

Инженерная программа трехмерного моделирования магнитных систем littlemag

авторы: Коршунова Т.Ю., Подольский А.А.

Приборы радиоэлектроники, сепараторы, гальванометры, поляризованные реле, медицинские аппараты, осциллографы, магнето, электрические машины, дугогасительные аппараты и многие другие устройства имеют в своем составе магнитные системы с постоянными магнитами.

Проектирование устройств с постоянными магнитами является комплексной задачей, требующей знаний в области физики и математики, а также инженерной интуиции, основанной на профессиональном опыте. Специалист по проектированию таких устройств должен знать методы численного расчета магнитных полей, уметь правильно выбрать и применить метод, оценить погрешности решения.

Для автоматизации проектирования магнитных систем могут применяться САПР трех типов: универсальные, специализированные и узкоспециализированные.

В универсальных инженерных вычислительных системах собран большой комплекс расчетных и графических средств для решения широкого круга задач. Но при решении каждой конкретной задачи необходимо «настроить» универсальную систему: выбрать необходимые вычислительные модули, увязать их в определенной последовательности, обеспечить передачу данных между модулями, провести тестирование на пригодность выбранного алгоритма для решения поставленной задачи. Из-за большой трудоемкости универсальные системы в конструировании магнитных систем используются редко.

Для расчета и конструирования магнитных устройств разработан ряд специализированных САПР. Они, взамен традиционного подхода, основанного на эквивалентных электрических цепях и используемого уже в течение 100 лет, предлагают программы прямого моделирования магнитостатических полей. Как правило, они базируются на одном из трех вычислительных методов: метод конечных элементов (FEM – Finite Element Method) [1,2]; метод граничных элементов (BEM – Boundary Element Method) [3]; метод интегральных уравнений (IEM – Integral Equation Method) [4,5].

Однако, позволяя решать весьма широкий круг задач, такие системы требуют и высокой степени участия пользователя в организации получения решения. Это участие наиболее значительно при работе с FEM-системами. Здесь пользователь должен не только по своему усмотрению произвести разбиение элементов магнитной системы на треугольники (2-D представление) или тетраэдры (3-D представление), но и задать положение внешней границы с нулевым значением магнитного потенциала для магнитных систем, не имеющих естественной границы с известными граничными условиями. Результат расчета зависит от вида разбиения и числа элементов. Кроме того, для 3-D задач неудачное разбиение может привести к невозможности получения решения [6]. Поэтому пользователь специализированных САПР отвечает за качество получаемых решений.

Процесс проектирования магнитных систем с использованием известных специализированных САПР обычно заключается в итерационном повторении следующих этапов:

- подбираются вид и число разбиений, обеспечивающие, во-первых, неизменность получаемого

решения в пределах требуемой точности и, во-вторых, приемлемое время вычислений;

· проверяется устойчивость решения при возможных вариациях исходных данных (изменения

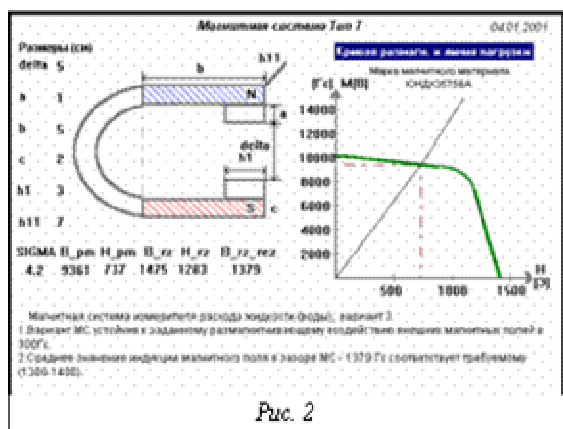


Рис. 2

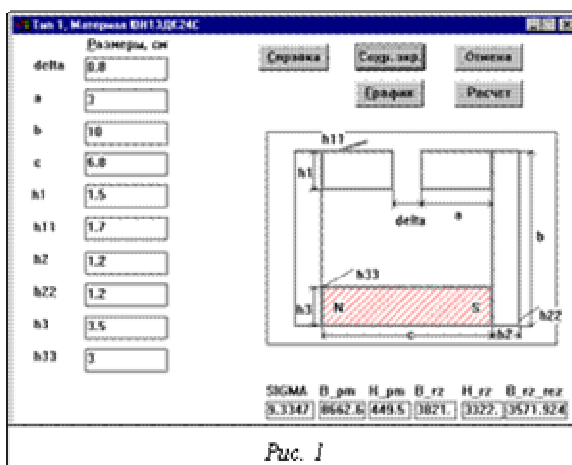


Рис. 1

геометрических и магнитных параметров элементов магнитной системы);

· проводится физическое моделирование устройства, желательно, в нескольких вариантах.

вариантах.

Практика, однако, показала, что широкий ассортимент наиболее часто используемых магнитных систем практически может быть сведен к некоторому сравнительно небольшому числу типовых магнитных систем. Следовательно, целесообразным является создание узкоспециализированных САПР, которые, охватывая конечный набор типов магнитных систем, гарантировали бы разработчику высокое качество решения задачи. Такие программные комплексы могли бы максимально использовать и аналитические, и эмпирические соотношения, полученные ранее для широко применяемых типов магнитных систем. Аккумулируя предшествующий опыт, они могли бы избавить пользователя от трудоемких действий по вводу данных и обеспечить высокое быстродействие.

LittleMag является узкоспециализированной вычислительной системой, предназначенной для расчета трехмерных характеристик магнитного поля и определения состояния магнитного материала в типовых магнитных системах и стандартных магнитных элементах.

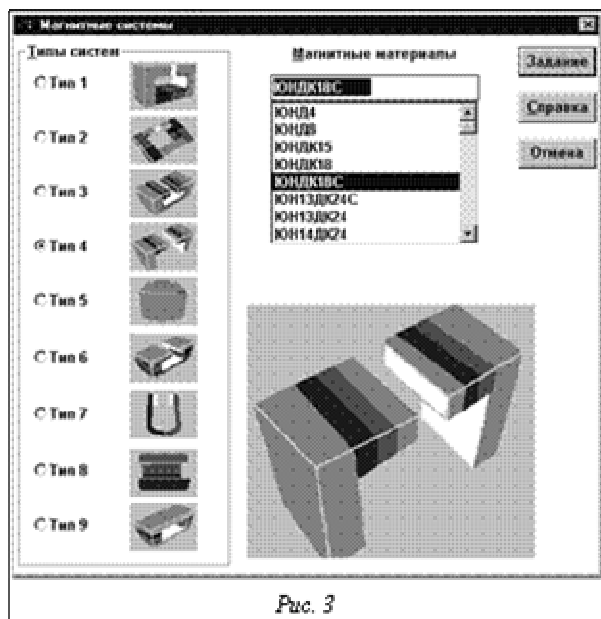
Расчетная часть вычислительной системы LittleMag использует метод цепных схем замещения, эмпирические коэффициенты и соотношения, полученные рядом авторов путем многочисленных натуральных экспериментов, метод интегральных уравнений.

Естественно, LittleMag не может решать любые задачи магнитостатики. Но LittleMag – система, открытая для расширения и модификации, и задача анализа нового типа магнитной системы или элемента легко вписывается в структуру программного комплекса не зависимо от того, какой метод расчета потребует для этого.

Ввод данных в системе весьма прост. Геометрия объектов проектирования уже представлена в виде чертежей, в которых требуется только указать конкретные размеры (рис. 1). Известно, что инженеры мыслят образами. Для обеспечения наглядности внешний вид каждой магнитной системы и элемента представлен на трех фотографиях, периодически сменяющих друг друга. Имеется возможность вызова видеоклипа, который позволяет увидеть объект проектирования в непрерывном вращении. Каталог магнитных материалов, содержащий характеристики наиболее часто используемых магнитотвердых материалов (литых, ферритовых, редкоземельных), открыт для наращивания. Результаты расчета представлены в численном и графическом виде. Образы окон программы можно сохранять в виде графических файлов, что обеспечивает разработчику удобство составления отчета по результатам работы (рис. 2).

Пользователю предложено 6 стандартных видов магнитных элементов: кольцевой магнит (с диаметральной, радиальной и аксиальной намагниченностью), пластинчатый магнит, радиально

намагниченный сегментный магнит и трапецевидный магнит. Для расчета магнитных элементов используется итерационный метод решения интегральных уравнений относительно потенциала и напряженности магнитного поля. Задача является нелинейной, трехмерной. В результате расчета инженер получает значения напряженности поля в любой точке пространства (в том числе внутри магнита), значения намагниченности и размагничивающего фактора.



Система LittleMag предлагает 9 типов магнитных систем (рис. 3). Это С-образные и дугообразные магнитные системы. Для расчета магнитных систем применяются упрощенные методы. Расчет выполняется практически моментально, за счет использования эмпирических соотношений и коэффициентов, полученных ранее и проверенных многолетним опытом [7]. В результате расчета инженер получает значения напряженности и индукции магнитного поля в рабочем зазоре, а также значение коэффициента рассеяния магнитного поля.

Таким образом, благодаря узкой специализации программы и, как следствие, простоте ввода данных и скорости расчетов, инженер-проектировщик может за небольшое время рассчитать множество вариантов конструкций, варьируя размеры магнитных систем и элементов, а также магнитные материалы.

Это свойство САПР может быть весьма полезным в процессе обучения студентов инженерному проектированию [8]. Ведь пользователь такой узкоспециализированной системы имеет возможность оперативно сопоставлять вводимые параметры (вид конструкции, ее размеры, параметры магнитного материала) и получаемые ответы, осознавая взаимосвязь между ними. Повышает эффективность обучения и то, что обучаемый не отделен от объекта проектирования стеной сложного, неестественного (на первый взгляд) интерфейса, как это бывает при использовании более универсальных САПР.

С учетом привлекательности использования данного комплекса в учебном процессе под единой программной оболочкой объединены

- электронный учебник-справочник по магнетизму, освещающий вопросы теории магнетизма и принципов конструирования устройств с постоянными магнитами,
- подробно разобранные примеры проектирования с иллюстрациями,
- вопросы для самоконтроля, позволяющие студенту реально оценить свой уровень подготовки в данной области.

Гипертекстовая структура учебника позволяет осваивать новый материал в индивидуальном темпе, пропуская известные сведения и заостряя внимание на сложных проблемах. Вопросы для самоконтроля, составленные в соответствии с материалом учебника, снабжены не только ответами, но и подсказками двух уровней, помогающими отсеять неверные варианты. По мере выбора пользователем вариантов ответов и подсказок производится подсчет, и по окончании тестирования обучаемый видит сводку своих действий.

Итак, описанная программа моделирования трехмерных магнитных систем LittleMag может быть полезна как инженерам-проектировщикам устройств с постоянными магнитами, так и студентам электротехнических специальностей.

Список литературы

1. Сильвестер П., Феррари Р. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков. - М.: Мир, 1986.
2. Дубицкий С., Поднос В. ELCUT – инженерная система моделирования двухмерных физических полей. //CADmaster. - 2001. - № 1. - С. 17-21.
3. Бреббиа К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов. - М.: Мир, 1987.
4. Подольский А.В. Об одном численном решении задачи о намагниченности ферромагнетика. // Электричество. - 1990. - № 8. - С. 80-84.
5. Подольский А.В. Универсальная система решения задач магнитостатики. // Программные продукты и системы. - 1995. - № 1. - С. 33-38.
6. Кошелев А.И. Регулярность решений эллиптических уравнений и систем. - М.: Наука, 1986.
7. Арнольд Р.Р. Расчет и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами. - М.: Энергия, 1969.
8. Соловов А.В. Информационные технологии обучения в профессиональной подготовке. // Высшее образование в России. - 1995. - №2. - С. 31-36.