

УДК 621.396

О.Н. Горбенко, А.А. Рожкова

О ВОЗМОЖНОСТИ УТОЧНЕНИЯ ТОНКОПРОВОЛОЧНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ВИБРАТОРНЫХ АНТЕНН

Воронежский институт высоких технологий

Проводится обсуждение возможности уточнения тонкопроволочного приближения на основе сравнения со строгим трехмерным решением. Приведены основные этапы алгоритма.

Ключевые слова: антенна, интегральное уравнение, радиоволны.

Антенные системы входят в состав различных объектов техники [1-8]. При практическом их использовании стремятся к тому, чтобы уровень рассеянного или излученного электромагнитного поля для заданных условий наблюдения находились в требуемых пределах [9-20].

Достаточно часто встречаются вибраторные антенны. Для расчета их характеристик может быть использовано уравнение Поклингтона или Халлена. На рис. 1 приведена схема вибратора.

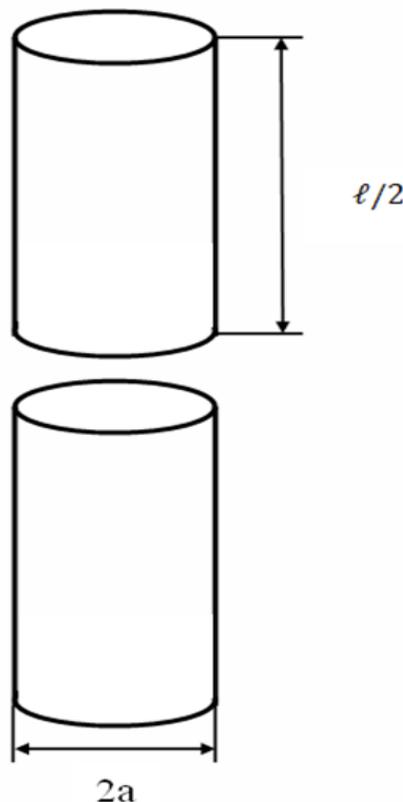


Рис. 1 Схема вибраторной антенны

В случае, когда рассматривается идеально проводящая тонкая проволочная антенна [21], то уравнение записывается следующим образом:

$$\int_{-1/2}^{1/2} I_z(z') G(z, z') dz' = -\frac{i}{\eta} (C_1 \cos(kz) + C_2 \sin(k|z|)), \quad (1)$$

где η - представляет собой волновое сопротивление для свободного пространства. Если входное напряжение на антенне V , то $C_2=V/2$. Постоянную C_1 можно определить из условия равенства нулю тока на конечных точках антенны.

Тонкопроволочное приближение означает, что должно выполняться условие $a \ll \ell$. Но представляет интерес уточнение до каких пределов можно увеличивать a , то есть $a = \beta(\varphi) \cdot \lambda$, где $\beta(\varphi)$ - некоторый коэффициент, который зависит от угла падения электромагнитной волны.

Для того, чтобы сделать такое уточнение, можно использовать строгий трехмерный подход на основе уравнения Фредгольма 2-го рода.

Ниже мы рассмотрим основные этапы решения такого уравнения, используя подход, приведенный в [22].

Интегральное уравнение записывается следующим образом:

$$\mathbf{J}_s(\mathbf{r}) = 2\mathbf{n} \times \mathbf{H}^i(\mathbf{r}) + \frac{1}{2\pi} \mathbf{n} \times \int_s \mathbf{J}_s(\mathbf{r}') \times \text{grad}' G ds', \quad (2)$$

где $G = \exp(-jkr)/r$ - это трехмерная функция Грина для свободного пространства,; s -описывает поверхность исследуемой антенны; \mathbf{n} - внешняя нормаль к поверхности антенны.

Уравнение (2) решается на основе метода моментов [21]. Базисные функции - кусочно-постоянные функции, пробные функции - δ - функции Дирака.

Интегральное уравнение (2) представляется как система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ):

$$\begin{bmatrix} F_{xx} & F_{xy} & F_{xz} \\ F_{yx} & F_{yy} & F_{yz} \\ F_{zx} & F_{zy} & F_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_x \\ J_y \\ J_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix}, \quad (3)$$

здесь J_x, J_y, J_z - компоненты плотности поверхностного электрического тока, матрица F имеет размеры $N \times N$.

Отмеченные блоки в матрице вычисляем так [22]:

$$\begin{aligned}
 (F_{xx})_{mn} &= \frac{1}{2\pi} \int_S ((n_y)_m (\text{grad}'_y)_{mn} + (n_z)_m (\text{grad}'_z)_{mn}) ds'_n - \delta_{mn}; \\
 (F_{xy})_{mn} &= -\frac{1}{2\pi} \int_S (n_y)_m (\text{grad}'_x)_{mn} ds'_n; (F_{xz})_{mn} = -\frac{1}{2\pi} \int_S (n_z)_m (\text{grad}'_x)_{mn} ds'_n; \\
 (F_{yx})_{mn} &= -\frac{1}{2\pi} \int_S (n_x)_m (\text{grad}'_y)_{mn} ds'_n; (F_{yz})_{mn} = -\frac{1}{2\pi} \int_S (n_z)_m (\text{grad}'_y)_{mn} ds'_n; \\
 (F_{yy})_{mn} &= \frac{1}{2\pi} \int_S ((n_x)_m (\text{grad}'_x)_{mn} + (n_z)_m (\text{grad}'_z)_{mn}) ds'_n - \delta_{mn}; \quad (4) \\
 (F_{zx})_{mn} &= -\frac{1}{2\pi} \int_S (n_x)_m (\text{grad}'_z)_{mn} ds'_n; (F_{zy})_{mn} = -\frac{1}{2\pi} \int_S (n_y)_m (\text{grad}'_z)_{mn} ds'_n; \\
 (F_{zz})_{mn} &= \frac{1}{2\pi} \int_S ((n_x)_m (\text{grad}'_x)_{mn} + (n_y)_m (\text{grad}'_y)_{mn}) ds'_n - \delta_{mn},
 \end{aligned}$$

где $m, n = 1, \dots, N$.

После того, как решается СЛАУ, на основе найденных электрических токов вычисляем рассеянное электромагнитное поле для требуемых углов наблюдения, согласно [21].

На основе сравнения результатов, полученных на основе (1) и (2) может быть уточнено тонкопроволочное приближение в формулировке $a = \beta(\varphi) \cdot \lambda$.

С точки зрения использования алгоритмов расчетов в САПР [23-28], представляет интерес использование подходов по прогнозированию электродинамических характеристик [29-31].

ЛИТЕРАТУРА

1. Головинов С.О., Преображенский А.П., Львович И.Я. Моделирование распространения миллиметровых волн в городской застройке на основе комбинированного алгоритма / Телекоммуникации. 2010. № 7. С. 20-23.
2. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Исследование методов оптимизации при проектировании систем радиосвязи / Теория и техника радиосвязи. 2011. № 1. С. 5-9.
3. Головинов С.О., Львович И.Я., Преображенский А.П. Разработка имитатора тракта передачи данных спутникового диапазона / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5. № 4. С. 214-217.
4. Рючин А.С. Проблемы проектирования радиоэлектронных устройств / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 45-53.
5. Верченко Г.И. Характеристики антенных решеток / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 11. С. 103-105.

6. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
7. Баранов А.В. Проблемы функционирования mesh-сетей / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 49-50.
8. Головинов С.О., Хромых А.А. Проблемы управления системами мобильной связи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 13-14.
9. Шутов Г.В. Оценка возможности применения приближенной модели при оценке средних характеристик рассеяния электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 61-67.
10. Винюков М.С. Проблемы распространения радиоволн в пространстве / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 66-70.
11. Баранов А.В. Некоторые особенности лучевых методов расчета характеристик распространения электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 9-13.
12. Верченко Г.И. Вопросы синтеза антенных и дифракционных структур / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 11. С. 100-102.
13. Головин А.А., Родионова К.Ю. Итерационный метод для решения задач рассеяния электромагнитных волн на прямоугольном параллелепипеде / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 11. С. 30-34.
14. Винюков М.С. Анализ характеристик распространения сигналов в беспроводных системах связи с помехами / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 11. С. 40-47.
15. Башкатов А.В., Чекмарев Р.С. Моделирование процессов рассеяния СШП-сигналов на объектах / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 11. С. 4-7.
16. Львович И.Я., Преображенский А.П., Хромых А.А. Оценка средних характеристик рассеяния объектов / В мире научных открытий. 2013. № 2 (38). С. 188-200.
17. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Разработка системы автоматизированного проектирования беспроводных систем связи / Телекоммуникации. 2010. № 11. С. 2-6.
18. Преображенский А.П., Хухрянский Ю.П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов, входящих в состав объектов сложной формы / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 15-16.

19. Косилов А.Т., Преображенский А.П. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 68-71.
20. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 255-256.
21. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры. – М.: Мир, 1977. – 485 с.
22. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / Воронеж, Научная книга, 2007, 248 с.
23. Преображенский А.П., Юров Р.П. САПР современных радиоэлектронных устройств и систем / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 3. С. 35-37.
24. Львович И.Я., Преображенский А.П., Юров Р.П., Чопоров О.Н. Программный комплекс для автоматизированного анализа характеристик рассеяния объектов с применением математических моделей / Системы управления и информационные технологии. 2006. № 2 (24). С. 96-98.
25. Львович И.Я., Преображенский А.П. Разработка информационного и программного обеспечения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 12. С. 63-68.
26. Львович И.Я., Преображенский А.П. Разработка принципов построения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 12. С. 125-127.
27. Преображенский А.П., Юров Р.П. Подсистема расчета характеристик электромагнитных волн элементарных отражателей / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 3. С. 76-77.
28. Преображенский А.П., Ярославцев Н.П. Современные радиолокационные комплексы для измерения радиолокационных характеристик / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 29-32.
29. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Методика прогнозирования радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / Системы управления и информационные технологии. 2004. № 2 (14). С. 98-101.
30. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов из-

мерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / Телекоммуникации. 2004. № 5. С. 32-35.

31. Баранов А.В. О возможности прогнозирования характеристик рассеяния двумерного идеально проводящего клина / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 13-16.

O.N. Gorbenko, A.A.Rozhkova

ABOUT THE POSSIBILITY OF CLARIFYING THICK-WIRE APPROXIMATION FOR VIBRATOR ANTENNAS

Voronezh Institute of High Technologies

The discussion about the possibility of clarifying thick-wire approximation for vibrator antennas on the basis of comparison with a strict three-dimensional solution is held. The main phases of the algorithm is pointed out.

Keywords: antenna, integral equation, radio waves.