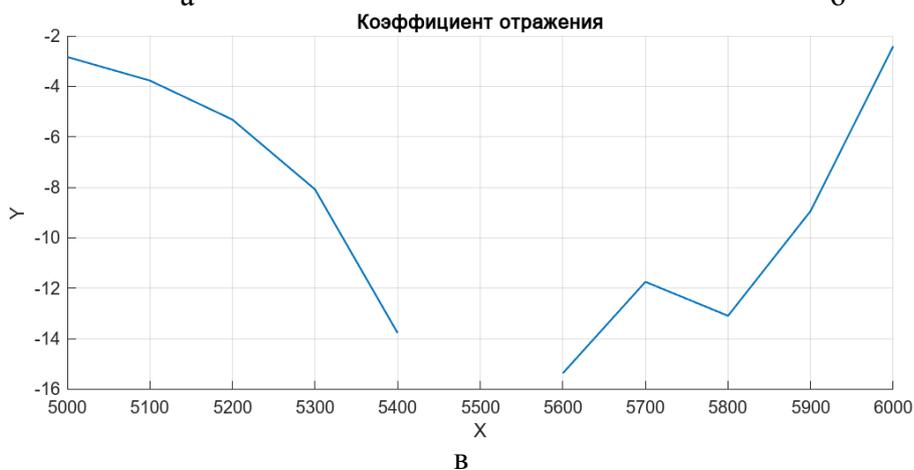
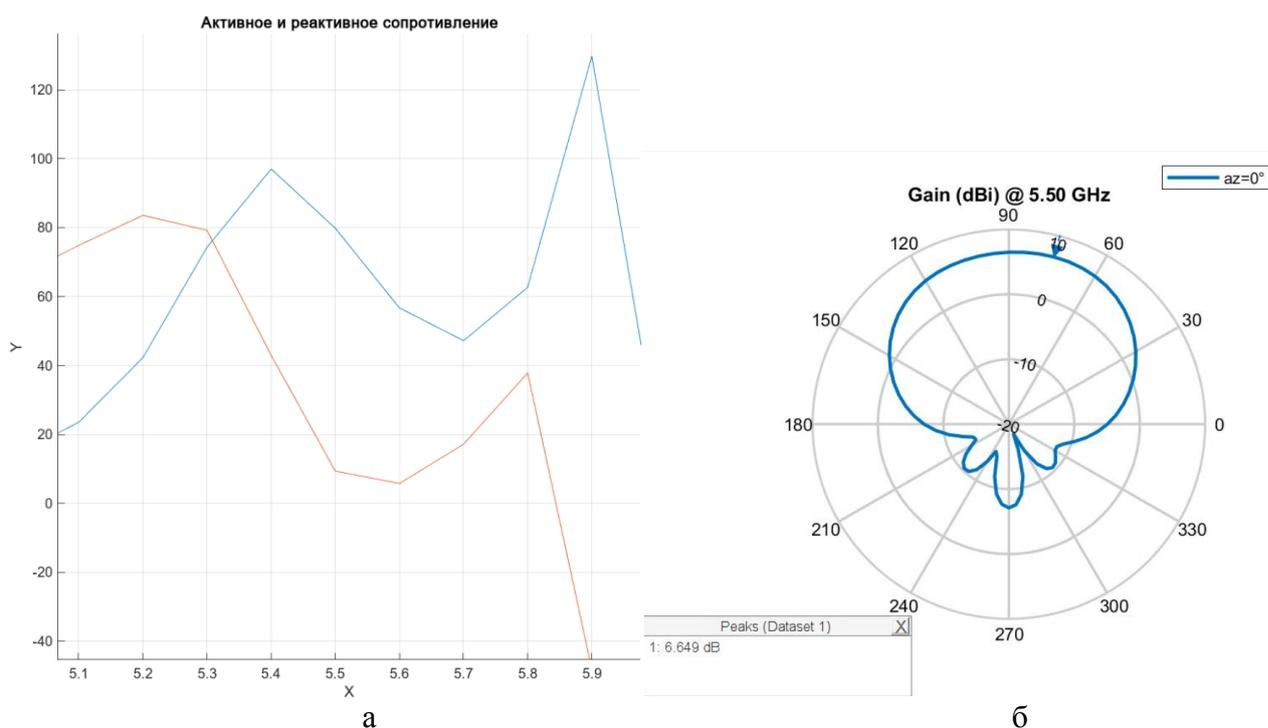


Рисунок 7 – Характеристики МПА по варианту В1 при  $L_a = 13,2$  мм;  $L_p = 12,7$  мм;  $s = 0,6$  мм : а – импеданс; б – диаграмма направленности; в – модуль коэффициента отражения

Конструктивные параметры для оптимального варианта соответствуют рисунку 7. Полоса составила 420 МГц и увеличилась в сравнении с базовым вариантом МПА на 240 МГц. Расширение частоты достигнуто при длине пассивного резонатора на 0,5 мм, меньше, чем длина активного и при небольшом, 0,6 мм, зазоре между активным и пассивным резонатором для обеспечения требуемого коэффициента связи. Очевидно, этот вариант не оптимальный, так как широкополосность не достаточная, а размер антенны получается большим при некотором снижении коэффициента усиления.

Результаты расчета импеданса для варианта В2 конструкции МПА для отдельных параметров приведены на рисунках 8,9.

Полоса для оптимального варианта В2 (рисунок 9) составила 540 МГц и увеличилась в сравнении с базовым на 360 МГц. Коэффициент усиления антенны увеличился на 1,2 дБ.

Этот вариант, как и В1, не оптимальный, так как широкополосность не достаточная.

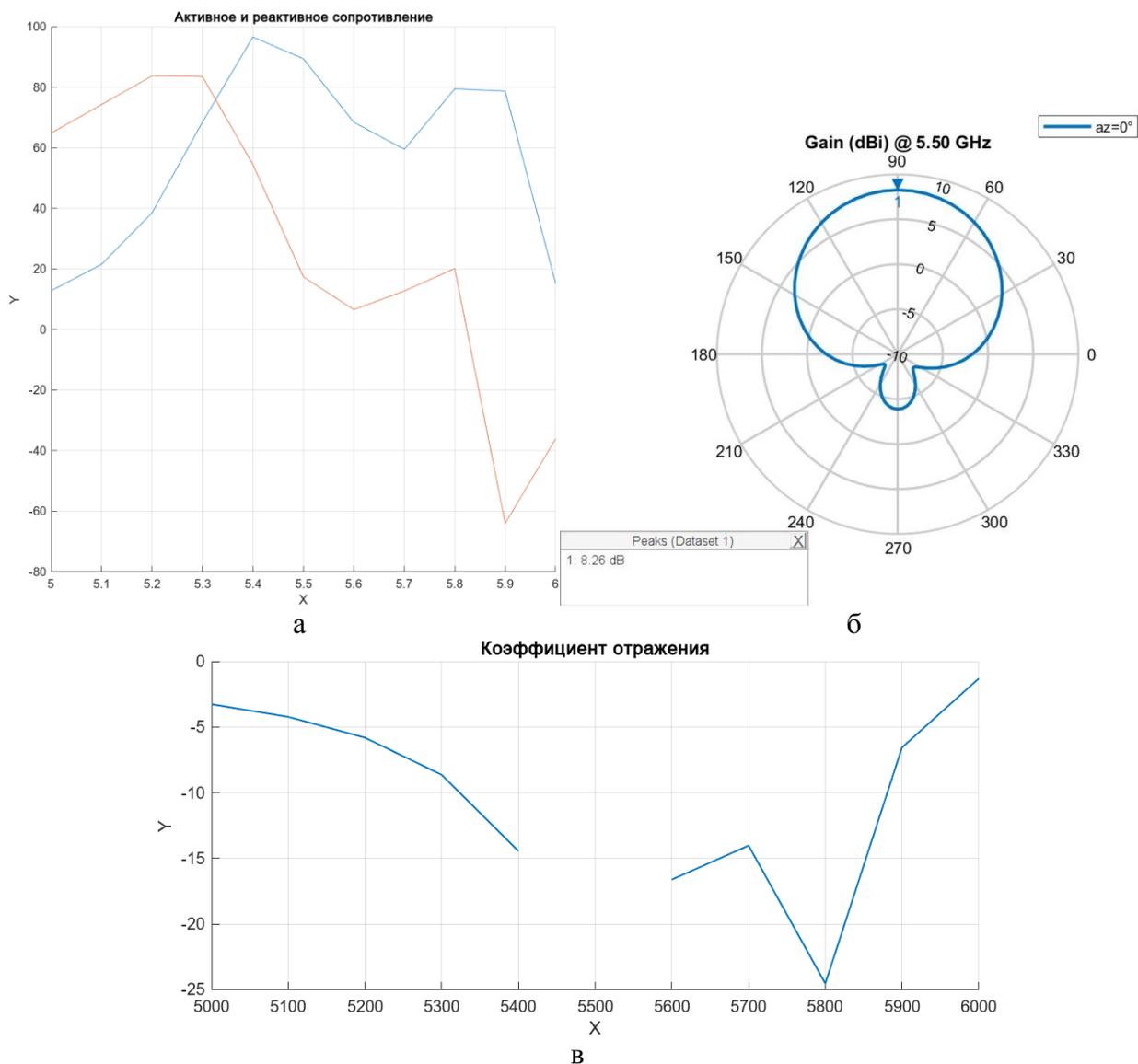


Рисунок 8 – Характеристики МПА по варианту В2 при  $L_a = 13,2$  мм;  $L_p = 12,7$  мм;  $s = 1,0$  мм : а – импеданс; б – диаграмма направленности; в – модуль коэффициента отражения

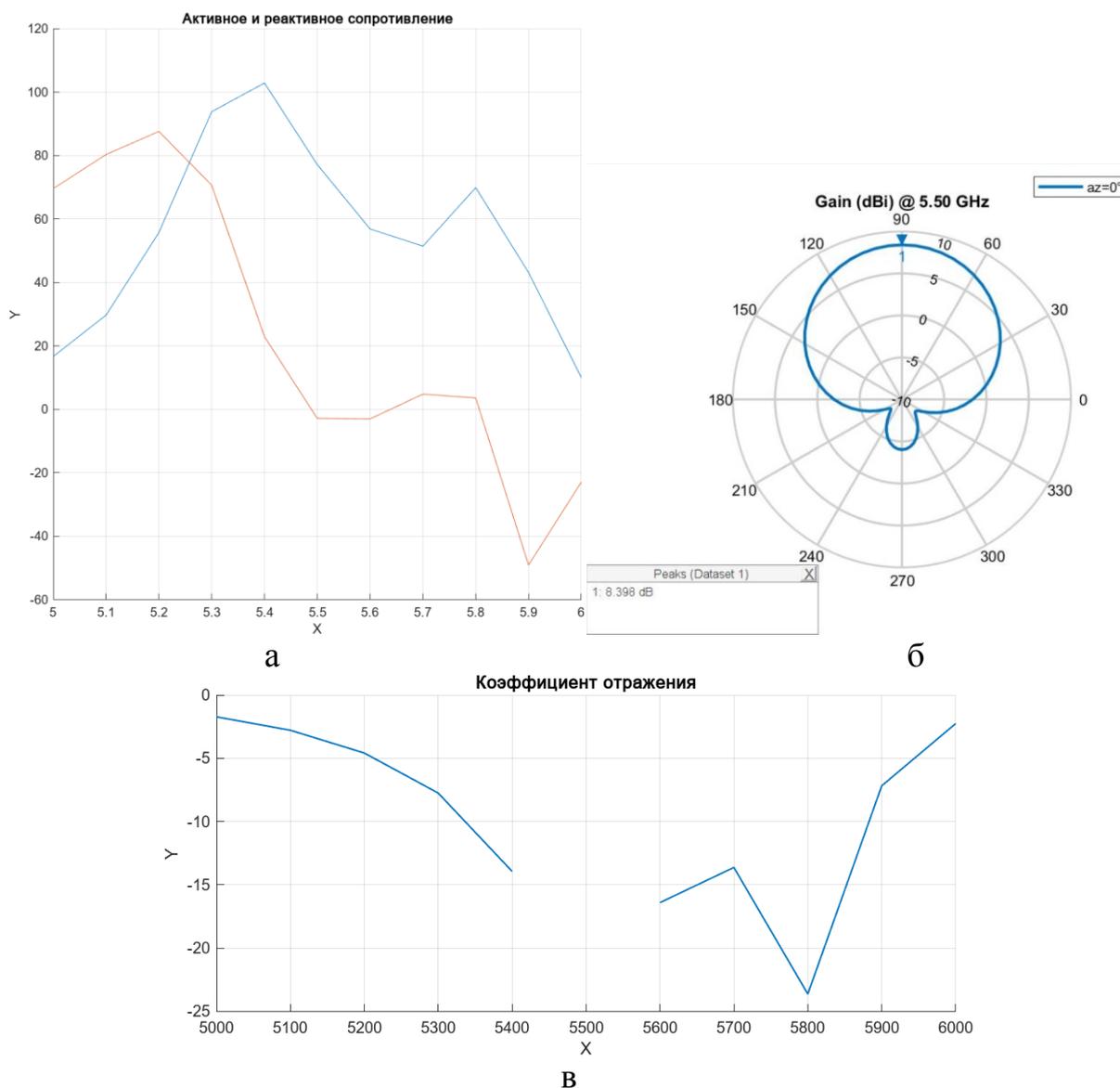


Рисунок 9 – Характеристики МПА по варианту В2 при  $L_a = 13,4$  мм;  $L_p = 12,7$  мм;  $s = 1,0$  мм : а – импеданс; б – диаграмма направленности; в – модуль коэффициента отражения

### Результаты оптимизации параметров варианта В3 конструкции широкополосной МПА при размещении одного пассивного резонатора в два слоя с активным

Результаты моделирования при оптимальных для варианта В3 конструктивных параметрах приведены на рисунке 10. Полоса частот составила 850 МГц. Этот вариант является наиболее компактным (длина и ширина антенны практически не изменились), при увеличении высоты антенны за счет второго слоя диэлектрика. Поэтому этот вариант наилучшим образом подходит для использования в качестве элементов антенных решеток.

Расширение полосы частот достигнуто за счет уменьшения длины активного резонатора (увеличения резонансной частоты) и увеличения длины пассивного резонатора по отношению к активному (уменьшению резонансной частоты). Таким образом, имеем два связанных колебательных контура. Коэффициент связи между колебательными контурами регулируется высотой второго слоя диэлектрика и его диэлектрической проницаемостью. Отметим, что при этом изменяются и резонансные частоты.

Обобщение результатов моделирования для большого набора конструктивных параметров приводит к следующим закономерностям для варианта В3 конструкции МПА:

если длина пассивного резонатора больше, чем активного, в широкополосной МПА будут две близкие резонансные частоты; изменяя указанные резонансные частоты таким образом, чтобы центральная частота находилась между ними, можно и изменять импеданс в диапазоне частот и добиться расширения полосы частот антенны;

увеличение смещения фидера от центра активной пачка приводит к увеличению импеданса, при практически неизменной полосе частот;  
 при увеличении высоты второго слоя диэлектрика резонансные частоты сближаются, и полоса частот увеличивается.

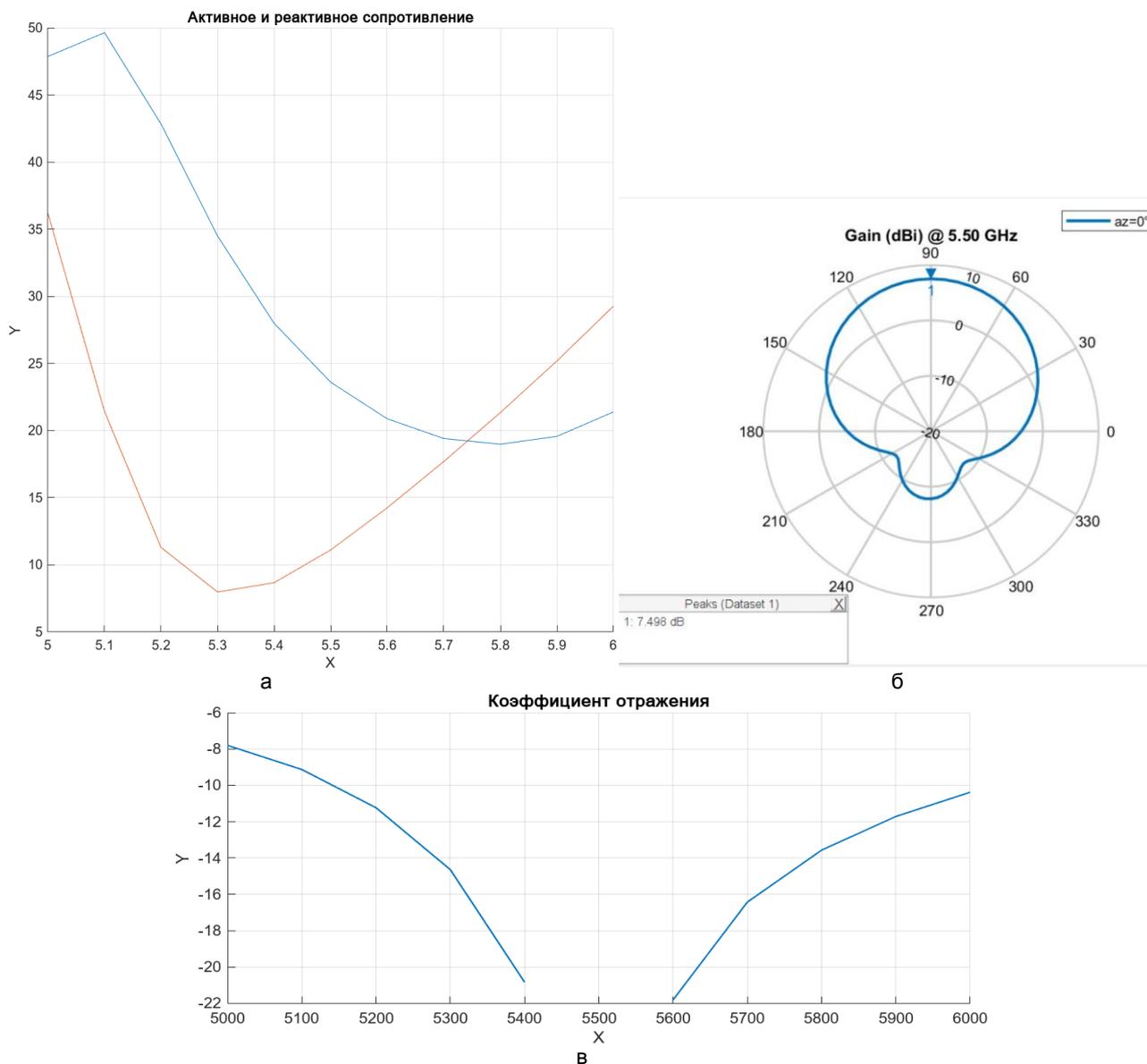


Рисунок 10 - Характеристики МПА по варианту В3 при  $L_a = 12,8$  мм;  $L_p = 14,5$  мм;  $h_a = 1,5$  мм;  $h_p = 4,0$  мм; смещении фидера 5,25 мм: а – импеданс; б – диаграмма направленности; в – модуль коэффициента отражения

Аналогичным образом можно добиться требуемой полосы частот для вариантов В4, В5 конструкции широкополосной МПА при размещении решетки из двух и четырех пассивных резонаторов в два слоя с активным. Эти результаты не приводятся из-за ограниченного объема статьи. Коэффициент связи при этом будет регулироваться не только высотой второго слоя диэлектрика, но смещением пассивных резонаторов от активного по длине и ширине.

#### Список использованных источников

1. Пьяе Пьюо Вай. Моделирование и оптимизация параметров широкополосных печатных антенн в Matlab / Пьяе Пьюо Вай // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2024 : материалы открытой республиканской науч.-практ. интернет-конф. (Респ. Беларусь, Минск, 21–22 нояб. 2024 г.) / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 52-57.
2. Balanis C. A. Antenna theory analysis and design. A John Wiley & Sons, INC. Third edition, 2005. – 1027 p.
3. Типикин А.А. Моделирование антенных устройств в Matlab использованием пакета расширения Antenna Toolbox, 2019. – 116 с.

4. Ramesh Grag. Microstrip antenna design handbook, 2001. – Pp. 1-68.

UDC 621.396

***RESULTS OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF BROADBAND PRINTED ANTENNAS IN MATLAB***

*Pyae Phyoe Wai, Master's student*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

**Annotation.** Using a computer model in MatLab, optimization was performed and design parameters of broadband printed antennas were obtained for use in a radar with broadband continuous frequency-modulated radiation for a central radiation frequency of 5.5 MHz. It was shown that the best results are obtained when using the option with the arrangement of active and passive emitters (patches) in two layers with emitter lengths of 12.7 mm and 14.5 mm, respectively, with a height of the second dielectric layer of 4 mm.

**Keywords.** Computer model, broadband, microstrip antenna, optimization, impedance.