Применение мультифизического моделирования при проектировании печатных плат электронных устройств

Татьяна Колесникова (beluikluk@gmail.com)

В статье рассматривается задача мультифизического моделирования процессов, происходящих в электронном устройстве, и примеры её решения с помощью программы COMSOL Multiphysics. Средства программы позволяют оценить нагрев компонентов и токопроводящих дорожек, направление протекания тока, распределение электрического потенциала и температуры на поверхности печатной платы, вызванную тепловым расширением деформацию, оптимально скомпоновать печатный узел и выбрать способы его охлаждения.

Введение

Возрастающая доступность больших вычислительных ресурсов и создание современного программного обеспечения позволяют перейти на новый уровень проведения научных исследований электронных устройств на этапе проектирования печатных плат с учётом различных взаимосвязанных физических процессов, протекающих в платах.

Мультифизическое моделирование – активно развивающийся метод компьютерного моделирования, который предоставляет возможность получения многосторонней информации об исследуемом объекте посредством комплексного анализа наиболее характерных для него физических процессов и взаимосвязей между ними. Моделирование основывается на рассмотрении нескольких взаимосвязанных физических процессов в одной модели, например электромагнитных, термодинамических, механических, магнитогидродинамических, которые, в свою очередь, зависят от процессов во внешних электрических цепях. Единая математическая модель строится на основе фундаментальных законов различных научных дисциплин и предполагает установление и реализацию междисциплинарных связей для всестороннего исследования физического объекта и получения системного знания о его работе.

Мультифизическое моделирование печатных плат проводится с помощью современных программных пакетов, среди которых можно выделить COMSOL Multiphysics 5.4 – универсальную среду численного моделирования систем, устройств и процессов во всех областях проектирования, производства и научных исследований. В COMSOL Multiphysics решаются стационарные, временные и параметрические задачи электростатики, электродинамики, электромагнетизма,



Рис. 1. Пример моделирования охлаждения электронных компонентов блока питания в среде COMSOL Multyphysics

акустики, теплопереноса, теории упругости, гидродинамики.

Возможность решать тот или иной класс задач реализован в виде специальных прикладных режимов (модулей). При их загрузке автоматически выбирается нужная система уравнений, в которой необходимо задать коэффициенты и граничные условия. Например, модуль Heat Transfer (Теплопередача) содержит полный набор инструментов для выполнения тепловых расчётов и анализа влияния тепловых нагрузок, моделирования полей распределения температур и потоков тепла в устройствах и компонентах печатной платы. Модуль позволяет моделировать системы охлаждения, что особенно актуально при выполнении исследований, связанных с проектированием электронных устройств. На рисунке 1 показано распределение температуры внутри блока питания компьютера. В модели рассчитывается принудительное охлаждение устройства воздухом. Поток создаётся вентилятором, воздух поступает внутрь корпуса через решётку, закрывающую входное отверстие.

Модуль Radio Frequency (Радиочастоты) позволяет оптимизировать конструкцию электронных компонентов и устройств за счёт детального исследования физических явлений распространения электромагнитных волн, микроволнового и радиочастотного нагрева.

Модуль Semiconductor (Полупроводники) позволяет проводить анализ работы полупроводниковых приборов на фундаментальном физическом уровне. Модуль АС/DC предназначен для моделирования задач электромагнитных явлений переменного и постоянного токов, предоставляет множество возможностей для расчёта электромагнитных полей, электромагнитных помех и электромагнитной совместимости путём решения системы уравнений Максвелла с помощью современных численных методов.

С помощью пакета COMSOL можно определить влияние на электротехническую модель связанных физических явлений, относящихся, например, к теплопередаче, механике конструкций и акустике. Могут быть исследованы следующие устройства и эффекты: конденсаторы, катушки индуктивности, датчики, трансформаторы, генераторы и другие компоненты печатной платы, антенны, электрические цепи, паразитные ёмкости и индуктивности, диэлектрическое напряжение, электромагнитные помехи/электромагнитная совместимость, контактное электрическое сопротивление, функциональная надёжность радиоэлектронных средств.

На рисунке 1 показан интерфейс программы COMSOL Multiphysics, который состоит из ленты инструментов (верхняя панель окна программы), окна настроек Settings, дерева модели Model Builder и графического окна Graphics, в котором отображаются результаты анализа в виде графиков, траекторий распространения или картины распределения исследуемых параметров на поверхности модели.

В задачах исследования работы электронных устройств средства COMSOL обеспечивают:

- быстрое и точное представление распределения тепла на печатной плате, скорости и траекторий воздушного потока внутри корпуса устройства как по всей распределённой электросети, так и в отдельных областях платы;
- имитацию и анализ основных механизмов теплопередачи, в том числе конвекции, теплопроводности и излучения;
- создание профилей температуры, цветовой карты превышения температуры, а также отображение мест перегрева платы;
- быстрый и эффективный поиск на печатной плате мест перегрева, подбор решения по их устранению;
- исследование распределения электрического тока, физических явлений распространения электромагнитных волн, радиочастотных помех, теплового расширения, вибрации, вызывающей деформацию и механические напряжения в конструктивных элементах электронного изделия.

Если COMSOL-модель включает в себя несколько связанных между собой прикладных режимов (физических интерфейсов), то такая модель называется мультифизической. Система COMSOL Multiphysics самостоятельно строит систему связанных дифференциальных уравнений, исходя из требуемых режимов. В качестве примера можно привести изменение удельного электрического сопротивления при изменении температуры. При этом температура изменяется вследствие выделения тепла проводником, по которому протекает электрический ток. В этом случае совместное решение тепловой и электромагнитной задач является связанной мультифизикой.

Весь процесс решения задачи в системе COMSOL Multiphysics можно разделить на несколько этапов:

- определение физического интерфейса и типа задачи;
- 2. выбор типа исследования;
- определение глобальных параметров модели;
- определение геометрии модели, её параметров, материалов элементов модели, параметров физических интерфейсов и мультифизических связей;
- настройка параметров расчётной сетки;
- 6. расчёт задачи;
- визуализация и анализ результатов расчёта.

После проведения анализа и выявления проблемных областей разработчик на основе возможных решений может внести необходимые изменения в конструкцию устройства и/или проект платы и снова запустить анализ для дополнительного моделирования и определения результативности принятых решений.

Создание проекта

Рассмотрим мультифизическое моделирование в COMSOL Multiphysics на примере исследования размещённого на печатной плате радиокомпонента (силового транзистора). В процессе моделирования выполним расчёт нагрева транзистора, причиной которого может быть температура окружающей среды, внешние источники тепла (например, близко размещённые нагретые детали), токи, протекающие через транзистор. При прямом прохождении тока через проводник наблюдается джоулев нагрев, который необходимо учитывать в конструкции, так как температурные колебания могут изменять проводимость материала, а тепловое напряжение часто приводит к деформации.

Появление на печатной плате областей локального перегрева приводит к заметному изменению электрических параметров одного или нескольких элементов, что, в свою очередь, снижает работоспособность всей схемы. При повышенных температурах не только ухудшаются электрические параметры, но и ускоряется протекание нежелательных физико-химических процессов в материалах и конструкциях компонентов, что значительно повышает вероятность сбоя в работе электронного устройства и может привести в конечном итоге к выходу схемы из строя. Явление джоулева нагрева описывается законами сохранения электрического заряда и энергии. После решения уравнений по этим двум законам мы получим параметры температуры и электрического поля, а также определим деформацию, вызванную тепловым расширением.

Создание проекта в COMSOL Multiphysics предусматривает применение мастера, запуск которого выполняют из стартового окна программы нажатием пиктограммы Model Wizard. Мастер проекта предусматривает последовательный выбор:

- размерности пространства для компонентов исследуемой модели (окно Select Space Dimension). В нашем примере – это трёхмерное пространство (3D);
- физического интерфейса (окно Select Physics). В рассматриваемом примере для решения задачи исследования физических процессов (распределения электрического тока и связанного нагрева, а также вызванной тепловым расширением деформации) понадобятся следующие интерфейсы: Electric Currents (Электрические токи) и Heat Transfer in Solids (Теплопередача в твёрдых телах), которые добавляют выбором пункта Heat Transfer/ Electromagnetic Heating (Теплопередача/Электромагнитный нагрев) и типа задачи - Joule Heating (Джоулев нагрев) – в списке в окне Select Physics (см. рис. 2а). Подтверждают выбор нажатием кнопки Add, после чего в поле Added physics interfaces отобразятся добавленные физические интерфейсы, а также мультифизические связи, доступные в группе Multiphysics: Electromagnetic Heating (Электромагнитный нагрев). Переход к следующему шагу мастера выполняют нажатием кнопки Study;



Рис. 2. Мастер создания проекта COMSOL Multiphysics: а) выбор физики; б) выбор типа исследования

| A Application Model Primeters Definitions Definitions Parameters Definitions | File Home Definitions Geometr | y Materials Physics Mesh St | ph - COMSOL Multiphysics 🔍 🔜 |
|---|--|---|--|
| Model Builder Image: Settings Image: Settings Current Conservation Image: Settings Current Conservation Image: Settings Image: Sett | Application Model Pi as Pi for Geom | Hetry Materials | Build Mesh Mesh 1 Mesh |
| Solid 1 Override and Contribution Thermal Insulation 1 Multiphysics Electromagnetic Heating 1 Model Inputs Material Type Material type: Nonsolid Coordinate System Selection | Model Builder | Settings Current Conservation Label: Current Conservation 1 Domain Selection Selection: All domains Active | Graphics Q Q Q D D V V V V V V C O N V V V V V V V V V V V V V V V V V V |
| Coordinate System Selection | Solid 1 Solid 1 Initial Values 1 Thermal Insulation 1 Multiphysics Electromagnetic Heating 1 Mesh 1 Study 1 Step 1: Stationary | Override and Contribution Equation Model inputs Material Type Material type: Nonsolid | y ⁷ .x. Messages X Progress Log → J |
| | Kesuits | Coordinate System Selection | <u>}</u> |

Рис. 3. Новый проект COMSOL Multiphysics, созданный с помощью мастера Model Wizard

• типа исследования (окно Select Study), в данном случае – стационарное (Stationary) исследование (см. рис. 26).

После нажатия на кнопку Done окно мастера закроется, а в COMSOL Multiphysics будет создан новый проект с прикреплёнными к нему данными (см. рис. 3). При этом настройки решателя уравнений адаптируются к выбранному типу задачи – джоулеву нагреву. Сохранить новый проект можно с помощью команды Save As верхней панели инструментов окна программы.

Настройка параметров проекта и подготовка к расчёту

Настройку параметров модели в COMSOL Multiphysics выполняют с помощью элементов списка Component дерева модели (окно Model Builder) и полей ввода окна настроек Settings. В окне настроек задают основные характеристики модели, включая размерность геометрии, свойства материалов, граничные и начальные условия, а также другую дополнительную информацию, которая может понадобиться для решения задачи. Поля ввода значений доступны в окне Settings после выбора мышью нужного элемента в дереве модели, которое отображает структуру и функциональность модели, а также операции, необходимые для её построения и решения с последующей обработкой результатов. В списке Сотроnent дерева модели определяют:

- свойства модели, пользовательские переменные и функции (элемент Definitions);
- геометрию модели (элемент Geometry);
- материалы составных элементов модели и их свойства (элемент Materials);
 параметры физических интерфейсов
- (в нашем примере элементы Electric Currents и Heat Transfer in Solids);
- параметры мультифизических связей (элемент Multiphysics, в нашем примере – связь Electromagnetic Heating);
 свойства сетки (элемент Mesh).

Для настройки и запуска расчётов используют список Study, а для визуализации результатов анализа и генерации графиков и отчётов – список Results дерева модели.

Определение глобальных параметров проекта

Элементы списка Global Definitions применяют для настройки глобальных свойств проекта. Переменные и функции, область действия которых ограничивается только одной моделью, задают в свойствах модели, используя её элемент Definitions. Создадим три глобальных параметра, для чего выделим мышью в дереве модели элемент Parameters списка Global Definitions и в окне настроек в таблице Parameters определим значения коэффициента теплопередачи, плотности теплового потока и плотности тока эмиттера и коллектора транзистора (см. рис. 4а).

Создание геометрии модели

Создание геометрии модели в COMSOL Multiphysics возможно тремя способами:

- вручную, при помощи инструментов контекстного меню, которое вызывают щелчком правой кнопки мыши по элементу Geometry списка Component;
- добавлением геометрии из другой модели COMSOL (файла с расшире-

нием *.mph) командой контекстного меню Insert Sequence;

• импортированием объекта геометрии COMSOL *.mphbin или файлов, созданных в других программах: AutoCAD (*.dwg), SolidWorks (*.sldprt, *.sldasm), NASTRAN (*.nas, *.nastran, *.bdf, *.dat). Импортирование выполняется командой контекстного меню Import.

Воспользуемся третьим способом, для чего в списке Component дерева модели выделим левой кнопкой мыши элемент Geometry, щелчком правой кнопки мыши вызовем контекстное меню и выберем в нём пункт Import. В результате в списке Geometry появится одноимённый элемент, а в окне настроек станут доступны параметры импорта объекта (см. рис. 4б): тип файла - COMSOL Multiphysics file (поле Source), путь к файлу на диске компьютера (поле Filename) можно ввести вручную или выбрать файл с помощью кнопки Browse. Импорт выполняют нажатием кнопкой Import, в результате чего полученная геометрия модели отобразится в графическом окне проекта.

Определение материалов элементов модели

Для назначения материала элементам модели в списке Component выделяют пункт Materials, шелчком правой кнопки мыши вызывают контекстное меню и выбирают команду Add Material from Library. В открывшемся окне выбирают нужный материал из базы данных COMSOL и добавляют его в компонент кнопкой Add to Component. Добавленные материалы появятся в списке Component/Materials дерева модели. В нашем примере из раздела Built-In базы данных были выбраны материалы: медь (Copper), стеклотекстолит типа FR4, силикатное стекло (Silica glass) и припой (Solder, 60Sn-40Pb). Теперь для каждого отдельного добавленного материала в окне Settings можно настроить его параметры (см. рис. 4в) и определить свойства материала (поле Material Contents), которые потребуются для решения задачи. В данном случае это могут быть: диэлектрическая проницаемость (Relative permittivity), электрическая проводимость (Electrical conductivity), плотность (Density) и др. Кроме того, можно определить элементы модели, которым необходимо назначить материал (поле Selection раздела Geometric Entity Selection).



Рис. 4 (начало). Настройка входных данных проекта COMSOL Multiphysics: a) определение

глобальных параметров; б) импорт геометрии модели; в) выбор материалов из базы данных COMSOL; г) добавление в задачу источника тепла

Настройка параметров физических интерфейсов

Зададим граничные условия для задачи анализа теплопередачи и распределения электрического тока в транзисторе. Укажем элементы модели, проводящие ток, для чего щёлкнем левой кнопкой мыши по элементу Electric Currents в списке Component и выделим мышью в графической обла-



Рис. 4 (продолжение). Настройка входных данных проекта COMSOL Multiphysics: д) определение свойств теплового потока; е) заземление торцов контактов транзистора; ж) определение плотности тока для торца проводящей дорожки платы; з) определение свойств расчётной сетки

сти нужные элементы модели, после чего их номера отобразятся в поле Selection окна настроек.

По умолчанию интерфейсы Electric Currents (Электрические токи) и Heat Transfer in Solids (Теплопередача в твёрдых телах) содержат условия электропроводности и теплопроводности соответственно. С помощью команд контекстного меню можно добавить дополнительные условия и определить для них параметры, например задать источник тепла, заземление, плотность тока, тепловой поток. Новое условие добавляют щелчком правой кнопки мыши по имени физического интерфейса в списке Component и выбором имени условия в открывшемся контекстном меню. После этого новое условие появится в списке как элемент физического интерфейса (см. рис. 5).

С помощью команды Boundary Heat Source контекстного меню интерфейса Heat Transfer in Solids добавим в задачу новый источник тепла – чип транзистора. Затем определим в окне настроек плотность теплового потока Qb (поле Boundary Heat Source), значение которой задано глобальным параметром Q h (см. рис. 4г).

Для описания естественной конвекции воспользуемся командой Heat Flux контекстного меню, открытого щелчком правой кнопки мыши по элементу Heat Transfer in Solids, и определим тепловой поток, который применим ко всем областям модели, контактирующим с воздушной средой. Для этого выделим элемент Heat Flux в списке дерева модели и в окне настроек укажем следующие параметры: значение All boundaries (Все области модели) в поле Selection и коэффициент теплопередачи Heat transfer coefficient h, значение которого h coeff определено одноимённым глобальным параметром. При этом в поле Heat Flux переключатель должен быть установлен в позицию Convective heat flux (Конвективный тепловой поток) (см. рис. 4д). Значение температуры потока указывают в поле External temperature Text, в нашем примере - +20°С.

Для торцов контактов транзистора определим заземление, для чего командой Ground контекстного меню добавим новый элемент в список Electric Currents и определим в поле Selection поверхности модели (см. рис. 4е).

Для торцов проводящих дорожек платы определим плотность тока (см. рис. 4ж), для чего командой Normal Current Density контекстного меню добавим три новых элемента в список Electric Currents: Normal Current Density 1, Normal Current Density 2 и Normal Cur-rent Density 3. Для каждого из них в окне настроек определим в поле Selection соответствующую поверхность, а в поле Normal current density Jn - значение плотности тока: (1-1е-3)*ј СЕ – для условия Normal Current Density 1, j СЕдля условия Normal Current Density 2, 1e-3*j CE – для условия Normal Current Density 3.

Создание расчётной сетки

Когда все условия определены, можно перейти к созданию расчётной сетки. По умолчанию система предлагает сетку с довольно крупными ячейками. Такая сетка не может обеспечить хорошую точность решения. Для того чтобы сделать сетку более мелкой, нужно выбрать элемент Mesh дерева модели и в окне настройки определить пара-





Рис. 5. Добавление нового условия для задачи анализа теплопередачи

метры сетки самостоятельно. При этом необходимо учитывать, что слишком мелкая сетка повысит точность, но процесс решения задачи может занять довольно много времени и системных ресурсов. Поэтому в общем случае предпочтительно находить компромисс между скоростью вычислений и точностью решения.

В нашем примере задан средний размер элементов сетки (значение Fine поля Element size), который будет применён к расчёту всех условий задачи. Генерация сетки выполняется нажатием кнопки Build All, размещённой в верхнем левом углу окна настройки (см. рис. 43). Назначенные параметры модели при выполнении расчёта используются программой в качестве входных данных.

Расчёт проекта и анализ полученных результатов

Когда все входные параметры определены, можно запустить выполнение расчёта проекта, для чего в дереве модели левой кнопкой мыши выделяют элемент Study (Исследование), правой кнопкой вызывают контекстное меню и выбирают в нём пункт Compute (Расчёт). По окончании расчёта COMSOL добавит в список Results дерева модели инструменты, которые позволяют выполнить визуализацию полученных результатов, построить графики и оценить распределение исследуемых параметров на поверхности модели.

Исследование распределения электрического потенциала и направления протекания тока в модели транзистора

Для оценки электрического потенциала на поверхности модели применяют

Рис. 6. Картина распределения электрического потенциала на поверхности модели транзистора и стрелочная диаграмма направления протекания тока



Рис. 7. Распределение температуры на поверхности модели транзистора

инструмент Electric Potential. Для этого выделяют его в списке Results, правой кнопкой мыши вызывают контекстное меню и выбирают в нём пункт Surface (Поверхность). Затем в окне настроек в верхнем левом углу нажимают кнопку Plot (Построить) для отображения распределения параметра на поверхности модели (см. рис. 6). В правой части графического окна показана шкала электрического потенциала, на которой максимальное значение отмечено красным цветом, а минимальное – синим. Для отображения направления протекания тока в модели добавим стрелочную диаграмму, для чего воспользуемся командой Arrow Surface контекстного меню элемента Electric Potential. Количество стрелок, их размер и цвет указывают в окне настроек диаграммы в полях Number of arrows. Scale factor и Color соответственно.

Исследование нагрева компонентов печатной платы

Температуру нагрева транзистора при пропускании заданного тока

определяют с помощью элемента Temperature списка Results дерева модели. Картина распределения температуры на поверхности модели будет получена после выделения мышью этого элемента. Определение температуры в конкретной точке модели выполняют щелчком левой кнопки мыши, после чего значение температуры (Value) и координаты точки (x, y, z) отобразятся в нижней части графического окна на вкладке Evaluation 3D в таблице тестовых точек. Соответствие цветов картины температуре показано на размещённой в графическом окне шкале. Из рисунка 7 видно, что наибольшее количество тепла (+78°С) выделяет корпус транзистора. Такая температура находится в пределах допустимой нормы эксплуатации радиокомпонента и не требует применения дополнительного охлаждения с помошью вентилятора или радиатора. Часть тепла от транзистора отводится по медным трассам. Наиболее «холодный» регион в модели отображается тёмно-красным цветом - это печатная плата. Её темпе-



Рис. 8. График изменения температуры медных трасс

ратура составляет +25°С. Плата обладает низкой теплопроводностью и нагревается меньше остальных элементов.

На рисунке 8 представлен график изменения температуры медных дорожек, подключённых к базе и коллектору транзистора: чем дальше от края платы проложены дорожки, тем выше их температура.

Аналогичным образом выполняют исследование и других компонентов печатной платы (см. рис. 9), например интегральной микросхемы или резистора поверхностного монтажа. Как видно из рисунка 96, максимальная температура резистора составляет +130°С, что превышает допустимую норму эксплуатации и может вызвать явление теплового расширения.

Настройка параметров и исследование процессов теплового расширения и деформации компонентов печатной платы

Тепловое расширение приводит к механическим деформациям, для исследования которых в COMSOL предусмотрен физический интерфейс Solid Mechanics. Чтобы добавить интерфейс в проект, выделяют строку Component в дереве модели, щелчком правой кнопки мыши вызывают контекстное меню и выбирают команду Add Physics. В открывшемся окне в списке выбирают пункт Structural Mechanics/Solid Mechanics (Механика конструкций/ Механика твёрдого тела). Подтверждают выбор нажатием кнопки Add to Component, после чего название физического интерфейса отобразится в списке Component дерева модели.

Добавим эффект теплового расширения в анализ и настроим его параметры, для чего выделим строку Multiphysics в дереве модели, щелчком правой кнопки мыши вызовем контекстное меню и выберем в нём пункт Thermal Expansion (Тепловое расширение). Вызванная команда добавит одноимённый элемент в список Multiphysics. Выделим его левой кнопкой мыши и в окне Settings в поле Selection выберем значение All domains (все области). В результате для всех элементов модели будет включено моделирование теплового расширения (см. рис. 10).

Информация о коэффициенте теплового расширения и опорной температуре деформации отображается в разделах Thermal Expansion Properties (Свойства теплового расширения) и Model Input (Параметры модели) окна настроек. Значение коэффициента теплового расширения (поле Coefficient of thermal expansion) можно назначить из списка материалов (пункт From material). Опорная температура деформации (поле Volume reference temperature) по умолчанию равна комнатной температуре (+20°С) и является максимальной температурой, при которой тепловое расширение ещё не наблюдается. В разделе Coupled Interfaces (Сопряжённые интерфейсы) показано, какие два физических интерфейса определяют физику теплового расширения и механику твёрдого тела.



Рис. 9. Распределение температуры на поверхности модели: а) интегральной микросхемы; б) резистора поверхностного монтажа

Запустим расчёт проекта, а затем визуализируем области смещения, вызванного тепловым расширением. Для этого выделим список Results, правой кнопкой мыши откроем контекстное меню и выберем в нём пункт 3D Plot Group. В результате чего в списке Results появится новый элемент, в контекстном меню которого выберем пункт Surface для исследования распределения рассматриваемого параметра на поверхности модели. В окне настройки анализа в поле Expression введём переменную, которая описывает тепловое расширение (solid.disp), в поле Unit укажем единицы измерения (mm) и нажмём на кнопку Plot. В результате в графическом окне программы на поверхности модели в виде цветовой заливки отобразятся области локального смещения, вызванного тепловым расширением (см. рис. 11). Зона максимального расширения на карте определена красным цветом.

Теперь добавим сведения о деформации. В списке Results/3D Plot Group выделим элемент Surface, правой кнопкой мыши вызовем контекстное меню и выберем в нём пункт Deformation. Полученные результаты анализа представлены на рисунке 12. Как видно из рисунка, превышение максимально допустимой температуры эксплуатации радиокомпонента может привести не только к его деформации, но и к деформации печатной платы, на которую он установлен. В результате этого радиокомпонент может работать некорректно или совсем выйти из строя. На рисунке 12а показана деформация резистора, определяемая тепловым удлинением и сдвигом компонента на плате по оси Х, а на рисунке 126 – деформация, определяемая изгибом печатной платы. Визуализация областей смещения,



Рис. 10. Добавление в проект COMSOL физического интерфейса Solid Mechanics и его настройка



Рис. 11. Исследование теплового расширения резистора

вызванного тепловым расширением, и деформации транзистора при указанных выше настройках представлена на рисунках 13.

Экспериментальные данные, полученные в результате анализа, предоставляют разработчику информацию о состоянии исследуемой модели и процессах, которые в ней происходят. Данная информация будет полезна при прогнозировании распределения тепловых полей в конструкции электронного устройства и позволит своевременно предотвратить недопустимые перегревы.

Заключение

При проектировании современных электронных устройств разработчик всё чаще сталкивается с необходимостью исследования происходящих в них физических процессов, что невозможно без аналитических или численных расчётов. Проведение расчётов позволяет прогнозировать распределение тепловых полей в конструкции и своевременно предотвращать недопустимые перегревы. Численные методы, применяемые в специальных программах, требуют значительных вычислительных и временных ресурсов, но при



Рис. 12. Исследование деформации резистора (а) и интегральной микросхемы (б) при превышении максимально допустимой температуры эксплуатации





Рис. 13. Области смещения, вызванного тепловым расширением (а) и деформацией транзистора (б)

этом позволяют проводить расчёты с высокой точностью. Такой подход при разработке серийных устройств является более предпочтительным, чем аналитические методы, т.к. последние имеют весьма ограниченное применение, требует использования сложного математического аппарата и могут вносить значительные погрешности в вычисления.

Применение компьютерного моделирования позволяет оценить возможные критические ситуации и установить предельные режимы эксплуатации непосредственно в среде разработки. Полученные результаты могут использоваться в качестве граничных условий для моделирования на последующих этапах проектирования электронного устройства. Таким образом, мультифизическое моделирование способно уменьшить количество брака, материальные издержки, увеличить срок службы изделия, провести предпроизводственную оценку выполненных исследований.

Литература

- Красников Г. Е., Нагорнов О. В., Старостин Н. В. Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». Москва. 2012.
- Кучерявая И. Н. Применение мультифизического моделирования в решении задач электротехники. Журнал «Работы ИЭД НАН Украины». 2015. Выпуск 42.

новости мира

«Крокус Наноэлектроника» выпустила энергонезависимую память нового поколения

«Крокус Наноэлектроника» (КНЭ), портфельная компания РОСНАНО, объявила о выпуске чипов энергонезависимой резистивной памяти, созданных на базе технологического процесса 55 нм ULP (Ultra Low Power).



Результаты тестирования подтвердили заявленные характеристики. Дальнейшие работы будут проводиться в сотрудничестве с российскими и зарубежными партнёрами. Основная цель – интеграция российских чипов памяти в инновационные продукты наиболее перспективных областей микроэлектроники: Интернет вещей, системы искусственного интеллекта, промышленную автоматизацию, портативную и медицинскую аппаратуру.

Резистивная память (ReRAM) – одна из разновидностей энергонезависимой памяти (позволяет сохранять данные при отсутствии питания). «Крокус Наноэлектроника» является единственным в России предприятием, способным серийно выпускать энергонезависимую память нового поколения.

Первые образцы имеют объём памяти 1 Мбит и в краткосрочной перспективе могут быть масштабированы вплоть до 128 Мбит. Выпущенные чипы демонстрируют энергопотребление при операциях чтения и записи на уровне передовых мировых технологий энергонезависимой памяти. Первым продуктом с новой микросхемой памяти, который планируется к выпуску, является чип радиочастотной идентификации (технология UHF RFID), использующийся, в частности, для маркировки товаров при складском учёте.

Высокая энергоэффективность памяти, производимой на заводе КНЭ, является ключевым фактором для таких приложений, как Интернет вещей и системы искусственного интеллекта. Это сделает реальным выпуск автономных приложений искусственного интеллекта, работающих от батарейки.

Одним из преимуществ технологии ReRAM является устойчивость чипов к воздействию неблагоприятных условий, в том числе высоких температур. Это создаёт дополнительные перспективы её применения в высоконадёжной электронике, включая медицинскую технику.

Разработка и выпуск чипов памяти КНЭ были произведены на КМОП от Shanghai Huali Microelectronics Corporation (HLMC).

ООО «Крокус Наноэлектроника»

РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

 \cap





А МИНПРОМТОРГ РОССИИ

Ŵ

Федеральное агентство связи (РОССВЯЗЬ)



Информационные и коммуникационные технологии

0

0

0

.0

 \bigcirc

 \cap

0

0

2-6 ноября 2020



32-я международная выставка

Организатор:



При поддержке:

- Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ
- Федерального агентства связи (РОССВЯЗЬ)

Под патронатом ТПП РФ

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

www.sviaz-expo.ru



