

2 Капшай, В. Н. Генерация второй гармоники от тонкого сферического слоя и условия отсутствия генерации / В. Н. Капшай, А. А. Шамына // Оптика и спектроскопия. – 2017. – Т. 123, № 3 – С. 416–429.

**А. Ю. Кравченко**

Науч. рук. **И. В. Семченко,**

д-р физ.-мат. наук, профессор

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ЭЛЕМЕНТА МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ FR4

Развитие современных технологий и программ моделирования дало возможность создавать структуры, для построения которых требуется высокотехнологичное современное оборудование. Одной из таких программ, которая позволяет моделировать такие структуры, является HFSS. Расчёт электродинамических параметров в этой программе основан на использовании метода конечных элементов. Поиск решения граничной задачи осуществляется в частотной области.

Путём использования программы HFSS была смоделирована планарная спираль как структурный элемент метаматериала на основе подложки FR4 на резонансной частоте 2,45 ГГц. При осуществлении теоретических расчётов (формула 1) были получены структурные параметры такого элемента, при которых выполняется условие равенства по абсолютной величине электрического дипольного и магнитного моментов [1]:

$$4l + 3h \approx \frac{c}{2\nu\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (1)$$

Здесь  $l$  – длина металлизированной полоски на одной стороне печатной платы,  $h$  – толщина печатной платы,  $\nu$  – резонансная частота,  $c$  – скорость света в вакууме,  $\epsilon$  и  $\mu$  – относительная диэлектрическая и магнитная проницаемость материала подложки.

В результате моделирования можно сделать следующие выводы:

1 Полученные структурные параметры имеют незначительное отклонение от ранее полученных теоретических значений ( $l = 7,1$  мм,  $w = 0,15$  мм,  $d = 0,24$  мм,  $b = 0,44$  мм,  $h = 2,93$  мм,  $t = 35$  мкм,  $\alpha = \beta = 13,9$ , где  $h$  – толщина печатной платы,  $t$  – толщина проводящего слоя,  $w$  – ширина металлизированной полоски,  $d$  – диаметр отверстия,  $b$  – диаметр металлизированного круга,  $\alpha$  и  $\beta$  – углы между металлизированными полосками на различных сторонах печатной платы).

2 Найденная структура при резонансной частоте 2,45 ГГц на основе покрытия FR4 является сбалансированной, то есть для неё выполняется равенство по абсолютной величине электрического дипольного и магнитного моментов, причём относительная разница между этими параметрами составляет приблизительно 7 % [2].

Таким образом, в результате использования FR4 как основы метаматериала был получен сбалансированный структурный элемент в форме планарной спирали, для которого выполняется равенство по абсолютной величине электрического дипольного и магнитного моментов.

## Литература

1 Asadchy, V. S. Determining polarizability tensors for an arbitrary small electromagnetic scatterer, Photonics and Nanostructures / V. S. Asadchy [et al.] // Fundamentals and Applications. – 2014. – Vol. 12. – P. 298–304.

2 Cuesta, F. S. Planar broadband Huygens' metasurfaces for wave manipulations / F. S. Cuesta [et al.] // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 2018. – V. 66, № 12. – P. 7117–7127.