

Исследование планарных фрактальных антенн «ковер Серпинского» выполненных по SIW технологии

Ю.С. Тихонов¹, В.А. Иванов¹, А.Д. Исаев¹, А.Ю. Мирошниченко¹, М.А. Чернышев¹

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Аннотация: в работе представлены результаты исследования фрактальных антенн на основе фрактала «ковер Серпинского» с использованием технологий SIW. Моделирование и расчет проводилось в современной программе САПР Ansys HFSS. Изготовлены и исследованы экспериментальные образцы фрактальных антенн. Проведенный анализ расчетных данных с экспериментом показал хорошее согласование. По результатам исследований были разработаны методические инструкции для выполнения лабораторной работы, которые используются в учебном процессе студентами Института Электронной Техники и Приборостроения СГТУ им. Гагарина Ю.А.

Ключевые слова: фрактальные антенны, интегрированный в подложку волновод, КСВН, полоса пропускания, HFSS

1. Введение

В последнее время, из-за быстрого развития телекоммуникационной техники возникает потребность в разработке новых типов антенн с хорошими электродинамическими параметрами, малыми габаритами и массой [1]. Развитие антенной техники привело к появлению фрактальных антенн. Данный тип антенн при малых размерах имеют такие преимущества как широкая полоса пропускания, многочастотность, что крайне необходимо в различных системах беспроводной связи [2-3]. Развитие пассивных СВЧ-устройств привело к появлению интегрированных в подложку волноводов (SIW), что позволяет улучшить электродинамические параметры пассивных СВЧ-устройств [4, 7]. Однако фрактальные антенны изготовленные по SIW технологии практически не исследованы.

Поэтому, в связи с общей тенденцией развития антенной техники, на кафедре «Электронные приборы и устройства» СГТУ им. Гагарина Ю.А. была поставлена задача разработать фрактальные антенны с интегрированным в подложку волноводом для дополнения лабораторных циклов по дисциплинам «Электродинамика и микроволновые устройства» и «Пассивные микросхемные устройства СВЧ». Моделирование и электродинамический расчет антенн производились в студенческой версии программного продукта Ansys HFSS. Экспериментальные исследования были проведены на базе ЦКП «Измерения в радиоэлектронике» СГТУ им. Гагарина Ю.А. кафедры «Электронные приборы и устройства»

2. Исследование фрактальных антенн с SIW

Разработаны фрактальные антенны первой итерации на основе «ковра Серпинского» [5] с SIW технологии (рисунок 1) в нескольких вариантах: без SIW технологии, с SIW технологией с одним и двумя рядами стержней. Известно, что использование SIW технологии, позволяет улучшить характеристики антенн, особенно это проявляется при использовании двойного слоя стержней [6].

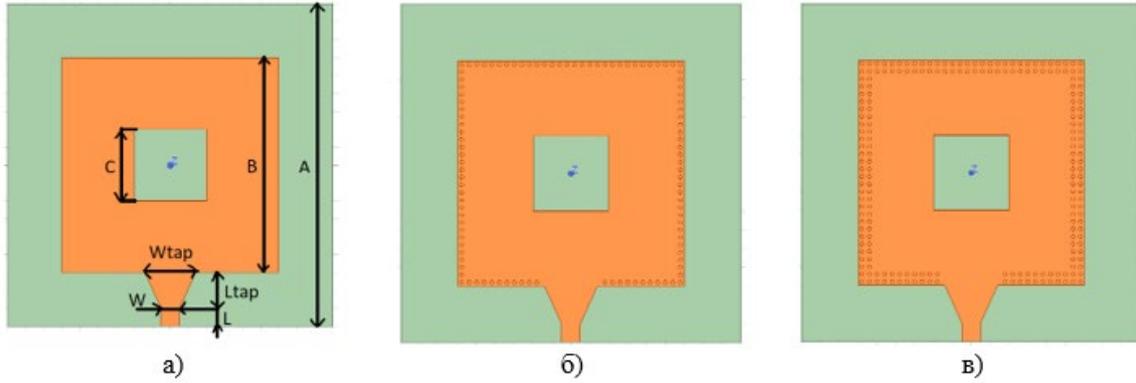


Рисунок 1. Геометрия фрактальных антенн: а – без SIW технологии; б – с SIW технологией с 1 рядом стержней; в – с SIW технологией с 2 рядами стержней.

При проектировании антенн по SIW технологии были использованы расчетные соотношения [7-8]:

$$p \leq 2d \quad (1)$$

$$d \leq \frac{\lambda_g}{5} \quad (2)$$

где λ_g - управляемая длина волны и определяется уравнением для основной моды TE₁₀:

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{\epsilon_r \omega^2}{c^2}\right) - \left(\frac{\pi}{B}\right)^2}} \quad (3)$$

Для расчета конического перехода используются следующие уравнения:

$$L_{tap} = 10d \quad (4)$$

$$W_{tap} = \frac{1}{2}(W - d) \quad (5)$$

$$L = 5d \quad (6)$$

В таблице 1 приведены геометрические параметры фрактальных антенн. Геометрические параметры металлических стержней выполненных по SIW технологии: диаметр стержня $d=1$ мм, межцентровое расстояние между стержнями $p=2$ мм.

Таблица 1. Геометрические размеры

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Подложка	FR-4	W	5 мм
Диэлектрическая проницаемость	4.4	W_{tap}	14 мм
Толщина подложки	1,5 мм	L	5 мм
A	90 мм	L_{tap}	10 мм
B	60 мм		
C	30 мм		

На рисунке 2 представлены изготовленные макетные образцы фрактальных антенн с SIW.

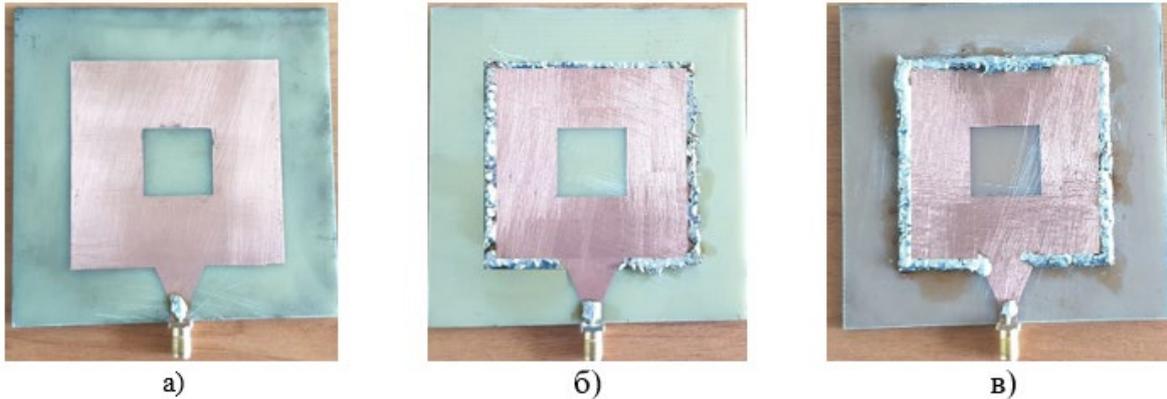


Рисунок 2. Макетные образцы фрактальных антенн: а – без SIW технологии; б – с SIW технологией с 1 рядом стержней; в – с SIW технологией с 2 рядами стержней.

Экспериментальное исследование антенн проводилось с использованием лабораторной установки P2-54/57, показаны на рисунке 3.

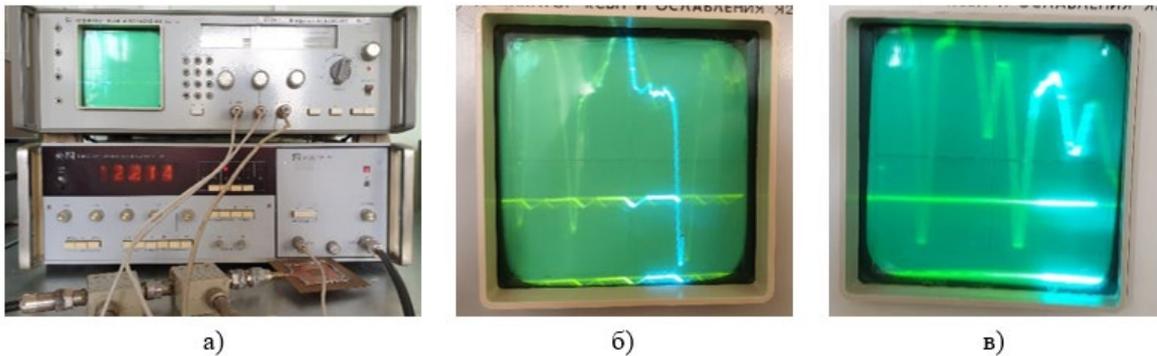


Рисунок 3. Экспериментальное исследование: а – лабораторная установка; б – АЧХ в диапазоне 2-4 ГГц; в – АЧХ в диапазоне 3,2-5,64 ГГц.

На рисунке 4 показаны теоретические и экспериментальные результаты исследования КСВН фрактальных антенн.

Из приведенных ниже результатов видно, что результаты электродинамического расчета подтверждаются экспериментальными результатами. При переходе к фрактальным антеннам по SIW технологии можно увидеть, что возникают новые резонансные частоты, которые имеют хорошее согласование в частотных диапазонах 2,4-2,6 ГГц, 3,4-3,6 ГГц и 4,2-5 ГГц. Из графиков также видно, что фрактальные антенны с двумя рядами стержней, изготовленных по SIW технологии, имеют сдвиги по частотам относительно фрактальной антенны с одним рядом стержней.

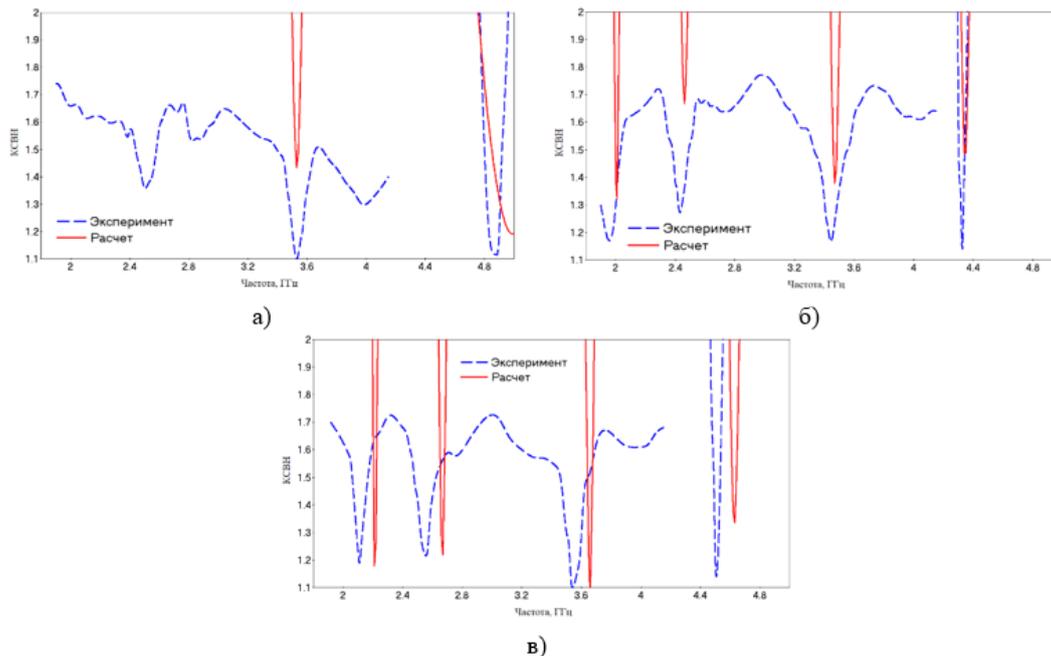


Рисунок 4. Зависимость коэффициента стоячей волны по напряжению от частоты в диапазоне 1,9-5 ГГц: а – без SIW технологии; б – с SIW технологией с 1 рядом стержней; в – с SIW технологией с 2 рядами стержней.

Расчет полосы пропускания антенн проведем по уровню КСВН=1.5. Для этого используем известное выражение (7). Результаты представлены в таблице 2.

$$BW = \frac{f_H - f_L}{f_0} \times 100\% \quad (7)$$

Таблица 2. Расчет полосы пропускания

Фрактальная антенна	Нижняя частота, ГГц	Резонансная частота, ГГц	Верхняя частота, ГГц	Полоса пропускания, %
Без SIW технологии	2,44	2,5	2,58	5,6
	3,4	3,53	3,65	7,08
	3,7	4	4,15	11,25
	4,8	4,86	4,92	2,3
С SIW технологией с 1 рядом стержней	1,9	2	2,03	6,5
	2,38	2,42	2,49	4,54
	3,33	3,44	3,55	6,4
	4,3	4,325	4,35	1,15
С SIW технологией с 2 рядами стержней	2,06	2,11	2,17	5,2
	2,48	2,55	2,63	5,9
	3,46	3,54	3,64	5,1
	4,49	4,51	4,54	1,1

3. Заключение

В рамках студенческой научной работы было проведено теоретическое и экспериментальное исследование фрактальных антенн на основе «ковра Серпинского» выполненных по SIW технологии. Данные антенны показали хорошие результаты по согласованию в частотном диапазоне 1.9-5 ГГц. При добавлении во фрактальную антенну металлических стержней можно видеть, что возникают новые резонансные

частоты. При введении дополнительного второго ряда стержней происходит сдвиг вверх по частотному диапазону, что видно из рисунка 4. Это позволяет использовать такие антенны в устройствах беспроводной связи четвертого и пятого поколения.

По результатам расчетов и экспериментов были разработаны методические указания для выполнения лабораторной работы по исследованию фрактальных антенн «ковер Серпинского» выполненных по SIW технологии. Это позволит дополнить лабораторный цикл по дисциплинам «Электродинамика и микроволновая техника» и «Пассивные микросхемные устройства СВЧ» на кафедре «Электронные приборы и устройства».

Список литературы

1. Oraizi H., Hedayati S. Miniaturization of microstrip antennas by the novel application of the Giuseppe Peano fractal geometries // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2012. – Т. 60. – №. 8. – С. 3559-3567.
2. Yu Z. et al. A novel Koch and Sierpinski combined fractal antenna for 2G/3G/4G/5G/WLAN/navigation applications // *Microwave and Optical Technology Letters*. – 2017. – Т. 59. – №. 9. – С. 2147-2155.
3. Gupta M., Mathur V. Wheel shaped modified fractal antenna realization for wireless communications // *AEU-International Journal of Electronics and Communications*. – 2017. – Т. 79. – С. 257-266.
4. Wu K., Deslandes D., Cassivi Y. The substrate integrated circuits-a new concept for high-frequency electronics and optoelectronics // *6th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service, 2003. TELSIS 2003*. – IEEE, 2003. – Т. 1. – С. P-III.
5. Gehani A., Agnihotri P., Pujara D. A. Analysis and synthesis of multiband Sierpinski carpet fractal antenna using hybrid neuro-fuzzy model // *Progress in electromagnetics research letters*. – 2017. – Т. 68. – С. 59-65.
6. Anand S., Rokhini D. A double line SIW cavity backed antenna for WLAN applications // *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*. – 2019. – Т. 29. – №. 9. – С. e21861.
7. Rayas-Sanchez J. E., Gutierrez-Ayala V. A general EM-based design procedure for single-layer substrate integrated waveguide interconnects with microstrip transitions // *2008 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*. – IEEE, 2008. – С. 983-986.
8. Deslandes D. Design equations for tapered microstrip-to-substrate integrated waveguide transitions // *2010 IEEE MTT-S International Microwave Symposium*. – IEEE, 2010. – С. 704-707.