

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Бушенко В. А., студент гр. 272301, Демидовец В. В., студент гр.272302

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Смирнова Г. Ф. – доцент, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики

Аннотация. В данной работе рассмотрены методы численного моделирования электромагнитных полей, а также программы, используемые для расчетов в данной области.

Ключевые слова. Метод конечных элементов, метод конечных разностей, автоматизация численного моделирования, электромагнитные поля.

Электромагнитное поле — это важное понятие во многих областях науки и техники, начиная от электроники и заканчивая мощными электростанциями. Оно представляет собой особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрическими заряженными частицами.

Создание точных математических моделей электромагнитных полей является непростой задачей, требующей учета множества факторов, влияющих на эти поля. Численное моделирование электромагнитных полей можно считать необходимым инструментом для проектирования и оптимизации различных устройств и систем.

Одним из главных преимуществ численного моделирования является возможность учитывать множество факторов, влияющих на электромагнитные поля, и получать результаты с высокой точностью.

В данной работе рассмотрены методы численного моделирования электромагнитных полей, а также программы, используемые для расчетов в данной области. Вначале будет обзор различных методов моделирования, таких как метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объемов и другие. Будут проанализированы их особенности, преимущества и ограничения. Далее будут рассмотрены программы, используемые для расчетов в данной области. Будут представлены примеры таких программ, как CST Studio Suite, Ansys HFSS. Кроме того, будет описан процесс автоматизации расчетов, который позволяет ускорить процесс моделирования и сделать его более точным и эффективным.

Численное моделирование электромагнитных полей является мощным инструментом для различных областей науки и техники, и его преимущества, такие как высокая точность и возможность автоматизации, делают его неотъемлемой частью современного инженерного процесса.

Существует несколько способов решения задач электромагнитного, теплового, прочностного и других типов анализа. Первый представляет собой аналитический метод. Его целесообразно применять в том случае, если геометрия системы достаточно проста, т. к. он включает себя упрощенные аналитические приближения с множеством ограничений и низкой точностью. Поэтому в последнее время все более часто приходит ему на смену второй способ – высокоэффективные численные методы. Каждый из этих методов имеет определенные преимущества и может использоваться один или совместно с другими[1].

Классификация этих методов включает в себя:

- метод сеток (метод конечных разностей);
- метод конечных элементов;
- метод конечных объемов;
- метод моментов;
- метод граничных уравнений;
- интегрально-дифференциальный метод.

Также отдельно можно сказать про гибридный. Суть его в том, что он включает в себя несколько методов.

Рассмотрим подробнее некоторые из методов.

Метод конечных разностей или, как часто его называют, метод сеток – наиболее старый и относительно простой метод, поскольку требует минимальной математической работы. МКР довольно успешно применялся и применяется в настоящее время для решения широкого круга расчета электромагнитных и тепловых полей. Идея метода конечных разностей (метода сеток) известна давно, с соответствующих трудов Эйлера. Однако практическое применение этого метода было тогда весьма ограничено из-за огромного объема ручных вычислений, связанных с

размерностью получаемых систем алгебраических уравнений, на решение которых требовались годы. В настоящее время, с появлением быстродействующих компьютеров, ситуация в корне изменилась. Этот метод стал удобен для практического использования и является одним из наиболее эффективных при решении различных задач математической физики.

Общая идея МКР состоит в том, что мы сводим исходную задачу к более простой задаче решения систем линейных уравнений или нелинейных алгебраических уравнений. Вид получаемой системы зависит от вида исходного дифференциального уравнения.

МКР в общем случае включает в себя три этапа:

1. Этап построения сетки. На плоскости в заданной плоскости строится сеточная область, состоящая из одинаковых ячеек определенного размера.

2. Этап, при котором исходное дифференциальное уравнение системы заменяется соответствующим конечно-разностным уравнением, описывающим их функциональные связи между соседними узлами сетки;

3. Этап решения системы из конечно-разностных с n неизвестными одним из численных методов.

Число неизвестных n (порядок решений системы) соответствует числу узловых значений, в которых определяется значение искомой функции. Выбор сеточной области зависит от конкретной задачи, но при решении мы стремимся к тому, чтобы контур сеточной области наилучшим способом аппроксимировал контур заданной области.

К недостаткам метода можно причислить сложность действий с матрицами, а также сложность описания криволинейных поверхностей тел из-за использования прямоугольной конечно-разностной сетки.

Идея метода конечных элементов (МКЭ) возникла в СССР в 1936 году, но из-за того, что вычислительная техника была недостаточно развита, был впервые применен только в 1944 году. Достоинствами этого метода являются: точность вычислений, возможность описания криволинейных границ области любой сложности, легкость учета граничных условий различных типов[2].

Основная идея МКЭ заключается в том, что любую непрерывную величину можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. Кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемой области.

При построении дискретной модели необходимо поступать следующим образом:

В рассматриваемой области фиксируется конечное количество точек (узлов);

Значение непрерывной функции в каждой точке считается переменной, которую необходимо определить;

Область определения непрерывной величины разбивается на конечное число подобластей (элементов). Эти элементы имеют общие узлы и в совокупности аппроксимируют форму области;

Непрерывная величина аппроксимируется на каждом элементе полиномом, который определяется с помощью узлов этой величины. Для каждого элемента определяется свой полином. Они подбираются таким образом, чтобы сохранилась непрерывность величины вдоль границ элемента.

МКР и МКЭ являются сеточными методами. Они обладают примерно равными возможностями с точки зрения теоретических оценок точности. Однако между этими методами есть и существенные отличия. В первую очередь, в МКР аппроксимируются производные искомых функций, а в МКЭ – зависимость исходных функций от пространственных координат и времени. В МКР строятся регулярные сетки и особенности геометрии области учитываются только в пограничных узлах, поэтому метод применяется для задач с простой геометрией. В МКЭ при разбиении на элементы учитываются геометрические особенности области. У этих методов так же есть общая проблема: высокая размерность результирующей системы алгебраических уравнений, которая частично решается с использованием высокопроизводительных ЭВМ.

Численные методы моделирования были разработаны задолго до создания ЭВМ. Тогда все расчеты велись вручную. Однако ритм разработки все время увеличивается, поэтому появилась необходимость в ускорении процесса численного моделирования. Следующим шагом к автоматизации стала разработка систем автоматизированного проектирования и пакетов прикладных программ. Все эти системы были созданы для определенных предметных областей, в первую очередь наукоемких, чтобы уменьшить время, затрачиваемое на моделирование. Однако подобные пакеты создавались годами, так как их разработка требовала знаний в предметной области, численном моделировании и программировании. При этом процесс построения модели оказался наиболее сложным для автоматизации.

Построение модели вручную является трудоемким процессом, поскольку придется столкнуться с огромным количеством различных преобразований и существует вероятность

запутаться и допустить ошибку. Использование систем автоматизированного моделирования позволяет увеличить производительность труда, уменьшить количество ошибок и затрачиваемого времени. При этом исчезает необходимость привлечения программистов для этой работы, так как используя системы автоматизированного моделирования специалист в конкретной предметной области может самостоятельно построить достаточно сложные модели[3].

Существует огромное количество методов численного моделирования электромагнитных полей. Все они разрабатывались десятилетиями и сейчас известны и применяются во всем мире. Однако в современном мире происходит повышение требований к качеству и скорости разработки электрических аппаратов и снижение требований к производственным затратам. Поэтому сейчас широкое распространение получают программные пакеты, которые позволяют оптимизировать процесс численного моделирования.

CST Studio Suite – пакет программного обеспечения, который используется для проектирования, анализа и оптимизации электромагнитных систем. Он применяется в ведущих инженерных компаниях по всему миру. Единый пользовательский интерфейс делает доступными программы для всего спектра электромагнитных полей. Благодаря этому создается возможность эффективно анализировать системы, состоящие из большого количества компонентов. CST Studio Suite позволяет оптимизировать производительность устройства, выявлять и устранять на ранних этапах проектирования несоответствия требованиям, свести к минимуму риск ошибок.

Ansys HFSS – программное обеспечение, используемое для трехмерного моделирования. Оно предназначено для проектирования и моделирования высокочастотных электронных продуктов: антенн, микроволновых компонентов, фильтров и т.д. В программе используется понятный графический интерфейс, который помогает получить высокую производительность и понимание всех проблем, связанных с трехмерной электромагнитной моделью. Благодаря возможности использования инструментов, отслеживающих состояние окружающей среды (например, данные о температуре и гидродинамике), пользователь получает полный анализ, обеспечивающий тепловую и структурную надежность.

Таким образом, в настоящее время существует необходимость автоматизации численного моделирования электромагнитных полей. Для оптимизации этого процесса разработано много различных прикладных пакетов, которые делают численное моделирование менее трудозатратным и более эффективным.

Численное моделирование является одним из наиболее эффективных методов изучения сложных систем. Численные модели проще и удобнее в использовании, так как они дают нам возможность проводить вычислительные эксперименты, когда проведению физических экспериментов мешает финансовое или физические препятствия. Численное моделирование заключается в проведении серии вычислительных экспериментов при помощи ЭВМ. Их целью является анализ, интерпретация и сопоставление результатов моделирования и реального поведения объекта с последующим уточнением модели, если это будет необходимо.

Мы рассмотрели несколько методов численного моделирования. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

К преимуществам метода конечных разностей можно отнести:

- высокую универсальность.
- относительную простоту построения решающего алгоритма.

К числу недостатков МКР разностей можно отнести следующие характеристики:

- проблематичность использования на нерегулярных сетках.
- быстрый рост вычислительной трудоемкости при увеличении числа неизвестных переменных.
- сложность аналитического исследования свойств разностной системы.

Преимуществами метода конечных элементов являются:

- высокая универсальность метода.
- возможность использования разнообразных сеток.
- сравнительная простота и единообразие способов построения схем.

К недостаткам МКЭ относятся:

- отсутствие свойства локальной консервативности.
- выполнение законов сохранения гарантируется только на глобальном масштабе.

Важным вопросом в численном моделировании электромагнитных полей так же является выбор программного обеспечения. В настоящее время существует огромный выбор программных пакетов, которые упрощают процесс численного моделирования. Пользователь может выбрать те программы, которые подходят для его целей. Благодаря этому результат его работы будет более надежным, в процессе будут вовремя устранены несоответствия требованиям и сведено к минимуму количество ошибок, что сделает процесс численного моделирования более успешным.

Список использованных источников:

1. Основные методы численного моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://lektsii.org/9-43773.html>

2. Метод конечных элементов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://portal.tpu.ru/>

3. Автоматизация численного моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.comsol.ru/blogs/automate-modeling-tasks>

UDC 519.85:537.63

NUMERICAL SIMULATION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

Bushenko V. A., Demidovez V. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Smirnova G. F. – assistant professor, PhD in Physics and Mathematics, associate professor of the department of physics

Annotation. In this paper, methods of numerical modeling of electromagnetic fields, as well as programs used for calculations in this field are considered.

Keywords. Finite element method, finite difference method, automation of numerical modeling, electromagnetic fields.