

УДК 621.396

DOI: 10.30987/conferencearticle_61c997ef33ae75.50943664

МОДИФИЦИРОВАННОЕ ПРАВИЛО РАВНОЙ ПЛОЩАДИ ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ПРОВОДЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЕТКОЙ ИЗ ПРОВОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ИЗЛУЧЕНИЯ

Алхадж Хасан Аднан

Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР), м.н.с.
Россия, Томск, alhaj.hasan.adnan@yandex.ru

Аннотация. Предложена модификация правила равной площади для аппроксимации проводящих поверхностей сеткой из проводов при решении задач излучения. Выполнена её апробация в системе TALGAT, на примере диполя на проводящей пластине, с верификацией в системе EMPro. Показано, что модификация данного правила дает более точные результаты по сравнению с исходным.

Ключевые слова: метод моментов, проводная сетка, правило равной площади, излучение.

MODIFIED RULE OF EQUAL AREA FOR APPROXIMATION OF CONDUCTING SURFACES BY WIRE GRID IN SOLVING RADIATION PROBLEMS

Alhaj Hasan A., Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, junior researcher
Russia, Tomsk, alhaj.hasan.adnan@yandex.ru

Abstract. A modification of the equal area rule is proposed for approximation conductive surfaces by a grid of wires when solving radiation problems. It was tested in the TALGAT system using the example of a dipole on a conductive plate, with verification in the EMPro system. It is shown that the modification of this rule gives more accurate results compared to the original one.

Keywords: method of moments, wire grid, equal area rule, radiation.

С появлением и развитием вычислительной техники, к концу 80-х годов XX в. возникло новое направление, которое стали называть «вычислительной электродинамикой» [1]. Несмотря на успехи в создании специализированных САПР, методов решения краевых и начально-краевых задач, системы линейных алгебраических уравнений, оптимизации, вычисления электромагнитного поля и параметров электродинамических систем, в настоящее время неизвестно, можно ли создать универсальный численный метод, пригодный для решения всех задач электродинамики [2]. Поэтому одной из главных проблем является выбор оптимального метода решения конкретной задачи [3]. Одним из основных методов вычислительной электродинамики, широко используемым в САПР, является метод моментов (МоМ) [4]. При его использовании сначала проводящие части заданной структуры заменяются эквивалентными поверхностными электрическими токами, после чего решается задача возбуждения окружающей среды этими токами. На полученное решение накладываются соответствующие граничные условия. Важным процессом решения является разбиение поверхностей на

элементарные площадки и аппроксимация тока в их пределах. Для разбиения используются треугольники [5] или провода [6]. При использовании проводов, вместо векторной функции плотности тока используется скалярная, что существенно упрощает решение. При этом требуется предварительный выбор числа проводов и их радиуса. Известны правило равной площади, а также его модификации для построения квадратной сетки из проводов при решении задач рассеяния [7–11]. Однако построение такой сетки не всегда реализуемо, и тогда требуется использовать другую сетку. Цель работы – модифицировать правило равной площади для использования прямоугольной сетки из проводов и апробировать его при решении задачи излучения. При использовании сетки из проводов расстояние между ними должно быть тщательно выбрано, т.к. оно влияет на вычислительные затраты. Кроме того, требуется задавать длины проводов, их радиусы, положение в пространстве и сегментацию [7]. Известно, что длина сегмента должна быть много меньше длины волны воздействующего сигнала [8]. При этом выбор радиуса проводов является нетривиальной задачей. Поэтому большое число работ было посвящено разработке подходов к его выбору. Так, известно правило равной площади, основанное на замене квадратного полигона сеткой из проводов, радиус которых основан на размерах полигона [7]. Исследовано влияние размера проводной сетки, построенной по этому правилу, на точность полученных результатов [9]. Выполнено обобщение правила на случай аппроксимации поверхности, состоящей из квадратного и треугольного полигонов, а также показано, что длина сегмента должна быть больше чем $0,001\lambda$ и радиус проводов [10]. Физическая интерпретация правила равной площади дана в [11]. Согласно этому правилу, для аппроксимации квадратного полигона отдельным проводом его радиус a определяется так, чтобы площади поверхности полигона и провода длиной Δ совпадали (рис. 1а) [7], т.е.

$$a = \Delta / 2\pi. \quad (1)$$

Однако это правило не применимо для случая прямоугольной сетки. В этом случае предлагается использовать длину меньшей стороны прямоугольника Δ_2 (рис. 2б), т.е.

$$a = \Delta_2 / 2\pi. \quad (2)$$

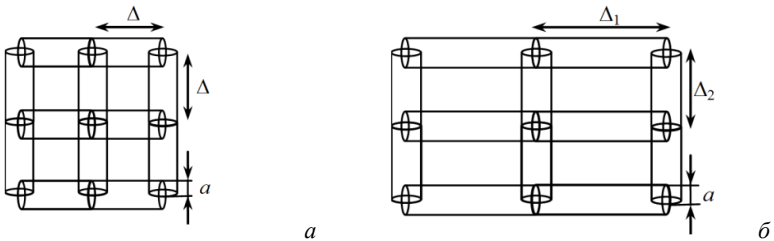


Рисунок 1 – К демонстрации правила равной площади (а) и его модификации (б)

Тестирование выполнено на примере диполя, ориентированного вдоль оси x , на проводящей пластине $25 \times 50 \text{ мм}^2$, расположенной в плоскости уз.

Диполь длиной 12,5 мм (длина плеч – 5, а зазора – 2,5 мм) и радиусом 0,015 мм располагался на расстоянии $\lambda/4$ от торца пластины. Частота возбуждения 7,56 ГГц ($\lambda \approx 39,655$ мм). Моделирование при радиусах проводов, вычисленных по (1) и (2), выполнено в системе TALGAT [12, 13]. Для верификации использована система EMPro [14] (порт возбуждения: амплитуда – 1 В; внутреннее сопротивление – 0 Ом; форма сигнала – «broadband»). Длина сегмента в обеих системах принят равным $\lambda/10$. В TALGAT пластина аппроксимировалась сеткой $L_y \times L_z$ где L_y и L_z – число отрезков проводов по осям y и z . При использовании квадратной сетки эти значения приняты 8 и 4 соответственно (длины отрезков проводов по обеим осям – 6,25 мм). Согласно (1) получен радиус проводов $a=0,9947$ мм. При $\lambda/10$ длина сегментов составила 3,125 мм, что удовлетворяет условиям из [10]. В результате каждый отрезок проводов делился на 2 сегмента. Общее число сегментов составило отрезков проводов по осям y и z – 6,25 и 3,125 мм). Радиус проводов согласно (2) составил 0,5 мм, а длина сегментов – 3,125 мм, что также удовлетворяет условиям из [10]. Отрезки проводов вдоль оси y делились на 2 сегмента, а z – не делились. Общее число сегментов составило $N=221$. Полученные диаграммы направленности (ДН) приведены на рис. 2, а при $\theta=0, 1, \dots, 180^\circ$, $\varphi = 45^\circ$ и 90° – рис. 3.

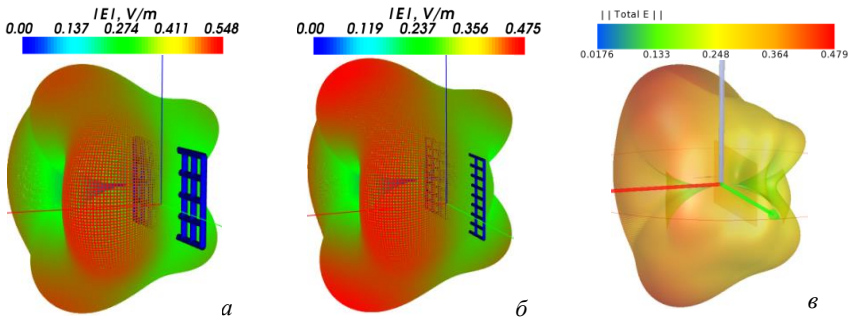


Рисунок 2 – ДН диполя на пластине в TALGAT при (1) (а) и (2) (б) и EMPro (в)

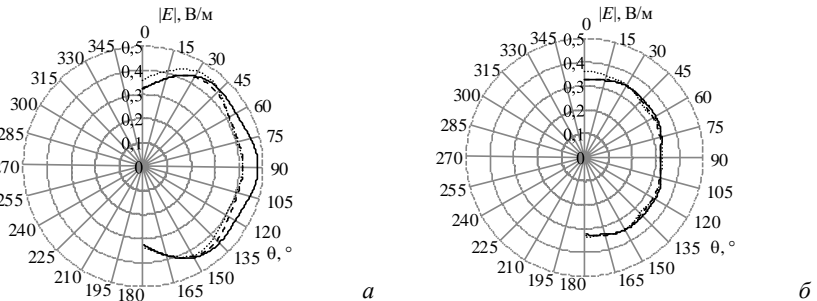


Рисунок 3 – ДН диполя на пластине при $\theta = 0, 1, \dots, 180^\circ$, $\varphi = 45^\circ$ (а) и 90° (б) в TALGAT при (1) (—) и (2) (----) и EMPro (....)

Из рис. 2 и 3 видно, что результаты EMPro и TALGAT при использовании хорошо согласуются, а максимумы модуля напряженности электрического поля $|E|$ очень близки: 0,479 и 0,475 В/м (различие менее 1%). При использовании (1) максимум $|E|$ составил 0,548 В/м (отличие в 13% от EMPro). Таким образом, правило (2) даёт более точные результаты по сравнению с (1).

Исследование поддержано Министерством Науки и Высшего Образования (проект FEWM-2020-0041).

Список литературы

1. Вычислительные методы в электродинамике / под ред. Р. Митры. М.: Мир, 1977. 487 с.
2. Григорьев А.Д. Методы вычислительной электродинамики. М.: Физматлит, 2013. 430 с.
3. Ильин В.П. Математическое моделирование и философия науки // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88. № 1. С. 58–66.
4. Harrington R.F. Field computation by moment methods. NY: Macmillan, 1968. 240 p.
5. Rao S. Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape // IEEE Transactions on antennas and propagation. 1982. Vol. 30. No. 3. P. 409–418.
6. Richmond J.H. A Wire-grid model for scattering by conducting bodies // IEEE Transactions on antennas and propagation. 1966. Vol. AP-14. No. 6. P. 782–786.
7. Rubinstein A., Rachidi F., Rubinstein M. On wire-grid representation of solid metallic surfaces // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. 2005. Vol. 47. No. 1. P. 192–195.
8. Lee K.S.H., Marin L., Castillo P. Limitations of wire-grid modeling of a closed surface // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. 1976. Vol. EMC-18. No. 3. P. 123–129.
9. Mayhan J.T. Characteristic modes and wire grid modeling // IEEE Transactions on antennas and propagation. 1990. Vol. 38. No. 4. P. 457–469.
10. Trueman C.W., Kubina S.J. Fields of complex surfaces using wire grid modeling // IEEE Transactions on magnetics. 1991. Vol. 27. No. 5. P. 4262–4267.
11. Rubinstein A., Rubinstein M., Rachidi F. A physical interpretation of the equal area rule // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. 2006. Vol. 48. No. 5. P. 258–263.
12. Моделирование элементов критичной радиоэлектронной аппаратуры: новые подходы, модели и алгоритмы, их реализация и применение / Т.Р. Газизов [и др.] // Наноиндустрия. 2020. Т. 13. № S5-2 (102). С. 425–432.
13. Система TALGAT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://talgat.org/talgat-software/>, свободный. – (дата обращения: 10.10.2021).
14. Система EMPro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.keysight.com/ru/ru/products/software/pathwave-design-software/pathwave-em-design-software.html>, свободный. – (дата обращения: 10.10.2021).

Материал принят к публикации 12.10.21.