

Огурцов Евгений Сергеевич

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ ИЗ СКОШЕННЫХ ВОЛНОВОДОВ

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2011/8/25.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2011. № 8 (51). С. 76-79. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2011/8/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 519.61

Евгений Сергеевич Огурцов

Технологический институт Южного федерального университета в г. Таганроге

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ
ИЗ СКОШЕННЫХ ВОЛНОВОДОВ[©]

Разработка требуемых конструкций антенных решеток в настоящее время является актуальной задачей [1, с. 123]. Для этого необходимо рассчитать характеристики направленности антенных решеток. В данной работе рассмотрена программная реализация дискретной математической модели излучения электромагнитных волн антенной решеткой из скошенных волноводов. В работе представлена логическая структура программы, структура данных, алгоритм работы программы. Представлен результат работы программы.

Задача решена в следующей постановке. Требуется найти решение неоднородного волнового уравнения:

$$\frac{\partial^2 \bar{H}}{\partial t^2} = \nabla^2 \bar{H} + f \quad (1)$$

удовлетворяющего начальным условиям:

$$H(x, y, 0) = \phi_0(x, y), \quad H_t'(x, y, 0) = \phi_1(x, y) \quad (2)$$

и граничным условиям (для Е-поляризованной волны):

$$H(x, y, t) = 0, \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma \quad (3)$$

В случае Н-поляризованной волны граничное условие запишется в виде:

$$H_n'(x, y, t) = 0, \quad \text{при } (x, y) \in \Gamma \quad (4)$$

На Рис. 1 представлена антенная решетка из скошенных волноводов. Решетка работает в режиме излучения. Расчетная область показана штриховкой.

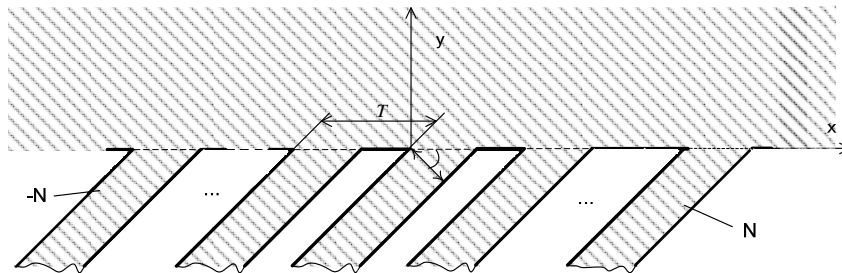


Рис. 1. Антенная решетка

Решение задачи. Для получения дискретной модели воспользуемся интегро-интерполяционным методом [3, с. 7]. Для этого запишем уравнение (1) в следующем виде:

$$H''_n = a^2 (H'_x)'_x + a^2 (H'_y)'_y + f, \quad a = \frac{1}{c} \quad (5)$$

Дискретный аналог уравнения (5) в случае граничных условий в форме Дирихле ($H = 0$) примет вид:

$$\frac{H_{i,j}^{n+1}}{h_x^2} + k_{0,i,j} \frac{-2H_{i,j}^n + H_{i,j}^{n-1}}{h_x^2} = a^2 \min(k_{1,i,j}, k_{2,i,j}) \frac{\bar{H}_{i+1,j} - 2\bar{H}_{i,j} + \bar{H}_{i-1,j}}{h_x^2} + a^2 \min(k_{3,i,j}, k_{4,i,j}) k_{3,i,j} \frac{\bar{H}_{i,j+1} - 2\bar{H}_{i,j} + \bar{H}_{i,j-1}}{h_y^2} + k_{0,i,j} f_{i,j}^n \quad (6)$$

где $\bar{H}_{i,j} = \phi_1 H_{i,j}^{n+1} + (1 - \phi_1 - \phi_2) H_{i,j}^n + \phi_2 H_{i,j}^{n-1}$

Функциональное назначение программы «volnovod». Разработанное экспериментальное программно-обеспечение на базе ЭВМ предназначено для математического моделирования излучения электромагнитных волн антенными излучателями. Программа «volnovod» предназначена для построения картины поля излучения электромагнитных волн для лабораторных стендов на сетках с высокой разрешающей способностью. Программа «volnovod» написана на языке C++.

Данная программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- 1) расчет напряженности магнитного поля;
- 2) расчет фазы;
- 3) расчет направления распространения электромагнитных волн.

Логическая структура программы «volnovod». Программный компонент - «Расчет картины поля излучения электромагнитных волн» - используется для расчета и включает в себя следующие блоки:

- 1) блок ввода исходных данных;
- 2) блок расчета геометрии области в зависимости от угла скоса волновода и заданных источников;
- 3) блок расчета коэффициентов сеточных уравнений;
- 4) блок расчета функций правых частей сеточных уравнений;
- 5) модифицированный попеременно-треугольный метод;
- 6) блок учета граничных условий;
- 7) блок вывода рассчитываемых функций напряженности магнитного поля;
- 8) блок вывода спектра;
- 9) блок расчета фазы;
- 10) блок расчета градиента фазы;
- 11) блок расчета направления распространения;
- 12) вывод направления распространения.

Структура данных программы «volnovod»

В программном компоненте «Расчет картины поля излучения электромагнитных волн» задаются следующие параметры:

- размерность сетки по пространственным координатам hx, hy : $hx = 0,25 \cdot 10^{-3}$, $hy = 0,5 \cdot 10^{-3}$;
- размерность сетки по временной координате ht : $ht = 0,01 \cdot 10^{-10}$;
- размер волновода a ;
- длина волны $\lambda = 30$;
- период антенной решетки $T = 0,9 \cdot \lambda$;
- угол скоса волновода $\beta = 20^\circ$;
- длина волновода $l = 100$;
- начальный момент времени $t = 0,0$;
- шаг по времени $dt = 180,0$.

В программном компоненте «Расчет поля излучения электромагнитных волн» формируются следующие массивы:

- двумерный вещественный расчетный массив $H[]$;
- двумерный вещественный вспомогательный массив $H1[]$;
- двумерные вещественные массивы коэффициентов сеточных уравнений $c1[], c2[], c3[], c4[]$;
- двумерный вещественный массив правой части $ff[]$;
- двумерный вещественный массив функции источника $ist[]$;
- двумерный вещественный массив производной фазы по x и по y $fix[], fiy[]$;
- двумерный вещественный массив действительной составляющей спектра и мнимой составляющей спектра $H_sin[], H_cos[]$;
- двумерный вещественный массив расчетной области $obl[]$.

Алгоритм работы программы «volnovod»

Комплекс программ «volnovod» начинает свою работу с запуска программы «Расчет поля излучения электромагнитных волн».

Алгоритм реализации программы:

Начало работы программного компонента «Расчет поля излучения электромагнитных волн».

0°. Выделение памяти под массивы и ввод исходных данных.

1°. Расчет геометрии области в зависимости в зависимости от заданного угла скоса волновода и задания источников. Проводится расчет геометрии области в зависимости от угла скоса волновода и задания источников и исходных данных.

2°. Расчет коэффициентов сеточных уравнений. После нумерации элементов и расчета номеров соседних элементов по всем координатным направлениям вычисляются коэффициенты для узла, стоящего в центре шаблона, и уточняются коэффициенты, стоящих в окрестности центра шаблона.

3°. Расчет функций правых частей сеточных уравнений.

Вычисляются правые части сеточных уравнений. Ниже приведен соответствующий фрагмент.

$$f_{m_0} \leftarrow \left(\left(2u_{m_0} \cdot \frac{k_0}{h_r^2} \right) - \left(\frac{k_0}{h_r^2} + c_{1,m_0} + c_{2,m_0} + c_{3,m_0} + c_{4,m_0} \right) \right)$$

$$\cdot H_{1,m_0} + c_{1,m_0} H_{1,m_1} + c_{2,m_0} H_{1,m_2} + c_{3,m_0} H_{1,m_3} + c_{4,m_0} H_{1,m_4} + ist_{m_0} \cdot 5 \sin(\quad t)$$

4°. Модифицированный ПТМ. В качестве наиболее эффективного метода решения сеточных уравнений выбран адаптивный модифицированный попеременно - треугольный итерационный метод скорейшего спуска.

5°. Учитываются граничные условия периодичности.

6°. Осуществляется вывод рассчитываемых функций напряженности магнитного поля.

7°. Осуществляется расчет спектра.

Действительная составляющая спектра рассчитывается следующим образом:

$$H_{\sin m_0} \leftarrow H_{\sin m_0} + H_{m_0} \cdot \sin(t)$$

Мнимая составляющая спектра рассчитывается в соответствии с формулой:

$$H_{\cos m_0} \leftarrow H_{\cos m_0} + H_{m_0} \cdot \cos(t)$$

Наращивание времени $t=t+dt$

Если время меньше, чем время выхода из цикла, то возврат в п. 3°.

8°. Осуществляется вывод спектра.

9°. Рассчитывается фаза. Расчет проводится по следующим формулам

$$H_{\sin m_0} \leftarrow \frac{H_{\sin m_0}}{\sqrt{(H_{\cos m_0})^2 + (H_{\sin m_0})^2}}; H_{\cos m_0} \leftarrow \frac{H_{\cos m_0}}{\sqrt{(H_{\cos m_0})^2 + (H_{\sin m_0})^2}}$$

10°. Рассчитывается градиент фазы. Фрагмент алгоритма приведен ниже.

$$fix_{m_0} \leftarrow H_{\sin m_1} \cdot H_{\cos m_0} - H_{\sin m_0} \cdot H_{\cos m_1}$$

$$fiy_{m_0} \leftarrow H_{\sin m_3} \cdot H_{\cos m_0} - H_{\sin m_0} \cdot H_{\cos m_3}$$

11°. Рассчитывается направленность. Фрагмент алгоритма приведен ниже.

$$fix_{m_0} \leftarrow \frac{fix_{m_0}}{\sqrt{(fix_{m_0})^2 + (fiy_{m_0})^2}}; fiy_{m_0} \leftarrow \frac{fiy_{m_0}}{\sqrt{(fix_{m_0})^2 + (fiy_{m_0})^2}}$$

12°. Осуществляется вывод направленности.

Конец работы программы «Расчёт поля излучения электромагнитных волн».

Вызов и загрузка программы «volnovod». Начало работы программного комплекса осуществляется запуском исполняемого файла программы «Расчет поля излучения электромагнитных волн» - volnovod.exe. По окончании работы программы «Расчет поля излучения электромагнитных волн», результаты расчета записываются в текстовые файлы H.txt, cosH.txt, sinH.txt, fix.txt, fiy.txt. В файле volnovod.mcd осуществляется чтение и обработка полученных в результате расчетов выходных файлов H.txt, cosH.txt, sinH.txt, fix.txt, fiy.txt, а также визуализация. Выводится динамика изменения напряженности магнитного поля, направление распространения электромагнитных волн, интенсивность. Содержимое расчетного файла volnovod.mcd и результат работы программы «volnovod» приведены на Рис. 2.

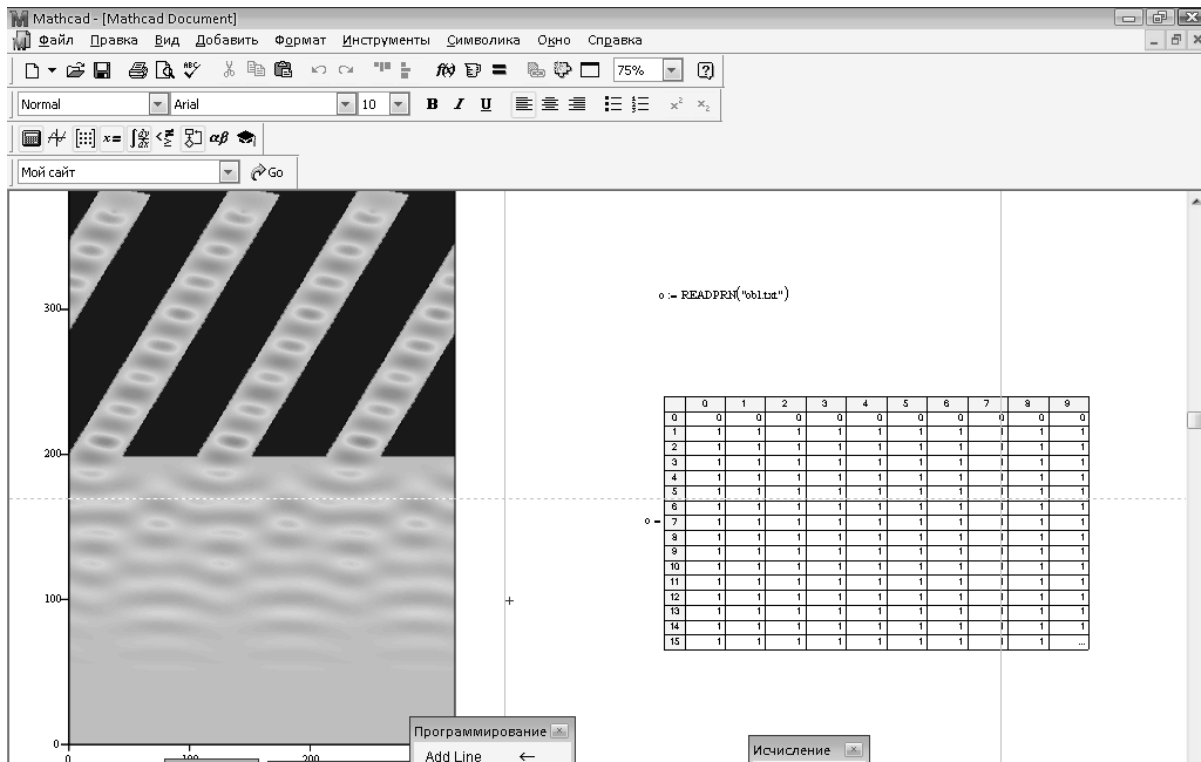


Рис. 2. Результат работы программы «volnovod»

Список литературы

1. Сухинов А. И., Огурцов Е. С., Огурцов С. Ф. Решение о выдаче патента на изобретение от 18.01.11 по заявке на изобретение № 2010113122 «Самофазирующая антенная решетка из N-пар скошенных волноводов в разные стороны». М.: ФГУ ФИПС, 2011. 184 с.
2. Сухинов А. И., Огурцов Е. С., Чистяков А. Е. Построение дискретной математической модели излучения электромагнитных волн линейной антенной решеткой из скошенных волноводов // Известия ЮФУ. Технические науки. Таганрог, 2011. № 8. 268 с.
3. Сухинов А. И., Шишениа А. В. Улучшение оценки параметра γ_1 попеременно-треугольного итерационного метода с априорной информацией // Там же. Таганрог, 2010. № 6. 262 с.

УДК 519.61

Евгений Сергеевич Огурцов

Технологический институт Южного федерального университета в г. Таганроге

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН
ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ ИЗ СКОШЕННЫХ ВОЛНОВОДОВ[©]

В настоящее время разработка требуемых конструкций самофазирующихся антенных решеток является актуальной задачей. Для разработки требуемых конструкций необходимо исследовать характеристики направленности антенных решеток. В данной работе представлены результаты численных экспериментов исследования дискретной математической модели в виде пространственно-временных топограмм распределения магнитного поля в процессе излучения электромагнитных волн линейной волноводной антенной решеткой для различных углов скоса волноводов. Представлена динамика изменения напряженности магнитного поля в процессе излучения электромагнитных волн линейными волноводными антенными решетками из скошенных волноводов.

Созданная дискретная математическая модель обеспечивает возможность реального наблюдения процессов излучения и преломления электромагнитных волн ретрансляторами связи при передаче информации.

Результаты численных экспериментов. В ходе исследования дискретной математической модели излучения электромагнитных волн линейной антенной решеткой из скошенных волноводов [3, с. 161] получены результаты численных экспериментов в виде пространственно-временных топограмм распределения магнитного поля, представленные на Рис. 1-4.

На Рис. 1 (а-г) представлены результаты математического моделирования излучения электромагнитных волн линейными антенными решетками из скошенных волноводов для различных углов скоса волноводов (показана напряженность магнитного поля).

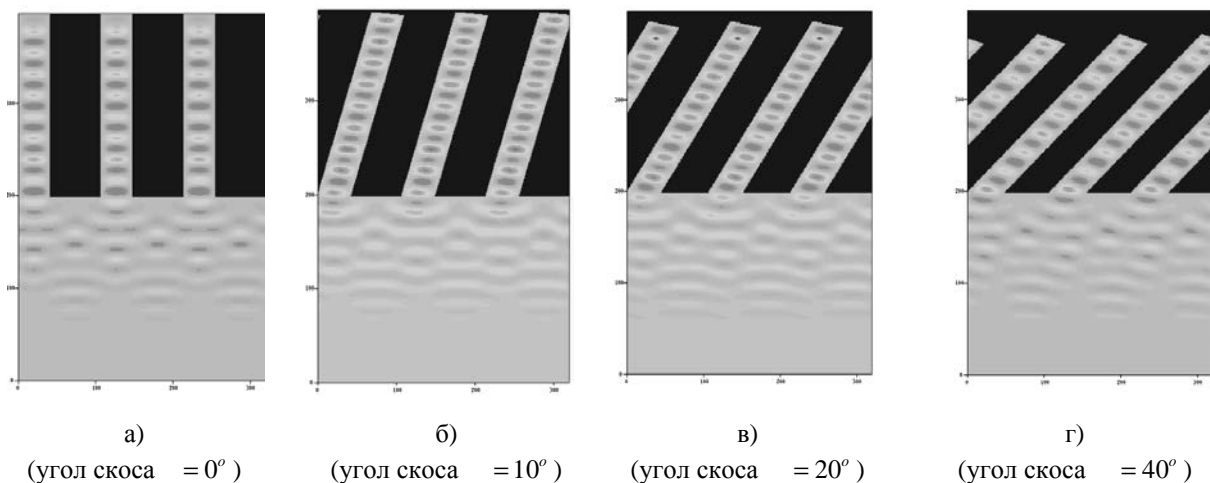


Рис. 1. Результаты математического моделирования излучения электромагнитных волн линейными антенными решетками из скошенных волноводов для различных углов скоса волноводов