

## РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНИМОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ФОТОНИКИ

Ильяшенко Л.Н.

Научные руководители - д.ф.-м.н., проф. Панченко А.Ю.

д.ф.-м.н., проф. Нерух А.Г.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
(61166, Харьков, просп. Науки 14, каф. ПЭЭА, тел (057) 702-14-94)

e-mail: [mila.illyashenko@gmail.com](mailto:mila.illyashenko@gmail.com)

The work is devoted to the modern extension of classical method, that for a long time was not applicable to study state-of-art problems, while it provides fast and accurate solution. With this method electromagnetic transmission problem for Helmholtz equation is reformulated in terms of boundary integral equations (BIE). By means of parameterization BIE are reduced to those over a circle. It permits the singularity subtraction to calculate integrals numerically by using the simplest quadrature rules. The use of Fast Fourier Transform (FFT) which is based on trapezoidal rule gives rise to speed up calculations. With modern extension by conformal mapping approach not only ellipsoidal shapes but also other smooth closed boundaries and even polygonal shapes are amenable to investigation.

Моделирование наноструктур представляет новую чрезвычайно многообещающую технологическую область исследования вследствие прогресса в их производстве и необходимости их быстрого внедрения. Моделирование как правило происходит на основе *экспериментальных* исследований, требования и нужды исследователей только частично удовлетворены существующими методами *численного* моделирования.

Необходимо отметить, что свет – это тоже электромагнитная волна, тогда методы, разработанные для решения задач рассеяния электромагнитных волн, могут также применяться для решения задач рассеяния света в фотонике. Классическими уравнениями для исследования эффектов рассеяния электромагнитных волн являются уравнения Максвелла. Несмотря на то, что со времени создания уравнений Максвелла много методов для их решения было изобретено, интерес в их изобретении не утихает. Среди таких методов присутствуют численные, аналитические и численно-аналитические. В то время как численные методы являются универсально применимыми для решения задач вовлекая произвольные конфигурации произвольного числа частиц произвольной формы, аналитические методы применимы только для решения задач вовлекая частицы простой формы. Одним из примеров аналитического метода является метод точного и быстрого решения задачи рассеяния электромагнитных волн на круговом цилиндре. В то время как при решении задач фотоники круговые цилиндры также могут присутствовать при моделировании новых наноструктур, материальные свойства таких цилиндров, однако, существенно отличаются от тех, которые были заданы изначально при изобретении данного метода, реализация которого для

решения различных задач вовлекая круговые цилиндры привела к созданию целой теории, получившей впоследствии название *Теория Ми*. Таким образом стало понятно, что при решении задач фотоники предпочтение отдается методам решения задач сопряжения, а не методам решения задач рассеяния. Поэтому первоочередной целью при создании методов решения задач фотоники является расширение области применимости методов так, чтобы вместо классических задач рассеяния можно было рассматривать задачи сопряжения. Но второй главной целью на пути создания эффективного метода решения задач фотоники является создание такого *численно-аналитического* метода, который бы имел достоинства и численных схем, и аналитических схем, а именно достаточную свободу в выборе геометрических форм и высокую точность при получении быстрого решения задачи. Одним из первых численно-аналитических методов стал параметризованный спектральный метод граничных интегральных уравнений (ГИУ), а именно такой спектральный метод ГИУ, который применим для решения задач вовлекая контуры с известной параметризацией. Из курса аналитической геометрии известны параметризации только трех типов кривых второго порядка – эллипса, гиперболы и параболы. Но из трех указанных кривых только эллипс является замкнутой кривой. Таким образом метод был применим только для решения задач на эллиптических цилиндрах.

На вебсайте касательно истории геометрии описано еще несколько кривых, используя которые метод может быть применимым (квадрики, астроида, трикуспоида...). Однако в общем случае метод был не применим.

Автором этой работы была расширена область применимости метода так, что можно рассматривать эти и другие кривые. При этом несмотря на то, что метод изначально был предназначен для решения задач вовлекая гладкие кривые, найден способ решения задач вовлекая кривые, имеющие геометрические сингулярности, а именно многоугольные структуры. Для успешного применения параметризованного спектрального метода ГИУ разработан метод представления многоугольной структуры в виде бесконечного множества гладких структур.

Среди параметризованных методов ГИУ существуют прямые методы, основанные на использовании формул Грина, и непрямые методы, основанные на использовании потенциала простого слоя, потенциала двойного слоя и их линейной комбинации. Применяя такие методы, задача электромагнитного сопряжения сводится к решению системы ГИУ. Посредством изобретенной автором этой работы методом параметризации (на основании конформного отображения внутренности замкнутого контура на внутренность круга), все интегралы системы ГИУ становятся определенными интегралами, что также в процессе их вычисления позволяет произвести вычитание сингулярности так, что оставшаяся часть интеграла вычисляется при помощи любого численного метода, а значит позволяет использование быстрых преобразований Фурье, основанных на простейшем методе трапеций, гарантируя быстрый и точный результат.