

ELCUT 5.1 — платформа разработки приложений анализа полей

ELCUT — программа моделирования двумерных полей методом конечных элементов. Программа позволяет рассчитывать поля электрической, магнитной, температурной природы, а также механические упругие напряжения и деформации. ELCUT, помимо интерфейса на русском языке, отличается от родственных пакетов двумя чертами:

- дружелюбный, интуитивно ясный пользовательский интерфейс;
- высокая скорость решения задач и нетребовательность к ресурсам компьютера.

Традиционно считается, что полевые расчеты применяются в случаях, когда необходимо изучить локальные особенности проектируемой конструкции или уточнить существующие инженерные методики. Легкость ELCUT, степень автоматизации рабочих процедур и интуитивная ясность интерфейса дают возможность использовать пакет не только в исключительных ситуациях, но и в повседневных расчетных процедурах. Новая черта ELCUT — возможность обращения к его функциям из сторонних программ — позволяет объединять полевые расчеты с другими видами анализа, а также интегрировать ELCUT в комплекс программ САПР предприятия.

Статья может быть интересна специалистам, работающим в области проектирования электротехнических устройств.

Введение

Пакет ELCUT [1, 2, 3] известен с 1990 года как интерактивный инструмент для расчета двумерных электромагнитных, температурных полей, а также полей упругих напряжений и деформаций. ELCUT решает задачи, описываемые уравнениями Лапласа, Пуассона и диффузии в плоско-параллельной и осесимметричной расчетной области произвольной формы. Детальный перечень задач и соответствующих уравнений приведен в Приложении 1.

При решении нестационарных задач электромагнитного поля и теплопередачи начальным условием может быть нулевой потенциал или результат решения другой задачи. Шаг интегриро-

вания по времени назначается вручную или выбирается автоматически адаптивным алгоритмом.

ELCUT способен использовать решение одной задачи в качестве источника для другой. Так, например, распределение вихревых токов, являющееся результатом решения электромагнитной задачи, может быть использовано как источник тепловой мощности (омических потерь) для тепловой задачи, а ее результат — распределение температуры — послужит для расчета термических деформаций в задаче упругости.

Краткая характеристика компонентов ELCUT и использованных алгоритмов

Для того чтобы поставить и решить задачу расчета поля, нужно проделать следующие операции.

Шаг 1. Выбор типа и параметров задачи.

ELCUT 5.1 работает с восемью видами задач (см. Приложение 1), каждая из которых может быть сформулирована в плоской или осесимметричной постановке. Плоскую задачу расчета упругих напряжений и деформаций можно решать в приближении плоских напряжений или плоских деформаций.

Для задач, решаемых в частотной области (магнитное поле переменных токов), необходимо указать частоту, а во временной области (нестационарная электромагнитная и тепловая задачи) — задать значение шага интегрирования по времени либо запросить автоматический адаптивный выбор шага.

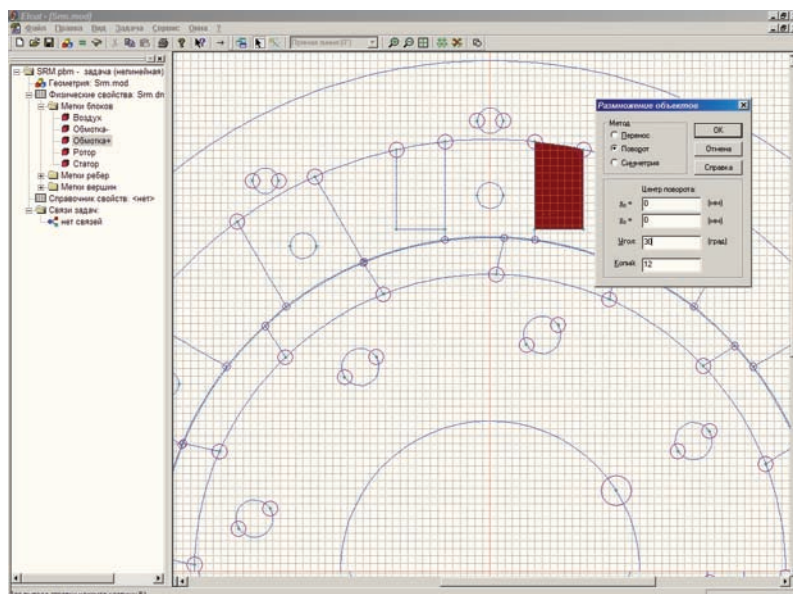
Шаг 2. Рисование расчетной области.

Для работы с геометрией расчетной области и ее конечно-элементной дискретизацией ELCUT включает в себя *редактор геометрической модели*. Окно редактора показано на рис. 1.

Несколько аскетичный набор инструментов редактирования тем не менее позволяет достаточно быстро нарисовать геометрическую модель, состоящую из прямолинейных ребер и дуг. Образующиеся при построении подобласти редактор отслеживает автоматически. Неодносвязные области, висячие вершины и ребра, резкие перепады размеров — все это корректно обрабатывается геометрическим редактором. Имеется функция перемещения и размножения фрагментов геометрической модели (подобласти, ребра, вершины) путем параллельного переноса, вращения, масштабирования или симметричного отображения.

Новой чертой геометрического редактора в версии 5.1 является функция многошагового отката последних команд, а также существенно ускоренный алгоритм удаления сетки конечных элементов.

Когда геометрическая модель готова, остается присвоить mnemonicские метки тем элементам геометрии, которым нужно приписать ту или иную физическую информацию. Так, например, все блоки модели должны быть помечены, чтобы



▲ Рис. 1. Окно редактора геометрической модели.

задать физические свойства материала и, возможно, интенсивность источника поля. Из ребер и вершин мы помечаем только те, которые будут использованы для задания граничных условий или точечных источников.

Шаг 3. Генерация сетки конечных элементов.

ELCUT работает с единственным типом конечного элемента — треугольником первого порядка. Количество треугольников может достигать двух и более миллионов, т. е. оно ограничено в основном ресурсами конкретного компьютера.

В простейшем случае построение сетки происходит полностью автоматически. Автомат генерирует сетку, оптимально обрабатывающую крупные и мелкие геометрические формы, руководствуясь критерием наибольшей плавности изменения размеров соседних треугольников.

Пользователь может управлять автоматической генерацией сетки путем расстановки ее шагов в произвольных вершинах геометрической модели. Увидев заданное значение шага в некоторой вершине, генератор сетки постарается построить вблизи нее треугольники со стороной, близкой к заданному размеру, позаботившись о плавном изменении среднего размера треугольников в отдалении от управляемой вершины. В модели с числом вершин N ручное значение шага можно указать в любом количестве вершин от нуля до N .

Построение сетки происходит в два этапа. Сначала ELCUT разрезает некоторые или все под области модели на более мелкие блоки. Этим достигаются две цели:

- во-первых, ликвидируются все имеющиеся неодносвязности и висящие вершины;
- во-вторых, область разрезается на блоки определенного размера, оптимального с точки зрения алгоритма решения разреженной системы линейных уравнений.

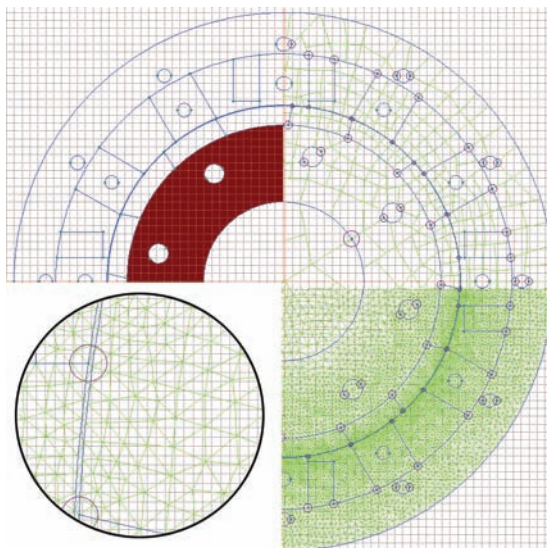
Таким образом, уже на этапе построения сетки конечных элементов начинают закладываться предпосылки для быстрого решения задачи. Алгоритм разрезания является оптимизационным процессом с целевой функцией и системой штрафов. Когда разрезание закончено, каждый из блоков обрабатывается триангулятором, который строит сетку треугольников с использованием фронтального алгоритма (стягивания текущей границы) с последующим итерационным улучшением. Процесс улучшения состоит в том, что каждая неграничная вершина смещается в центр тяжести своих соседей до тех пор, пока этот процесс не сойдется. На рис. 2 показана исходная расчетная область (слева сверху), фрагмент области, разрезанный на блоки (справа сверху), и окончательная сетка конечных элементов (внизу).

Основой алгоритмов работы с геометрической моделью является специально разработанная высокоэффективная блочная схема хранения модели, сочетающая компактность хранения с достаточным удобством манипулирования.

Шаг 4. Установка физических свойств, источников поля и граничных условий.

При постановке задач расчета поля можно использовать следующие виды граничных условий:

- условие Дирихле (заданное распределение потенциала на участках границы);
- условие Неймана (заданное распределение



▲ Рис. 2. Генерация сетки конечных элементов.

нормальной производной потенциала вдоль границы);

- условие «плавающего проводника» (постоянное, но заранее неизвестное значение потенциала вдоль границы);
- условие четной или нечетной периодичности (эта возможность является нововведением версии 5.1);
- условия конвективного и радиационного теплообмена (можно использовать при анализе температурного поля);
- условие пружинного подвеса (дополнительное условие при решении задачи упругих напряжений и деформаций).

Источники поля задаются в виде объемной плотности, которая в пределах каждой подобласти может быть константой или функцией координат.

Шаг 5. Решение задачи.

Процесс решения, запускаемый одним щелчком мыши, является основной чертой, отличающей ELCUT от других подобных пакетов. Используется итерационный метод сопряженных градиентов с предварительным обуславливанием. Как известно, численные

процедуры манипулирования с большими разреженными матрицами неотделимы от разработки эффективной схемы хранения ее элементов. ELCUT использует алгоритм, основанный на блочно-диагональном хранении матрицы,

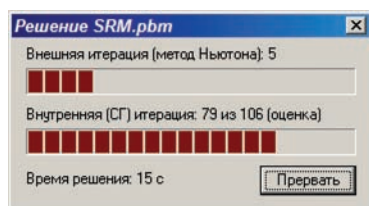
таким образом, что блоки матрицы системы линейных алгебраических уравнений соответствуют геометрическим блокам модели. Первостепенное значение при этом приобретает настройка параметров схемы, с тем чтобы размеры блоков (по числу конечных элементов) укладывались в оптимальный диапазон. Вся система мер, от разбиения геометрии на блоки до схемы обращения матрицы, опирающейся на оптимальную технологию хранения и эвристическое обуславливание, получила название «Метод геометрической декомпозиции». Главным результатом его применения является почти линейный (точнее, в степе-

ELCUT решает задачи, описываемые уравнениями Лапласа, Пуассона и диффузии в плоско-параллельной и осесимметричной расчетной области произвольной формы, работает с восемью видами задач, каждая из которых может быть сформулирована в плоской или осесимметричной постановке.

ни 1.1) рост времени решения задачи с возрастанием числа конечных элементов — против квадратичного роста, характерного для стандартных подходов.

Для пользователя это означает, что на среднем офисном персональном компьютере задача с миллионом узлов конечно-элементной сетки будет решена за несколько десятков секунд — результат, который едва ли сможет повторить любой из известных пакетов конечно-элементного анализа. Особенно заметно это преимущество при решении нестационарной задачи или при серийных параметрических расчетах, когда процесс решения повторяется десятки, сотни, а то и тысячи раз.

Задача с нелинейными свойствами среды преобразуется в серию линейных задач методом Ньютона (рис. 3). Нестационарная задача интегрируется по времени методом Эйлера с постоянным шагом или автоматическим выбором шага.



▲ Рис. 3. Индикатор процесса решения задачи.

Шаг 6. Анализ и осмысление результатов.

ELCUT предоставляет богатый набор инструментов для просмотра и анализа результатов решения. Для изображения картины поля применяется цветовая заливка, линии равного уровня, поле векторов, а также рисунок деформированной границы и измененной формы тела для упругих задач. Картина поля может быть напечатана непосредственно из ELCUT или экспортирована в векторный формат для подготовки высококачественных отчетов.

Специальный инструмент, управляемый мышью или клавиатурой, показывает локальные характеристики поля в указанной точке. В нестационарных задачах изменение локальных физических величин во времени выводится на график и в таблицу.

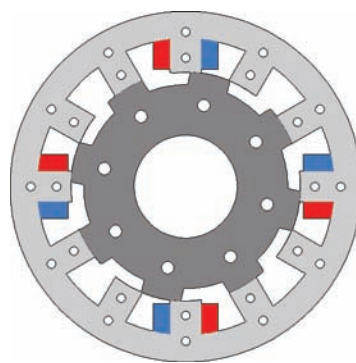
Дальнейший анализ опирается на понятие контура. Контур в ELCUT — это линия в расчетной области, составленная из отрезков и дуг окружностей. Проведя контур, пользователь получает возможность посмотреть на графике и в таблице распределение физических величин вдоль контура, а также вычислить интегральные величины, интегрируя вдоль контура или по поверхности, ограниченной замкнутым контуром. Таким способом вычисляются значения заряда проводника, усилия и вращающего момента, электрического тока и теплового потока через указанную поверхность.

Имеются специальные мастера для вычисления емкостей, индуктивностей и импедансов проводников. И наконец, имеется возможность выдать в текстовый или двоичный файл распределение поля вдоль контура или по всему пространству для дальнейшего анализа другими программами, например в среде MATLAB.

Описание, постановка и решение задачи расчета магнитного поля в вентильном реактивном двигателе

Рассмотрим возможности ELCUT на примере расчета магнитного поля в поперечном сечении электрического двигателя. Для анализа выберем мотор перспективного типа, завоевывающего все большую популярность в последнее десятилетие, — вентильный реактивный двигатель (SRM — switched reluctance motor).

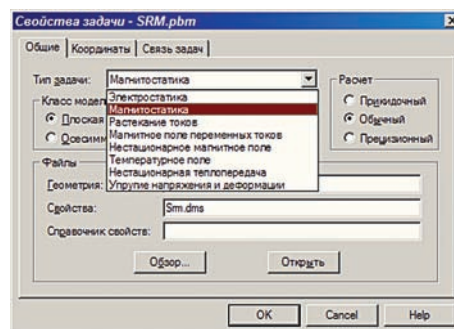
На рис. 4 показано поперечное сечение мотора SRM 8/12 (8 пазов на роторе и 12 полюсов с обмотками на статоре).



▲ Рис. 4. Расчетная модель вентильно-реактивного двигателя.

Светло-серым цветом показан сердечник статора, набранный из тонких листов электро-технической стали, темно-серым — массивный стальной ротор без обмоток. Единственная интересующая нас катушка статора изображена красным и синим. Задача состоит в том, чтобы по заданному току в катушке получить картину поля, вращающий момент и полный магнитный поток через один полюс статора.

Выбираем задачу магнитостатики (рис. 5), поскольку сейчас нас не интересуют вихревые токи.

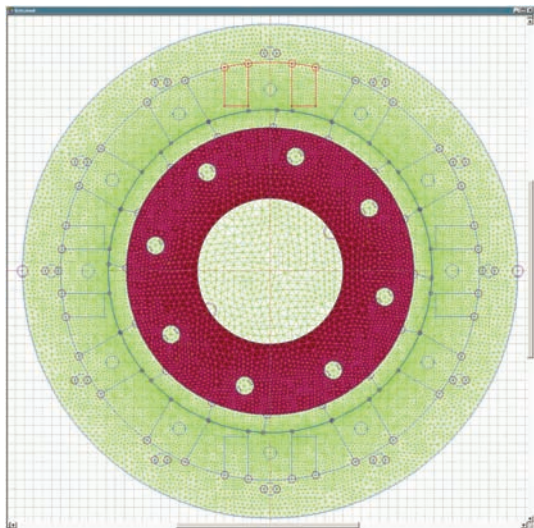


▲ Рис. 5. Панель настройки параметров задачи.

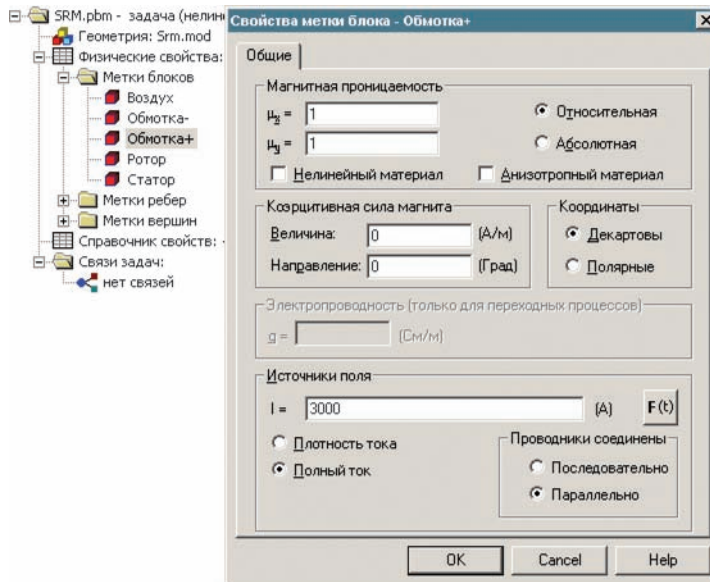
Открываем редактор геометрической модели (рис. 6), строим в нем 6 концентрических окружностей с центром в начале координат — для внешнего, внутреннего диаметра и диаметра по дну пазов каждого из сердечников.

Затем прямыми линиями отрисовываем по одному зубцу на роторе и на статоре, удаляем лишние линии построения и размножаем зубцы методом вращения — статорный зубец в 8-ми, а роторный — в 6-ти экземплярах.

Осталось пометить образовавшиеся подобласти соответствующими метками («Ротор», «Статор», «Обмотка+», «Обмотка-» и «Воздух»), а также внешнюю границу области (метка «Внешность»)



▲ Рис. 6. Геометрическая модель поперечного сечения двигателя.



▲ Рис. 7. Физические параметры ассоциируются с мнемоническими метками геометрических фрагментов.

для задания нулевого граничного условия Дирихле. Список меток и физические свойства, ассоциированные с одной из них, показаны на рис. 7.

Расчитанное магнитное поле выглядит следующим образом: на рис. 8 показана картина магнитных силовых линий, а на рис. 9 — распределение магнитной индукции по сечению мотора.

Теперь нам остается определить вращающий момент, действующий на ротор. ELCUT позволяет вычислять момент путем интегрирования тензора Максвелла (векторно умноженного на радиус-вектор) по контуру. Контур интегрирования должен окружать ротор. Удобнее всего в качестве контура интегрирования провести окружность так, чтобы она прошла посередине воздушного зазора.

Поток через полюс на один метр осевой длины (в направлении оси z) удобнее всего вычислить как разницу значений векторного магнитного потенциала в точках слева и справа от полюса.

На рис. 10 можно видеть окно, называемое «полевой калькулятор», в котором отображаются локальные и интегральные полевые величины.

При известном навыке, легко приобретаемом за один день, все вышеописанные операции занимают не более 15–20 мин.

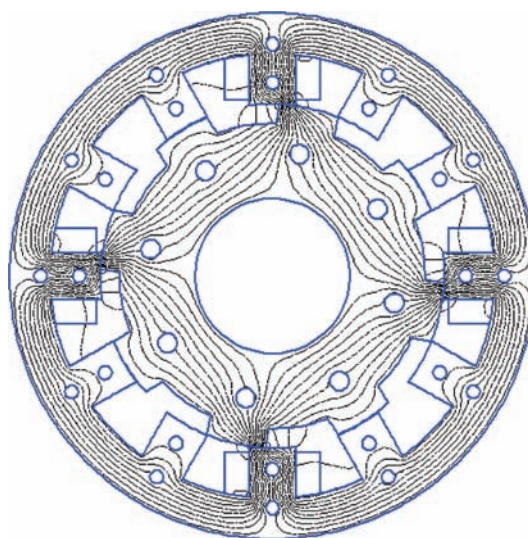
Параметрическое исследование SRM-двигателя

Специфика вентильно-реактивного двигателя состоит в том, что он представляет собой симбиоз собственно мотора и электронной системы управления им. Для проектирования транзисторной системы управления необходимо в качестве исходных данных иметь зависимость вращающего момента и рабочего магнитного потока мотора от двух величин: угла поворота ротора относительно статора и тока статорной обмотки:

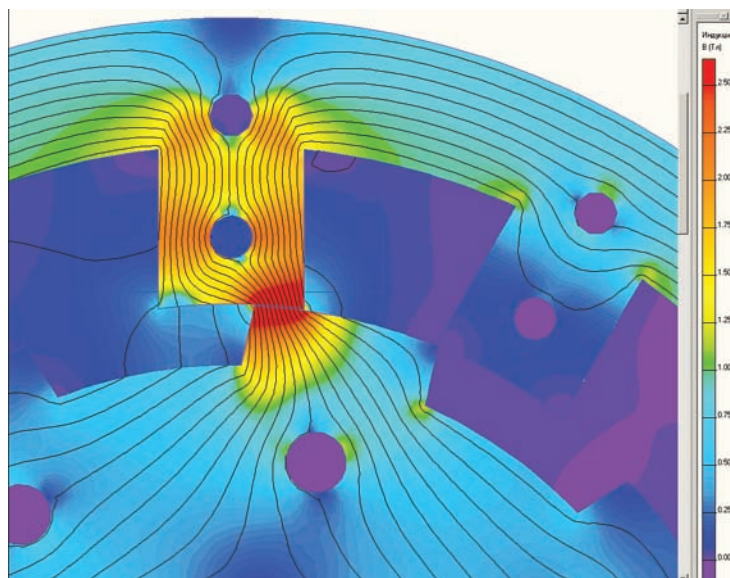
$$M = M(\alpha, I),$$

$$\Psi = \Psi(\alpha, I),$$

где M — вращающий момент; Ψ — магнитный поток через один полюс статора; α — угол поворота ротора относительно статора; I — ток катушки статора. Для этого необходимо выполнить серию расчетов поля, варьируя геометрию расчетной области и физические параметры задачи.

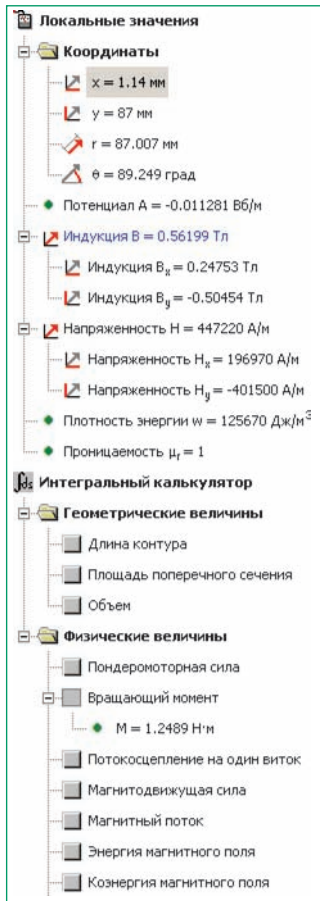


◀ Рис. 8. Силовые линии магнитного поля.



▼ Рис. 9. Распределение магнитной индукции.

ELCUT 5.1 использует технологию COM Automation как платформу для организации серийных расчетов, а также для многих других, более масштабных целей. Остаток этого раздела посвящен краткому обзору технологии ActiveField и двум инструментам автоматизации серийных расчетов и параметрического анализа, разработанным на ее базе:



▲ Рис. 10. Полевой калькулятор.

1. LabelMover — визуальный инструмент серийных расчетов;

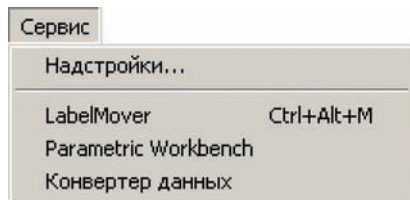
2. Parametric Workbench — оболочка для создания и исполнения специализированных модулей параметрического анализа на языке Microsoft Visual Basic 6.

Технология ActiveField

В реальной инженерной практике расчет поля является лишь небольшой частью общей задачи проектирования или исследования. Обычно требуется сопрягать программу конечно-элементного анализа (FEA) с другими расчетными системами, например с программами динамического моделирования или анализа цепей. В наиболее развитых случаях возникает необходимость интеграции FEA-программы в технологический цикл САПР предприятия. Для этого необходим специальный программный слой, играющий роль клея для сопряжения разнородного программного обеспечения. Наиболее частое решение на платформе Windows — использование механизмов межпрограммного взаимодействия на базе COM.

Способы такого взаимодействия, описание API в форме объектной модели, инструменты и примеры составляют содержание технологии ActiveField, входящей в ELCUT, начиная с версии 5.1. Практически вся функциональность ELCUT, реализуемая через систему окон и меню, оказывается доступна для внешней программы. Прикладные программы, использующие ELCUT, могут быть написаны на любом языке программирования, который поддерживает технологию COM: Microsoft Visual Basic (в том числе и VBA, встроенный в Microsoft Office), все языки .NET, Visual C++, Borland Delphi, многие скриптовые языки и т. д.

Наряду с отдельными внешними по отношению к ELCUT программами ActiveField-приложения могут быть оформлены как надстройки (addin). Надстройки (рис. 11) представляют собой динамические библиотеки, выполняющиеся в адресном пространстве ELCUT, что значительно ускоряет их работу.



▲ Рис. 11. Меню надстроек

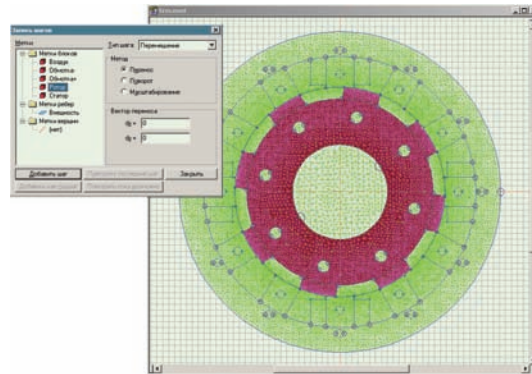
В состав ELCUT 5.1 включена надстройка «Вставка фигуры» (InsertShape), которая позволяет вставлять в модель прямоугольники, окружности, эллипсы, т. е. примитивы более сложные, чем вершины и ребра.

LabelMover: визуальный инструмент для серийных расчетов

LabelMover является полностью визуальным инструментом. Пользователь выбирает для параметрического анализа некоторую базовую модель, заранее подготовленную к решению в инте-

рактивном режиме ELCUT. Затем записывается последовательность шагов счета. На каждом шаге можно модифицировать либо геометрию расчетной области, либо значения физических параметров задачи (свойства материалов, источники, граничные условия). Шаги повторяются либо заданное число раз, либо до тех пор, пока это возможно без нарушения топологии модели.

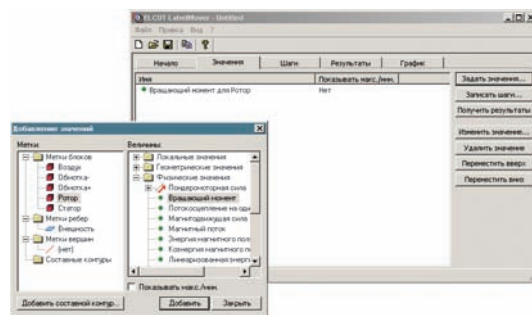
На рис. 12 показано задание шага, который состоит в повороте ротора относительно статора на угол 2 градуса. Объект геометрической трансформации выбирается при помощи меток (на рис. 12 — метка «Ротор»), выбранный метод трансформации — поворот на 2 градуса относительно начала координат.



▲ Рис. 12. Настройка шагов для серийного расчета.

После того как для каждого шага (или группы повторяющихся шагов) заданы способы трансформации и набор физических величин для вывода (среди них, как показано на рис. 13, могут быть локальные и интегральные характеристики — в последнем случае нужно указать контур интегрирования), LabelMover формирует серию задач ELCUT и принимается за их решение.

Результаты решения серии задач выводятся в таблицу и на график. Кроме того, решение каждой из задач сохраняется, и к нему можно вернуться позднее.



▲ Рис. 13. Значения, выводимые на каждом шаге.

Parametric Workbench — среда для быстрой разработки приложений параметрического анализа

Подход к постановке серийных задач, описанный в предыдущем разделе, подходит для большинства инженерных применений. Однако встречаются и более сложные случаи, например:

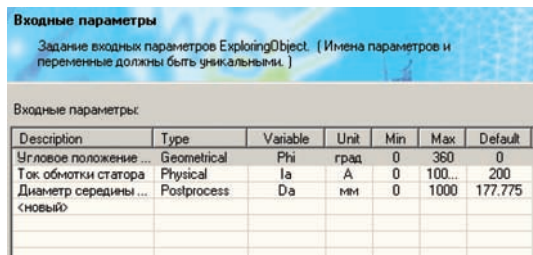
- необходимо варьировать большое количество переменных;
- модель изменяется более сложным образом, чем передвижение отдельных геометрических объектов;

• результирующие параметры не входят в число стандартных локальных и интегральных величин ELCUT и требуют специальных алгоритмов вычисления;

• на каждом шаге расчета необходимо взаимодействовать с другими программами.

Для быстрой разработки и исполнения подобных прикладных программ предлагается инструмент Parametric Workbench. Он состоит из двух основных частей:

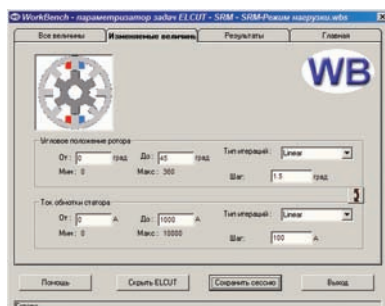
• мастер создания пользовательской части приложения (модулей) в среде Visual Basic 6 (рис. 14);



▲ Рис. 14. Настройка списка входных параметров модели.

• интерактивная среда для выполнения модулей (рис. 15), обеспечивающая:

- ввод исходных данных модели;
- выбор переменных для варьирования;
- указание метода, диапазона и шага для переменных параметров;
- хранение и демонстрацию результатов моделирования.



▲ Рис. 15. Выбор параметров итерирования для очередной сессии Workbench.

По сравнению с разработкой прикладной программы «с чистого листа» использование Parametric Workbench дает следующие преимущества:

• мастер берет на себя функции организации графического пользовательского интерфейса, проверку значений введенных параметров, показ результатов в табличной и графической форме;

• среда исполнения организует запоминание и загрузку сессий, регистрацию и переключение пользовательских модулей;

• реализованы механизмы взаимодействия с ELCUT, в том числе и поддержка асинхронного процесса решения;

• разработчику предоставляется сгенерированный шаблон исходного текста его программы, в котором специальными метками обозначены места, предназначенные для модификаций, что делает возможным быстро написать нужный код, не обладая серьезными навыками программирования.

Выводы: достижения и перспективы

Сегодня на рынке предлагается великое множество программ конечно-элементного анализа. Диапазон их цен — от нуля до многих десятков тысяч долларов. Соответственно, существенно различаются и возможности программ. В ряду своих конкурентов ELCUT 5.1 относится к «первому полусреднему весу». Он решает ограниченное число полевых задач и, к тому же, только в двумерной или осесимметричной постановках. Однако в рамках своего круга задач ELCUT обеспечивает один из лучших в мировой индустрии пользовательских интерфейсов и бесприммерно высокую скорость решения задачи.

Разработчики ELCUT поставили себе амбициозную цель — создать удобный, легкий, интуитивно ясный инструмент, который позволит превратить анализ поля из упражнения для избранных в повсеместную практику расчетчиков и исследователей.

Насколько ELCUT близок к этой цели, можно убедиться, загрузив бесплатную студенческую версию ELCUT 5.1-Студент с сайта (<http://www.tor.ru/elcut>). Она отличается от профессиональной версии только ограничением числа узлов сетки конечных элементов.



В ближайших версиях пакета ELCUT можно ожидать появления адаптивного генератора сетки, который будет способен в автоматическом режиме итеративно увеличивать плотность сетки, анализируя погрешность решения, полученного на более грубой сетке. Кроме того, планируется ввести новый тип физической задачи — расчет распределения токов в неидеальном диэлектрике в переменном электрическом поле.

В более отдаленной перспективе разработчики надеются обеспечить совместный анализ уравнений поля с уравнениями электрической цепи, а также связь с популярными программами динамического моделирования; в первую очередь с Simulink.

Литература

1. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.1. Руководство пользователя. — СПб.: Производственный кооператив ТОР, 2003. — 249 с.
2. Дубицкий С. Д., Поднос В. П. ELCUT — инженерная система моделирования двумерных физических полей // CADmaster. — 2001. — №1. — С.17–21.
3. Черных И. В. Моделирование устройств индукционного нагрева с помощью пакета ELCUT // Exponenta Pro. Математика в приложениях. — 2003. — №2. — С. 4–8.



Автор:

Дубицкий Семен Давидович, ведущий программист, руководитель группы разработчиков ELCUT; производственный кооператив ТОР, г. Санкт-Петербург

Приложение 1. Типы задач ELCUT

Тип задач	Основное уравнение поля	Особенности	Применение
Магнитные задачи	Уравнение Пуассона относительно векторного магнитного потенциала	Нелинейная зависимость магнитной проницаемости от поля, постоянные магниты	Магнитное поле постоянных токов и постоянных магнитов
	Уравнение Пуассона относительно комплексного векторного потенциала	Линейные свойства материалов, постоянная частота, параллельное и последовательное соединение проводников; источник поля — напряжения или токи	Магнитное поле квазистационарных переменных токов с учетом вихревых токов; применимо на низких частотах (до десятков МГц)
	Уравнение диффузии для векторного магнитного потенциала	Нелинейные материалы; граничные условия и источники могут быть функциями времени	Переходный электромагнитный процесс (квазистационарный) — одновременный учет насыщения вихревых токов и постоянных магнитов
Электрические задачи	Уравнение Пуассона для скалярного электрического потенциала	Линейные свойства среды; источники поля — заданные потенциалы, заряды; учитываются изолированные (плавающие в поле) проводники	Электростатическое поле: вычисляется градиент напряженности поля, емкости проводников
	То же	Источники — заданные потенциалы и поверхностные токи	Растекание токов в сплошном проводящем массиве
Тепловые задачи	Уравнение Пуассона относительно температуры	Нелинейная теплопроводность, источник, зависящий от температуры, граничные условия I, II-ого рода, конвекции, радиационный теплообмен	Расчет стационарного температурного поля. Возможен импорт распределения токов для вычисления источников
	Уравнение диффузии относительно температуры	Источники и граничные условия могут зависеть от времени и координат	Переходный тепловой процесс
Задача упругих напряжений и деформаций	Линейное уравнение в перемещениях	Изотропные и ортотропные упругие константы, сосредоточенные и распределенные нагрузки, пружинный подвес, объемные силы	Стационарное напряженное состояние. Возможен импорт теплового состояния, магнитных и электростатических сил

Новые книги

Минаев Ю. Н., Филимонова О. Ю., Бенамеур Лиес
Методы и алгоритмы решения задач идентификации и прогнозирования в условиях неопределенности в нейросетевом логическом базисе.
 М.: Горячая линия — Телеком, 2003

Рассмотрены вопросы теории и практики применения интеллектуальных технологий в современных информационных системах. Большое внимание уделено прикладным вопросам реализации интеллектуальных технологий (нечеткая математика и нейронные сети) на современной вычислительной технике, решению задач идентификации и прогнозирования в условиях неопределенности в нейросетевом логическом базисе. Приведено много примеров и программ на внутреннем языке пакета математического моделирования MATLAB.

Для научных и инженерно-технических работников, разрабатывающих и применяющих информационные системы на базе интеллектуальных технологий; может быть полезна аспирантам и студентам.

Голоскоков Д. П.

Уравнения математической физики. Решение задач в системе Maple.
 С-Пб.: Питер, 2004

В книге рассмотрены классические методы интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка, метод интегральных преобразований в конечных и бесконечных пределах, а также элементы вариационного исчисления и теории интегральных уравнений.

Особенностью учебного курса является широкое использование системы аналитических вычислений Maple при решении учебных задач математической физики. В конце глав приводится большое количество задач для самостоятельного решения и примеры решения задач в Maple с текстами программ, что делает этот учебник удобным пособием для практических и лабораторных занятий по математической физике.

Учебник может быть также рекомендован студентам и аспирантам технических университетов и высших технических учебных заведений физико-математических и инженерно-физических специальностей.

about:blank - Microsoft Internet Explorer

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

Создать
 Открыть... Ctrl+O
Сохранить как...
 Свойства
 Работать автономно
 Закрыть

Переход

Медленный Интернет и не удается воспользоваться материалами сайтов Exponenta.ru и Matlab.ru?
Разместите локальные копии наших сайтов в вашей локальной сети!

Заявки принимаются по e-mail info@exponenta.ru.

Новости программного обеспечения

• Компания Wolfram Research открыла свободный доступ к своему новому ресурсу для математиков, инженеров и студентов. Ресурс Wolfram Functions Site (<http://functions.wolfram.com/>) представляет исчерпывающие сведения практически по всем известным математическим функциям. Информация о функциях включает не только формулы и описания функций, но и очерки об областях применения этих функций, графики и готовые программные модули для пакета Mathematica. Материалы сайта Wolfram Functions Site можно загрузить в нескольких стандартных форматах: в виде модулей стандарта InputForm и StandardForm для использования в пакете Mathematica, а также в форматах MathML, ASCII, PDF. Информация иерархически организована и связана ссылками, что делает поиск по материалам сайта более удобным и быстрым, чем по любому печатному справочнику.



• Компания Wolfram Research объявила о выходе версий Mathematica 5 и gridMathematica для Linux на процессорах семейства AMD64. Оптимизированные для платформ, основанных на этих процессорах, версии Mathematica используют все преимущества архитектуры AMD64, что особенно проявляется при работе с большими объемами данных.

• Компания Wolfram Research представляет новый продукт: набор инструментов GUIKIT 1.0, позволяющий создавать графические интерфейсы к программам Mathematica. Набор инструментов J/Link, встроенный в Mathematica, дает возможность использовать в файлах Mathematica функциональность Java-классов и, в частности, обширной библиотеки графических пользовательских интерфейсов Java. GUIKit построен на базе J/Link и обеспечивает пользователей Mathematica инструментами конструирования графического пользовательского интерфейса для управления и развертывания многократно используемых сложных команд. GUIKit упрощает программирование пользовательских интерфейсов и исключает необходимость знания деталей программного языка Java.

• Вышло новое приложение программы Mathematica — Magnetica, разработанное компанией Magneticsoft для работы с задачами магнитостатики и смежных областей. Приложение использует быстрые и точные методы вычислений статических магнитных полей.

• Компания MathWorks выпустила новое приложение — Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox, которое дополняет оптимизационные способности MATLAB и приложения Optimization Toolbox инструментами, использующими genetic и direct search алгоритмы. Основные функции приложения: графический пользовательский интерфейс и команды для быстрой постановки задач, задания опций алго-

ритмов и мониторинга хода решения, Genetic алгоритмы с множеством опций, алгоритмы прямого поиска (Direct search), функции для интеграции алгоритмов Optimization Toolbox и MATLAB с genetic или direct search алгоритмами, поддержка автоматической генерации М-кода.

• Новый продукт компании MathWorks — Link for ModelSim, интерфейс для совместного моделирования, который интегрирует MATLAB и Simulink с инструментами программно-аппаратной разработки FPGA и ASIC. Он осуществляет двунаправленную связь между программами Mathworks MATLAB и Simulink и HDL имитатором ModelSim компании Model Technology. Приложение обеспечивает прямую совместную имитацию и позволяет эффективно тестировать и имитировать ModelSim модели RTL-уровня из программ MATLAB и Simulink. Традиционная среда разработки и имитация систем Mathworks использует языки MATLAB, C/C++, а также блоки Simulink. Добавляя язык HDL (Hardware Description Language) к этой среде, приложение Link for ModelSim сокращает разрыв между алгоритмическим и системными методами разработки и аппаратным внедрением.

• Компания Maplesoft представляет новую версию пакета для автоматического тестирования и оценки знаний — Maple T.A. Release 1.5. Новая версия полностью совместима с последней, девятой версией пакета Maple, включает новые и усовершенствованные функции редакторов вопросов и заданий.

• Компания StatSoft Russia завершает проект локализации — теперь вся линейка программных продуктов StatSoft будет представлена на русском языке. Русскоязычные продукты серии 6.0 появятся в продаже в апреле 2004 года.

Линейка STATISTICA 6 основана на самых современных технологиях, использует последние достижения в области IT, позволяет решать широкий спектр задач в области анализа и обработки данных, подходит для применения в любой области: маркетинге, финансах, страховании, экономике, бизнесе, промышленности, медицине и др.

Промышленная линейка STATISTICA 6 представлена модулями: Карты контроля качества, Анализ процессов и Планирование экспериментов. Эти продукты позволяют автоматизировать процессы контроля качества производимой продукции и анализа промышленных экспериментов. Впервые на русский язык переведены модули STATISTICA Neural Networks и STATISTICA Power Analysis.

• Компания Golden Software выпустила пятую версию пакета Grapher. Новая версия популярной программы создания научной графики включает новые типы графиков, в том числе трехмерные, содержит новые функции, поддерживает экспорт в 22 вида форматов файлов, проще в использовании и эффективнее за счет нового инструмента Инспектор свойств.

• ПК TOP объявил о выпуске новой версии конечно-элементного программного комплекса ELCUT — ELCUT 5.1. Главные черты новой версии — возможности расчета нестационарного электромагнитного поля, отмены операций при редактировании геометрической модели, повышение максимальной размерности сетки конечных элементов до нескольких миллионов узлов и поддержка технологии ActiveField. Бесплатная студенческая версия комплекса вместе с примерами и руководством пользователя находится в свободном доступе на сайтах <http://www.tor.ru/elcut> и <http://www.softline.ru>.

Тел. (095) 232-0023

E-mail: info@softline.ru

softline®