

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПЕЧАТНЫХ АНТЕНН В МАТЛАБ

ПЬАЕ ПЬИО ВАЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Беларусь)

E-mail: Phoew25@gmail.com

Аннотация. Приведена методика использования приложения *PSB Antenna Designer* пакета *MatLab* для оптимизации характеристик широкополосных печатных антенн. Приведены отдельные результаты расчета входного импеданса и других параметров микрополосковых многослойных широкополосных антенн от их конструктивных параметров.

Abstract. The increasing demand for high-performance communication systems necessitates the development of antennas that can operate efficiently across a wide frequency range. The methodology involves creating a mathematical model of broadband printed antennas, taking into account parameters such as substrate material, shape, and feed mechanisms. Through the application of optimization algorithms, specifically genetic algorithms and particle swarm optimization, we explore the impact of various design parameters on the antenna performance metrics including gain, bandwidth, and return loss. The results demonstrate significant improvements in antenna designs, achieving broad bandwidth and enhanced radiation characteristics. This work not only provides insights into the parameters influencing antenna performance but also serves as a practical guideline for antenna engineers seeking to optimize broadband printed antennas for modern applications.

Введение

Разработка широкополосных антенн является одним из важных направлений по реализации перспективных средств и систем радиолокации и радиосвязи с повышенными информационными возможностями и пропускной способностью.

В современных радиоэлектронных средствах широко используются микрополосковые антенны (МПА), которые также называются патч-антеннами или печатными антеннами. Такие антенны технологичны, имеют хорошую повторяемость параметров, высокую механическую прочность, малую массу и габариты (толщину). Согласование таких антенн с передающим или приемным трактом осуществляется за счет выбора точки возбуждения, а также, при необходимости, при использовании согласующих цепей. Однако, полоса частот МПА, как правило, редко превышает 10% при типовом значении 3...5% [1-3]. Это не соответствует современным требованиям.

Для расширения диапазона рабочих частот могут быть использованы многослойные или многорезонаторные МПА [3-5]. Моделирование и оптимизация параметров многослойных МПА может осуществляться с использованием различных САПР электродинамического моделирования, например, CST Microwave Studio, FEKO. Хорошие возможности для моделирования обеспечивает приложение *PSB Antenna Designer* пакета *MatLab*.

Цель статьи – анализ возможностей *PSB Antenna Designer* пакета *MatLab* по моделированию и оптимизации параметров широкополосных антенн на ряде практических примеров.

Варианты конструкции широкополосных многослойных печатных антенн

Идея широкополосных многослойных печатных антенн аналогична идее увеличения полосы частот и коэффициента прямоугольности фильтрующих цепей за счет использования двух и большего числа связанных колебательных контуров с регулировкой коэффициента связи между ними. Имея два колебательных контура с резонансными частотами f_{p1} и f_{p2} с полосами пропускания каждого Δf и регулируя коэффициент $K_{св}$ связи между ними можно увеличить полосу частот фильтрующей цепи (рисунок 1).

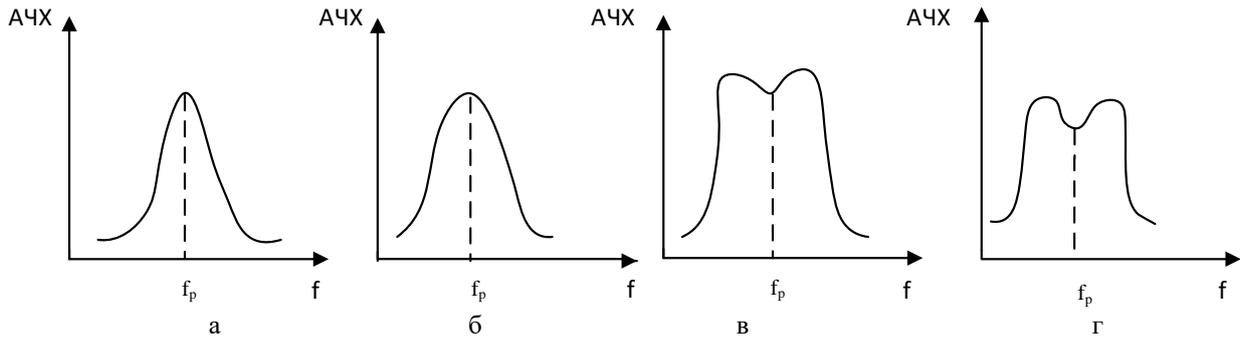


Рис. 1. Резонансные кривые связанных контуров при различных значениях коэффициента связи

При слабой связи (рисунок 1а) резонансная кривая имеет почти такой же вид, как в случае одиночного контура. При увеличении коэффициента связи резонансная кривая расширяется, а крутизна ее скатов увеличивается (рисунок 1б). При сильном увеличении связи резонансная кривая из одnogорбой переходит в двугорбую.

В литературе описаны два варианта конструкции многослойных МПА (рисунки 2 и 3).

Первый вариант (рисунок 2) включает активный резонатор с длиной и шириной L_1, W_1 и пассивный резонатор с длиной и шириной L_2, W_2 . Слой диэлектрика между металлическим основанием и подложкой имеет толщину h_1 и диэлектрическую проницаемость ϵ_1 . Пассивный резонатор помещен над активным через диэлектрический слой с толщиной h_2 и диэлектрической проницаемостью ϵ_2 . Питание активного резонатора осуществляется со стороны металлической подложки через коаксиальный зонд (короткий стержень), который расположен на расстоянии $L_{\text{П}}$ по средней линии активного резонатора от центра. Импеданс такой антенны будет являться функцией всех указанных параметров:

$$Z = F_1(L_1, W_1, h_1, \epsilon_1, L_2, W_2, h_2, \epsilon_2, L_{\text{П}}, f). \quad (1)$$

Достоинством данного варианта является простота конструкции. Недостаток данного варианта заключается в сложности регулировки коэффициента связи между активным и пассивным резонатором. Эта связь при небольшой толщине h_2 , как правило, «сильная», а увеличение толщины h_2 ухудшает конструктивные параметры антенны.

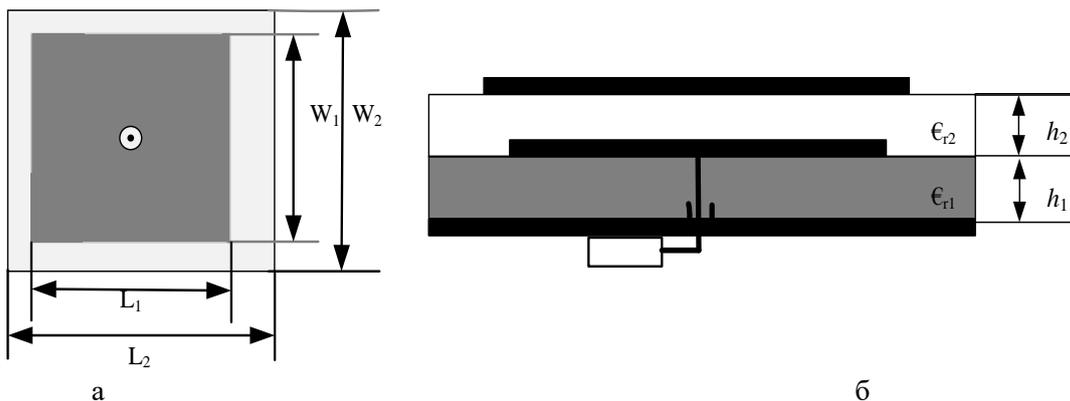


Рис. 2. Конструкция многослойной МПА с одним пассивным резонатором

Во втором варианте пассивный резонатор представляет собой антенную решетку из четырех резонаторов (рисунок 3). Изменяя расстояние между центрами активного и пассивных резонаторов, можно регулировать коэффициент их перекрытия и коэффициент связи.

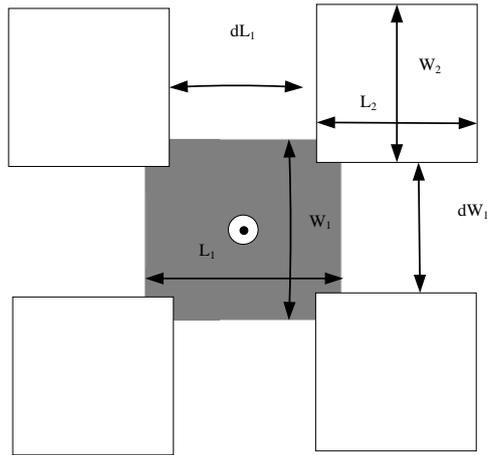


Рис. 3. Конструкция многослойной МПА с четырьмя пассивными резонаторами

Результаты моделирования для варианта многослойной МПА с одним пассивным резонатором

С использованием PSB Antenna Designer задаем параметры исходной однослойной МПА при $L_1 = 13$ мм; $W_1 = 18$ мм; $h_1 = 1,5$ мм; $\epsilon_1 = 3,5$. Для сохранения одинаковых условий с многослойными антеннами дополнительно при моделировании был задан верхний диэлектрический слой из тефлона ($\epsilon_2 = 2,1$) толщиной $h_2 = 1,5$ мм антенны. Геометрия антенны приведена на рисунке 4. Результаты расчетов импеданса и коэффициента отражения $|S_{11}|$ на входе приведены на рисунке 5. Диаграмма направленности антенны приведена на рисунке 6.

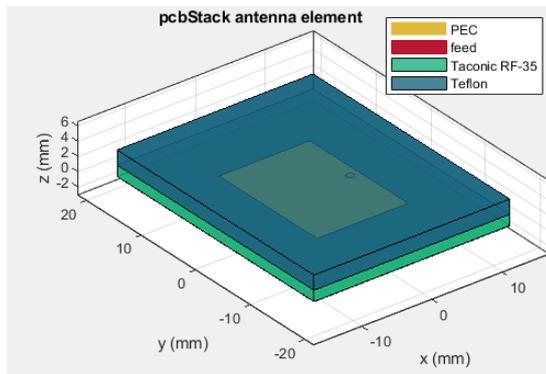


Рис. 4. Геометрия исходной однослойной МПА

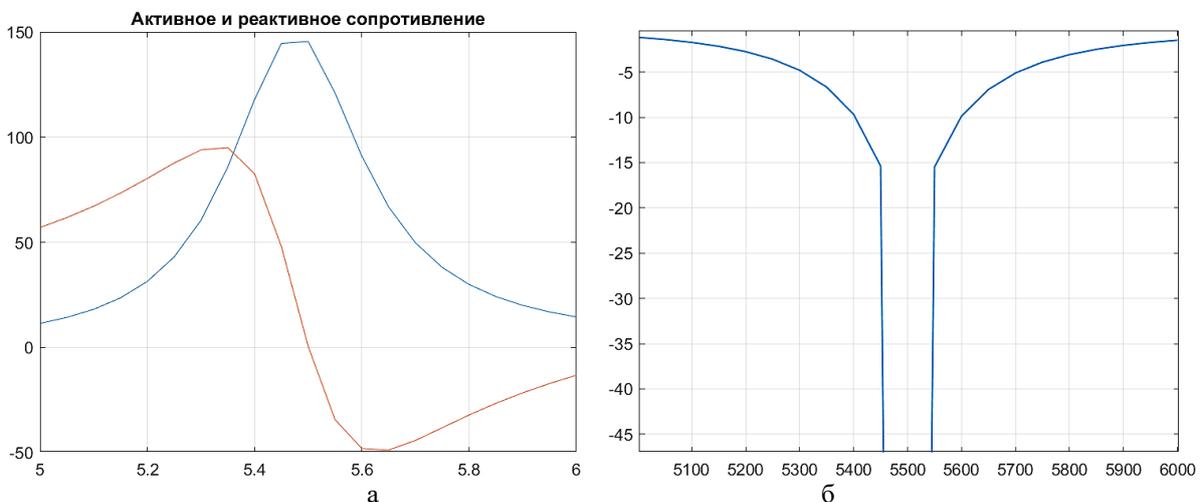


Рис. 5. Активное и реактивное сопротивление исходной однослойной МПА (а) и

Секция 1 «Радиотехника, радиотехнические измерения, техника СВЧ»

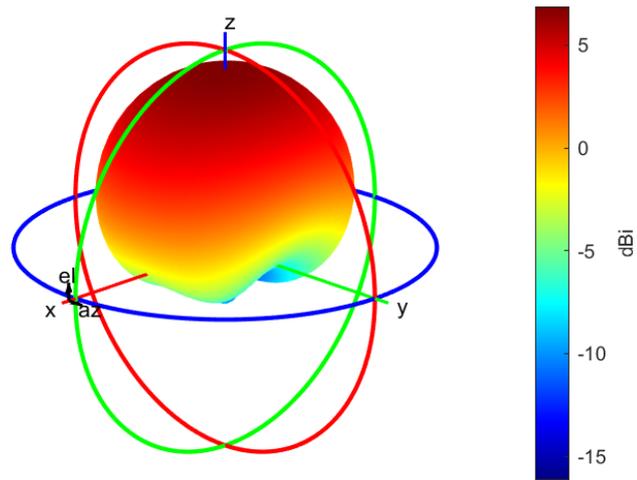
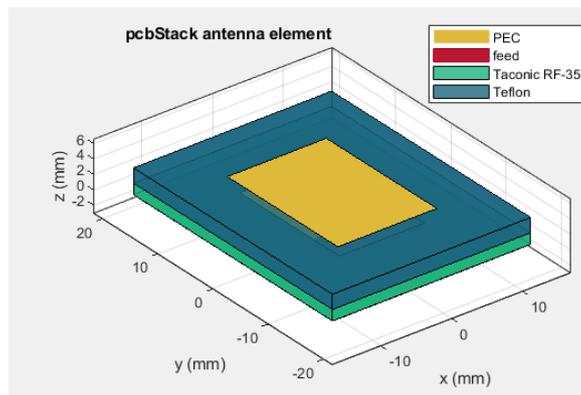


Рис. 6. Диаграмма направленности однослойной МПА

Центральная частота антенны составила 5500 МГц, полоса пропускания по уровню коэффициент отражения -10 дБ составила 200 МГц, что составляет 3,6 % от несущей, коэффициент усиления составил 6,9 дБ.

Добавим в эту антенну пассивный резонатор с $W_2 = W_1 + 2$ мм = 20 мм; $L_2 = 14$ мм и одновременно уменьшим длину активного резонатора до $L_1 = 12$ мм. Таким образом, резонансная частота активного резонатора станет больше, а пассивного резонатора – меньше. Результат моделирования для этого случая приведен на рисунке 7.



а

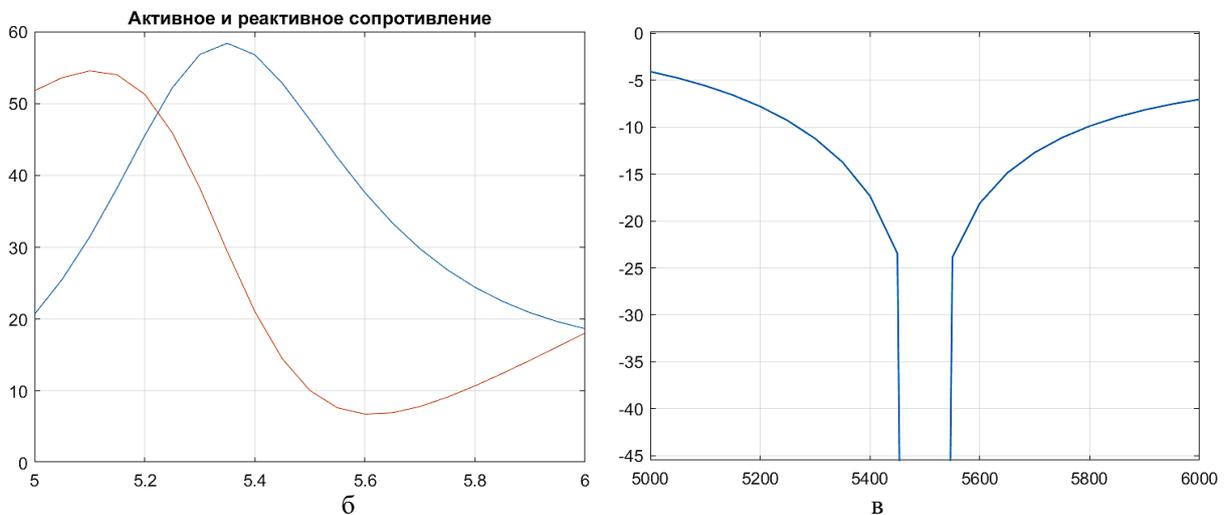


Рис. 7. Результаты моделирования МПА с пассивным резонатором длиной 14 мм: а – геометрия антенны; б – импеданс; в – модуль коэффициента отражения

Из результатов моделирования видно, что полоса рабочих частот существенно расширилась и составила примерно 500 МГц. Минимум реактивного сопротивления антенны находится на частоте 5600 МГц и является достаточно малым по величине (7 Ом).

Для дальнейшего расширения полосы частот увеличим длину пассивного резонатора до 15 мм. Это приведет к уменьшению резонансной частоты пассивного резонатора и сдвинет минимум реактивного сопротивления ближе к центральной частоте 5500 МГц. Результаты моделирования для этого случая приведены на рисунке 7.

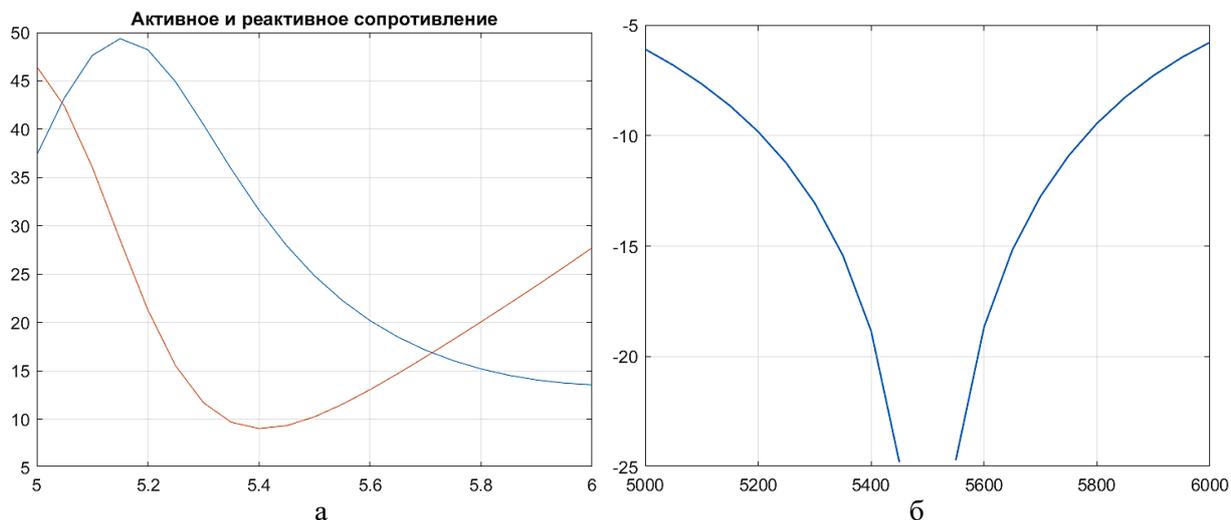


Рис. 8. Результаты моделирования многослойной МПА с пассивным резонатором длиной 15 мм: а – импеданс; б – модуль коэффициента отражения

Полоса рабочих частот составляет 550 МГц, то есть ровно 10% от центральной частоты. Минимум реактивного сопротивления антенны близок к частоте 5400 МГц и практически не изменился по величине. Коэффициент усиления антенны 7,5 дБ.

Из результатов моделирования следует, что близкие к оптимальным параметры пассивного резонатора следующие: длина 14,5...15 мм; ширина 20 мм.

Аналогичная оптимизация может быть выполнена для других значений толщины второго диэлектрического слоя и значения его диэлектрической проницаемости.

Результаты моделирования для варианта многослойной МПА с решеткой пассивных резонаторов

Примем длину и ширину пассивных резонаторов $L_2 = W_2 = 10$ мм, а их вынос относительно центра $\Delta L = 6$ мм; $\Delta W = 9$ мм при параметрах активного резонатора $L_1 = 12$ мм; $W_1 = 18$ мм. Результаты моделирования для этого случая приведены на рисунке 9.

Как видно из результатов расчетов, полоса частот составила 490 МГц. Реактивное сопротивление на центральной частоте близко к нулю. Коэффициент усиления на центральной частоте составил 7,85 дБ. Небольшой прирост коэффициента усиления свидетельствует о том, что связь активного резонатора с пассивными относительно слабая, поэтому апертура пассивных резонаторов используется не полностью.

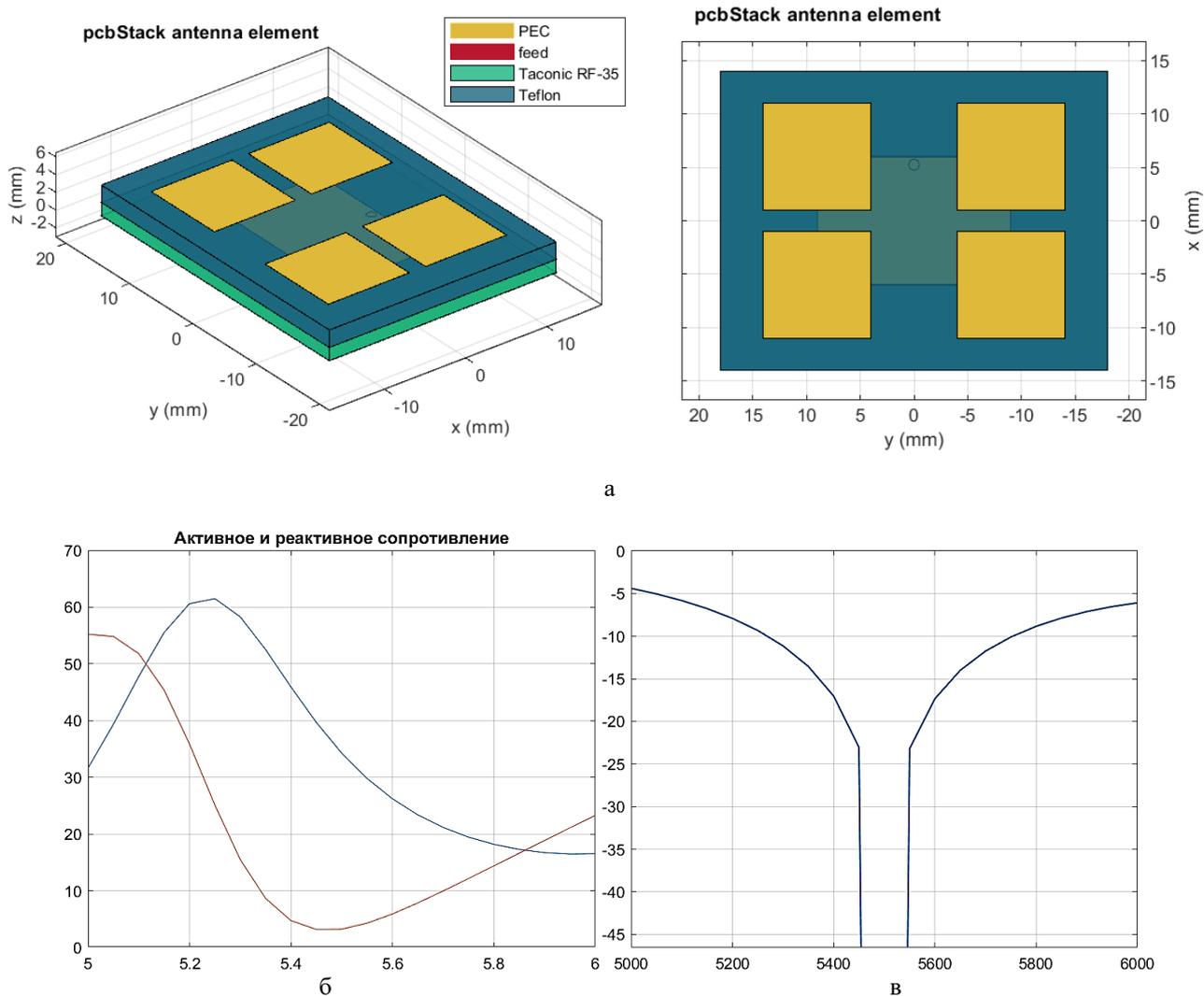


Рис. 9. Результаты моделирования многослойной МПА с решеткой пассивных резонаторов длиной 10 мм и шириной 10 см при их удалении на 9 мм по ширине и 6 мм по длине: а – геометрия антенны с видом сбоку и сверху; б – импеданс; в – модуль коэффициента отражения

Список использованных источников

1. James, J. R. et al. Microstrip Antenna Theory and Design, Peter Peregrinus Ltd, London, 1981.
2. David R. Jackson, Introduction to Microstrip Antennas, 2013. – 184 p.
3. I. J. Bahlet.al. Design of microstrip antennas covered with a dielectric layer. IEEE AP- 30, Mar.1982, pp.314.
4. Купряшкин И.Ф., Лихачев В.П., Рязанцев Л.Б. Малогабаритные многофункциональные РЛС с непрерывным частотно-модулированным излучением. – М.: Радиотехника, 2020. – 280 с.
5. Wong K.L. Design of Non planar Microstrip Antennas and Transmission Lines. John Wiley & Sons, Inc., 1999.
6. G. Kumar and K. P. Ray. Broadband Microstrip Antennas. Artech House, 2002.