

УДК: 621.396

**О ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК
ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ**

Д.В. Клюкин, А. Алхадж Хасан

Научный руководитель: доцент, д.т.н., С.П. Куксенко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: dv_klyukin@tu.tusur.ru

**ON THE ACCURACY OF CALCULATING THE PARAMETERS AND CHARACTERISTICS
OF A RECTANGULAR SPIRAL ANTENNA BY THE METHOD OF MOMENT**

D.V. Klyukin, A. Alhaj Hasan

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Dr., S.P. Kuksenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: dv_klyukin@tu.tusur.ru

***Abstract.** The accuracy of calculating the parameters and characteristics of rectangular spiral antenna using the Triangle-Grid and Wire-Grid modules that using the method of moment was evaluated in comparison with the method of finite difference time domain using EMPro. It was found that both modules provide acceptable results that well correlated with those obtained in EMPro. However, Triangle-Grid showed higher accuracy in calculating the antenna input impedance, possibly due to the use of a more precise source model.*

Введение. Метод моментов (МоМ) является одним из наиболее часто используемых численных методов при моделировании антенн. Он обладает простым алгоритмом и способен давать приемлемые результаты с использованием меньших вычислительных ресурсов, чем другие численные методы [1]. МоМ, дискретизируя проводящую поверхность антенны, заменяет ее эквивалентными поверхностными токами, после чего, используя принцип взаимности, решается задача излучения на основе этих токов [2].

Дискретизация поверхности антенны выполняется с использованием проводной сетки [3] или плоских геометрических фигур, как правило, треугольников [2]. Каждый из этих подходов имеет свои достоинства и недостатки [4]. При этом развитие этих подходов не прекращается [5]. Так, недавно на их основе разработаны два программных модуля, названные Wire-Grid [6] и Triangle-Grid [7]. Для их эффективного использования в будущих исследованиях необходимо верифицировать их результаты. Поэтому цель данной работы – сравнение полученных в Wire-Grid и Triangle-Grid результатов с результатами, полученными методом конечных разностей во временной области (МКРВО), на примере моделирования прямоугольной спиральной антенны.

Экспериментальная часть. Использована модель планарной прямоугольной спиральной антенны со следующими параметрами: $W = 3,19$ мм, $L = 104,9$ мм, $L_i = 1,59$ мм, число витков $t = 4$ (рис. 1а). Результаты моделирования сравнивались с полученными МКРВО в системе автоматизированного проектирования (САПР) EMPro. Для дискретизации модели антенны в Triangle-Grid и EMPro использовались ячейки размером $\lambda/40$. В Wire-Grid использовалась адаптивная сегментация с

радиусом проводов $W/2$. Каждый виток модели в Wire-Grid разделялся на $m = 1, 2, 3$ и 4 частей, после чего каждая из них сегментировалась на $m \times n \times t$ сегментов, где $n = 5, 4$ и 3 на частотах 1, 3 и 5 ГГц соответственно (рис. 1б). Для возбуждения антенны в Triangle-Grid использовался порт из работы [7], в EMPro – дискретный порт, а в Wire-Grid – отрезок провода.

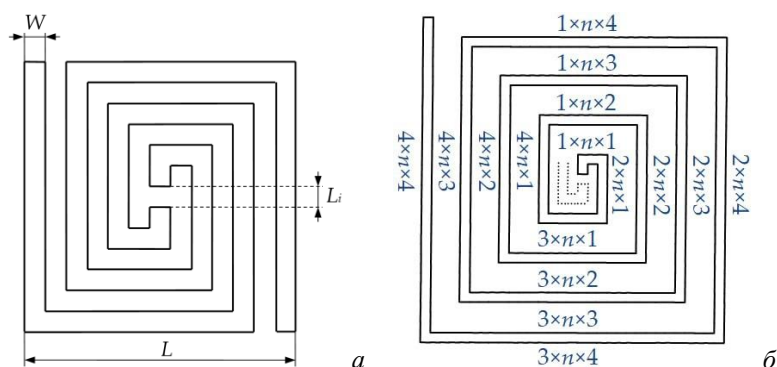


Рис. 1. Модель спиральной прямоугольной антенны: вид сверху (а) и схема адаптивной сегментации в Wire-Grid (б)

Результаты. На рис. 2 приведены диаграммы коэффициента усиления (КУ) антенны в плоскостях E и H , полученные с помощью модулей Triangle-Grid, Wire-Grid и EMPro на частоте 1 ГГц. Видно, что оба модуля дали близкие к EMPro результаты. В таблицу 1 сведены полученные максимальные значения КУ (KU_{\max}) и их относительных отклонение (ОО) от значений, полученных в EMPro. Как видно, максимальное различие не превышает 6 %.

В таблицу 2 сведены рассчитанные значения входного импеданса антенны и их ОО от EMPro, а также общее число используемых базисных функций N . Как видно, Triangle-Grid, по сравнению с EMPro, дает более точные результаты с максимальной разницей в 24 %. При этом результаты, полученные в Wire-Grid, отличаются от EMPro до 35 %.

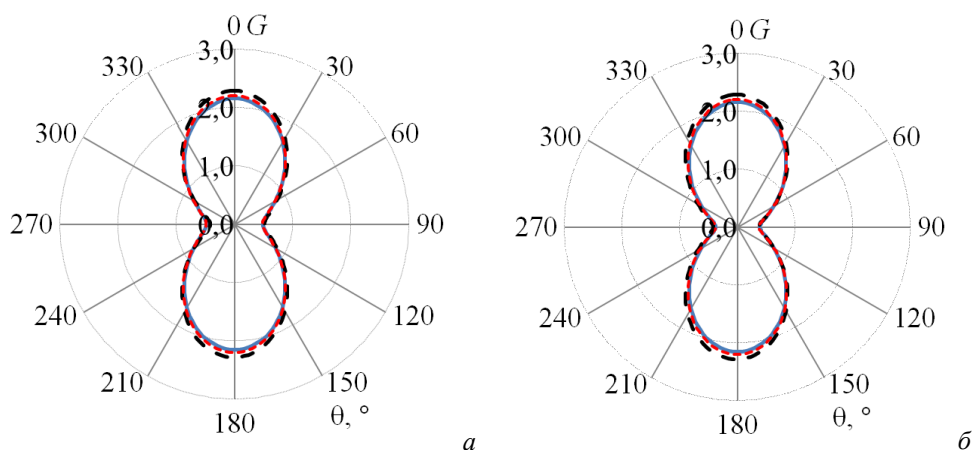


Рис. 2. КУ спиральной прямоугольной антенны на частоте 1 ГГц в плоскостях E (а) и H (б): Triangle-grid (---), Wire-grid (-.-.-) и EMPro (—)

Таблица 1

Максимальные значения КУ спиральной прямоугольной антенны и их ОО от EMPro

Модуль	Значение	1 ГГц	3 ГГц	5 ГГц
Wire-Grid	КУ _{макс}	2,20	3,53	3,20
Triangle-Grid	КУ _{макс}	2,28	3,57	3,47
EMPro	КУ _{макс}	2,15	3,74	3,37
Wire-Grid	ОО, %	2	6	5
Triangle-Grid	ОО, %	6	5	3

Таблица 2

Значения входного импеданса спиральной прямоугольной антенны и их ОО от EMPro

Модуль	Частота, ГГц	Импеданс (Ом)	ОО, %	N
EMPro	1	170,9-j30,1	–	38808
	3	154,1-j43,7	–	164604
	5	143,6+j88,1	–	322080
Wire-Grid	1	113,0-j37,2	31,44	861
	3	87,6-j60,5	33,53	689
	5	154,8-j21,0	7,27	517
Triangle-Grid	1	175,8-j38,2	3,67	577
	3	153,5-j7,7	4,05	3579
	5	209,5+j19,4	24,89	10145

Заключение. В работе оценена точность моделирования прямоугольной спиральной антенны с использованием модулей Triangle-Grid и Wire-Grid основанных на методе моментов. Модули отличаются способом описания поверхности антенны. Первый использует совокупность треугольников, а второй – проводов. Показано, что оба модуля дают приемлемые результаты, согласующиеся с полученными МКРВО в САПР EMPro. При этом Triangle-Grid позволил получить более близкие к EMPro значения входного импеданса антенны, по всей видимости, из-за использования более точной модели возбуждения. Поэтому при использовании проводной сетки в дальнейшем целесообразно разработать модель возбуждения, позволяющую повысить точности расчетов входного импеданса антенн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balanis C.A. Advanced engineering electromagnetics, 2nd ed. – NY: John Wiley & Sons, 2012. – 1040 p.
2. Makarov S.N. Antenna and EM modeling with MATLAB. – NY: John Wiley & Sons, 2002. – 288 p.
3. Harrington R. F. Matrix methods for field problems // Proceedings of the IEEE. – 1967. – V. 55., №. 2. – P. 136-149.
4. Newman E., Pozar D. Considerations for efficient wire/surface modeling // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1980. – V. 28., №. 1. – P. 121-125.
5. Ferguson T.R. Efficient solution of large moments problems: wire grid modeling criteria and conversion to surface currents // The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES). – 1988. – P. 55-81.
6. Alhaj Hasan A. et al. On Wire-Grid Representation for Modeling Symmetrical Antenna Elements // Symmetry. – 2022. – V. 14., №. 7. – P. 1354.
7. Квасников А.А. и др. Система компьютерного моделирования антенн методом моментов // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – №. 1. – С. 49-66.