

МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗНЕСЕННЫХ ПОДОБЛАСТЯХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МИНИМАЛЬНЫХ АВТОНОМНЫХ БЛОКОВ

С. В. Малый, Е. Е. Орлов

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

e-mail: maly@bsu.by

На основе метода минимальных автономных блоков разработаны методики расчета электромагнитных полей в пространственно разнесенных подобластях. Приводятся результаты использования методик для решения двухмерных электродинамических задач.

Ключевые слова: метод минимальных автономных блоков; электромагнитное поле; пространственно разделенные области.

TECHNIQUES OF ELECTROMAGNETIC FIELDS CALCULATION IN SPATIALLY SEPARATED REGIONS ON THE BASIS OF THE MINIMAL AUTONOMOUS BLOCKS METHOD

S. V. Maly, Y. Y. Arlou

Belarusian State University

Minsk, Belarus

Techniques for calculation the electromagnetic fields in spatially separated regions were proposed on the basis of the method of minimal autonomous blocks. The results of using the proposed techniques to solve two-dimensional electromagnetic problems are presented.

Keywords: method of minimal autonomous blocks; electromagnetic field; spatially separated region.

Метод минимальных автономных блоков (МАОБ) широко используется на практике при решении задач прикладной электродинамики в оптическом и микроволновом диапазонах электромагнитных волн [1, 2]. Он обладает большими потенциальными возможностями при моделировании электродинамических систем, в состав которых входят композиты и метаматериалы [3]. Одна из наиболее существенных проблем, связанных с расчетом электродинамических процессов и систем, – быстрый рост требуемых вычислительных ресурсов при увеличении волновых размеров пространственных областей, в которых рассчитывается электромагнитное поле. Для преодоления этих ограничений используются различные подходы:

- использование специальных «поглощающих» граничных условий на внешних границах исследуемой области;
- использование приближенных асимптотических методов (геометрической оптики, геометрической теории дифракции, физической оптики, метода краевых волн и т. д.);
- использование гибридных подходов на основе прямых и асимптотических методов;
- использование метода эквивалентных источников для расчета поля удаленного источника в ограниченной пространственной области;
- использование метода эквивалентных источников для расчета электромагнитного поля в произвольной точке пространства по распределению электромагнитного поля в ограниченной пространственной области.

Для задач синтеза электродинамических систем, оптимизации беспроводных каналов связи, электромагнитной совместимости, радиоэкологии, защиты информации характерна ситуация, когда варьирование конструктивных и материальных параметров осуществляется в небольших пространственных областях, размеры которых существенно меньше размеров полной системы. Поэтому необходимы эффективные алгоритмы расчета электромагнитных полей в разнесенных подобластях, ориентированные на решение задач многовариантного анализа.

Рассмотрим два подхода к расчету электромагнитных полей в пространственно разнесенных подобластях, базирующиеся на методе МАБ:

- методика, основанная на объединенной многоканальной матрице рассеяния;
- методика на основе метода эквивалентных источников.

Основные этапы методики объединенной многоканальной матрицы рассеяния представлены на рис. 1.

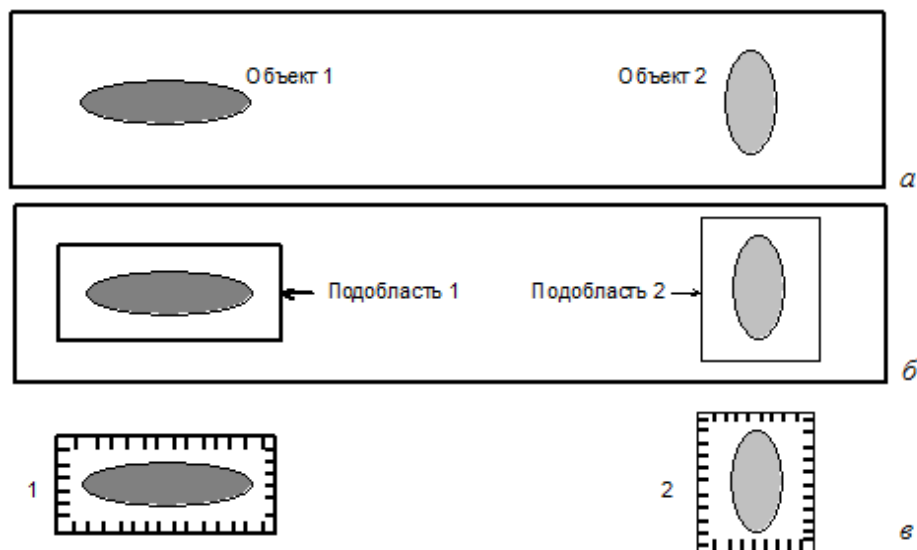


Рис. 1. Методика объединенной многоканальной матрицы рассеяния

На рис. 1, а показана исходная задача, включающая два пространственно разнесенных объекта, каждый из которых может иметь произвольную геометрию и материальный состав, а также источники и приемники электромагнитного излучения. На внешних границах полной области задаются граничные условия, зависящие от типа

решаемой задачи (внешней или внутренней). На рис. 1, б показаны подобласти, в которых размещены объекты исследования. Размеры подобластей соизмеримы с объектами, расположенными в них. Количество подобластей в общем случае зависит от количества объектов, параметры которых могут варьироваться в ходе вычислительного эксперимента, а также зон, в которых необходимо рассчитать распределение электромагнитного поля. Полная область разбивается на систему минимальных автономных блоков. Для каждого блока, входящего в декомпозиционную схему, рассчитывается матрица рассеяния. С использованием рекомпозиционного алгоритма осуществляется объединение всех внутренних каналов, за исключением каналов, выходящих на границы подобластей. Внешние каналы полной области исключаются за счет использования граничных условий. В результате получаем объединенную многоканальную систему двух подобластей, как показано на рис. 1, в. Многоканальная матрица рассеяния относительно каналов, выходящих на границы подобластей, выполняет две функции: обеспечение граничных условий на границах подобластей и их электродинамическую связь. Для последующего решения конкретной электродинамической задачи осуществляется декомпозиция каждой из подобластей на систему блоков таким образом, чтобы внешние каналы подобластей совпадали с внутренними каналами объединенной области.

В качестве примера использования методики объединенной матрицы рассеяния рассмотрим следующую двумерную задачу. Размеры полной области равны $30\lambda \times 30\lambda$. В ней выделены две подобласти, имеющие размеры $6\lambda \times 6\lambda$ и расположенные на расстоянии 14λ друг от друга. В одной области расположен линейный источник, образованный из 10 однонаправленных излучателей типа источников Гюйенса. Во второй области расположена идеально проводящая пластина толщиной $0,1\lambda$ и шириной 10λ . Задача решается с использованием итерационного варианта метода МАБ. На внешних границах области используется простейший вариант «поглощающих» граничных условий в виде согласования внешних каналов на нормальное падение волн на границу. На рис. 2 показано распределение модуля электрической компоненты электромагнитного поля во всей области. Количество итераций равно 1000.

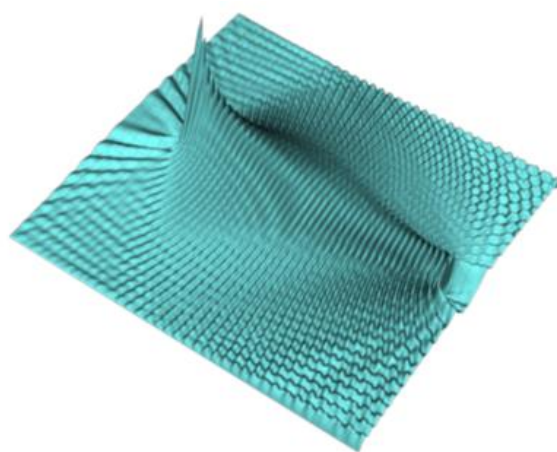


Рис. 2. Распределение модуля электрического поля в полной области

В рамках предложенной методики с использованием рекомпозиционного алгоритма рассчитаны элементы матрицы объединенной многоканальной системы. Поряд-

док этой матрицы равен 480, а распределение амплитуд матричных элементов показано на рис. 3.

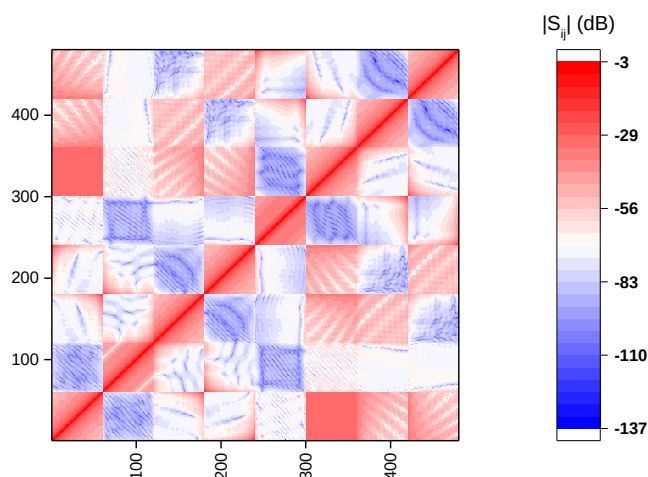


Рис. 3. Матрица рассеяния объединенной многоканальной системы

Расчет электромагнитного поля в выделенных подобластях осуществляется с использованием итерационного алгоритма. Объединенная матрица рассеяния выполняет «поглощающие» граничные условия на границах подобластей и электромагнитную связь между ними. На рис. 4 показано распределение амплитуды электромагнитного поля после 1000 итераций.

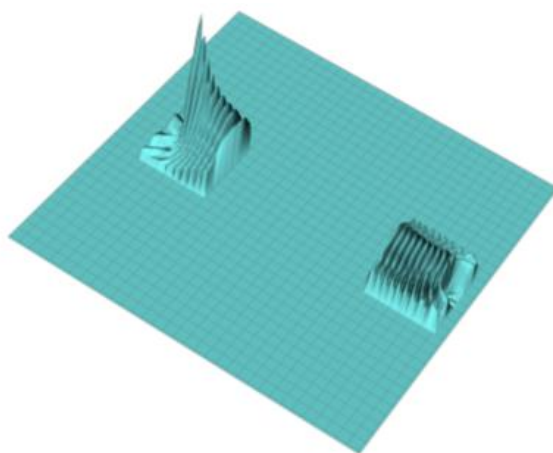


Рис. 4. Распределение модуля электрического поля в подобластях

Анализ результатов моделирования подтверждает точность и эффективность методики объединенной матрицы рассеяния для расчета электромагнитных полей в пространственно разнесенных областях. Точность расчетов не уступает точности моделирования в полной области. Методику целесообразно использовать в рамках многовариантного анализа.

Рассмотрим основные положения и результаты применения второй методики расчета электромагнитных полей в пространственно разнесенных подобластях, основанной на методе эквивалентных источников. Она включает в себя следующие основные этапы:

- декомпозиция подобластей на системы минимальных автономных блоков;
- расчет распределения электромагнитного поля в подобласти, содержащей источник;
- расчет эквивалентных электрических и магнитных токов на границе первой подобласти;
- расчет эквивалентных токов на границах второй подобласти, возбуждаемых эквивалентными токами первой подобласти;
- расчет распределения электромагнитного поля во второй подобласти с использованием итерационного метода МАБ.

При необходимости самосогласованного расчета электромагнитных полей в подобластях методика применяется рекурсивно.

В качестве примера использования методики рассмотрим задачу, представленную на рис. 5.

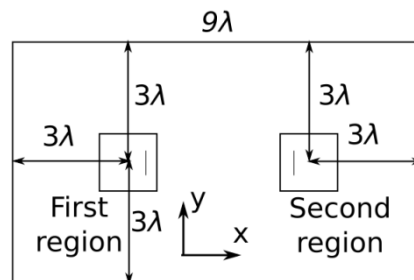


Рис. 5. Точечный источник и система двух параллельных металлических полос

В центре первой подобласти расположен точечный источник. Рассматривается случай Е-поляризации. Для расчета поля в подобластях использовался итерационный метод МАБ. Результаты моделирования представлены на рис. 6.

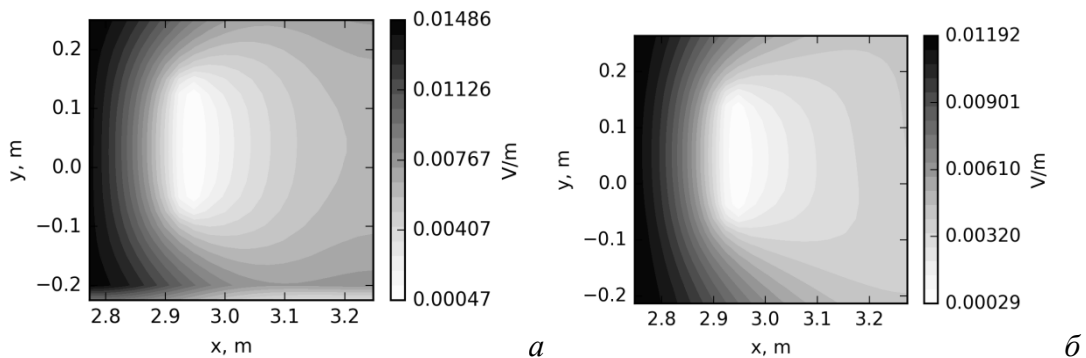


Рис. 6. Распределение электрической компоненты поля во второй подобласти:
а – расчет в полной области; б – расчет по методике эквивалентных токов

Анализ результатов моделирования подтверждает корректность методики расчета электромагнитных полей в пространственно разнесенных подобластях на основе комбинации итерационного варианта метода МАБ и метода эквивалентных источников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Никольский В. В. Декомпозиционный подход к задачам электродинамики. М. : Наука, 1983.
2. Nikolskii V. V., Nikolskaya T. I. Method MAD: 3-D problems including scattering by chiral elements in waveguide // Proc. 23 European Microwave Conf., 1993. P. 646–648.
3. Maly S. V. The electrodynamic analysis of composites and metamaterials on the basis of the method of minimal autonomous blocks // Abstracts of the International conference “DAYS ON DIFFRACTION’2011”, Russia, Saint Petersburg, May 30 – June 3, 2011. P. 145.