

ИЗДАНИЕ ДЛЯ РУКОВОДИТЕЛЕЙ
Ускорьте исследования с помощью
мультифизического моделирования

Программное обеспечение COMSOL®

Комплексная платформа для физического моделирования, проектирования и развертывания приложений

COMSOL Multiphysics®

Решайте задачи проектирования при помощи численного моделирования

При проектировании продуктов вам понадобятся самые точные и наиболее полные инструменты моделирования, которые позволят решить задачи в краткие сроки и опередить конкурентов.

Программный пакет COMSOL Multiphysics® — это комплексная платформа для эффективного моделирования и анализа, позволяющая исследователям ускорить разработку продукта и снизить сопутствующие риски.

Удобный для пользователя интерфейс и единые принципы работы с обычными и мультифизическими моделями помогут изучить множество физических систем.

Моделируйте любые физические явления: электрические, механические, гидродинамические, температурные, акустические и химические (см. «Семейство продуктов» на стр. 18).

Анализируйте показатели работы продукта в различных условиях, проверяйте и улучшайте свои разработки, прежде чем приступить к прототипированию.

Пользуйтесь мощными решателями для точного и быстрого выполнения задачи; работайте на любых компьютерах — от обычных настольных до высокопроизводительных кластеров и облаков (см. «Выбор лицензии» на стр. 19).

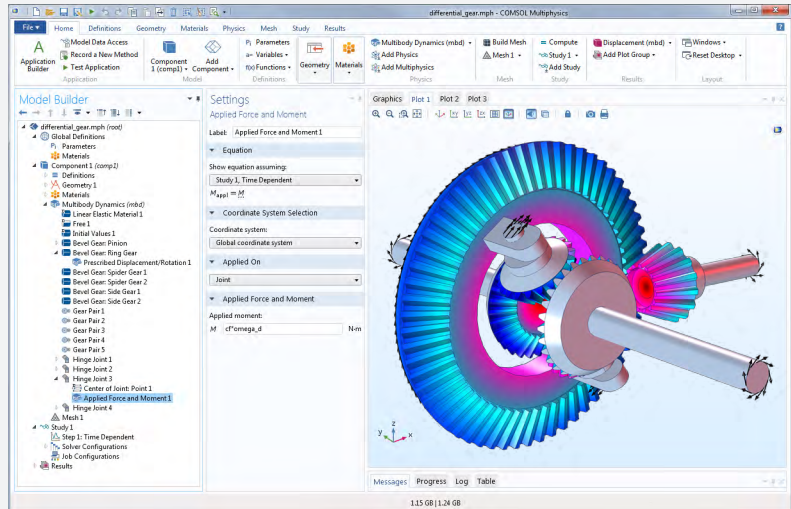
Создавайте визуализации результатов с помощью встроенных интуитивно понятных функций постобработки. Интегрируйте свои модели с популярными отраслевыми программными пакетами для технических вычислений и анализа данных, а также CAD-системами. Организуйте совместную работу с коллегами и с легкостью делитесь ее результатами с представителями других отделов.

COMSOL Server™

Развертывайте приложения во всех подразделениях своей организации

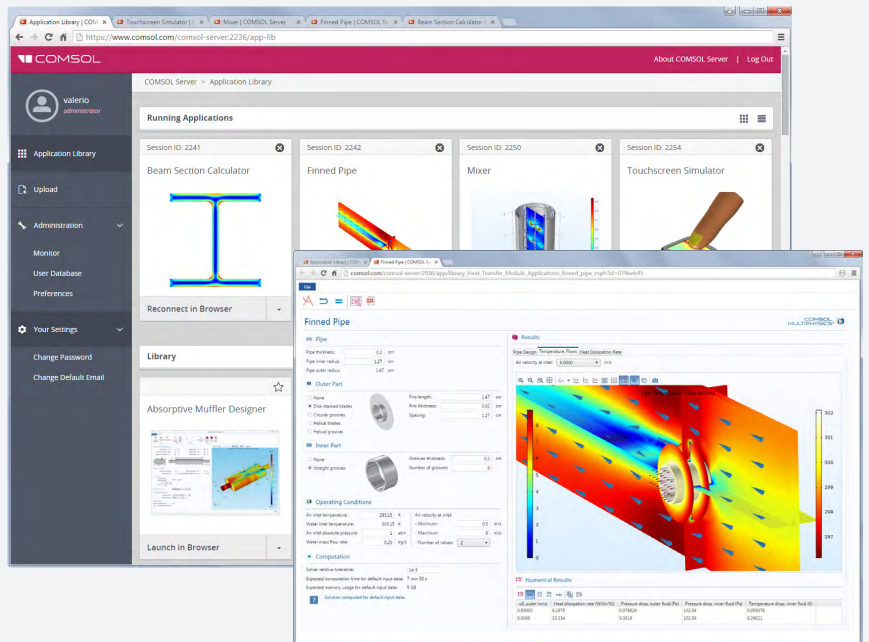
Создавайте специализированные, удобные в использовании приложения, основанные на численных моделях, с помощью Среды разработки приложений, входящей в пакет COMSOL Multiphysics®. Сделайте свои модели доступными для коллег и клиентов по всему земному шару.

Запускайте приложения непосредственно в COMSOL Multiphysics или используйте пакет COMSOL Server™, чтобы получить к ним доступ через бесплатное клиентское приложение COMSOL Client для ОС Windows® или распространенные веб-браузеры.



COMSOL DESKTOP® для численного моделирования физических систем

Разрабатывайте мультифизические модели любых систем с помощью Построителя моделей и используйте инструменты постобработки для визуализации результатов. (Рисунок выше: численная модель дифференциальной зубчатой передачи в программном пакете COMSOL®)

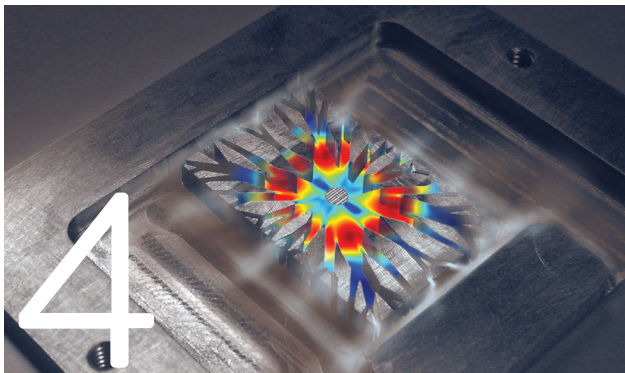


СДЕЛАЙТЕ СВОИ МОДЕЛИ ДОСТУПНЫМИ ДЛЯ КОЛЛЕГ И КЛИЕНТОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ COMSOL SERVER™.

Выбирайте, какими результатами моделирования поделиться с коллегами, сотрудниками и заказчиками. (Рисунок выше: приложение COMSOL для моделирования ребристой трубы, позволяющее оценить тепловые характеристики различных геометрий)

УСКОРЬТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Передавайте высокоточные модели и приложения для моделирования проектировщикам, технологам и другим специалистам.

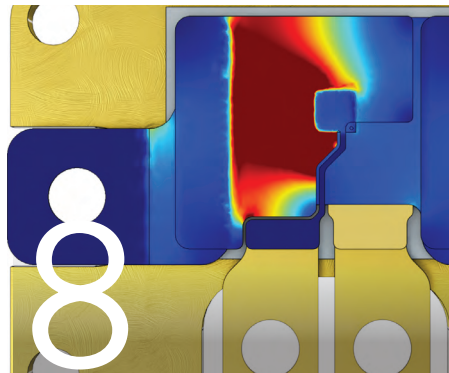


4

Toyota

**АВТОМОБИЛЕ-
СТРОЕНИЕ**

Исследователи с помощью моделирования ищут оптимальные варианты терморегулирования для гибридных автомобилей.

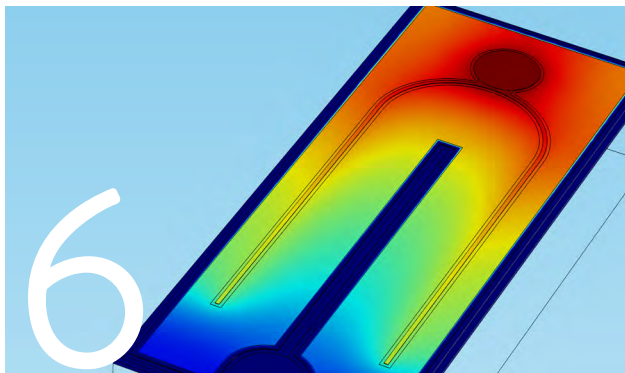


8

Wolfspeed

СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Приложения для моделирования использовались с целью проектирования полупроводниковых устройств, способных выдерживать экстремальные температуры.

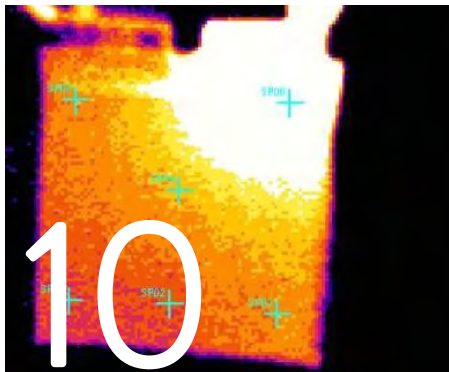


6

Sharp

**ДИСПЛЕИ
И ОСВЕЩЕНИЕ**

Мультифизическое моделирование использовалось для оптимизации конструкции светодиодов, уменьшая необходимость повторного проектирования.

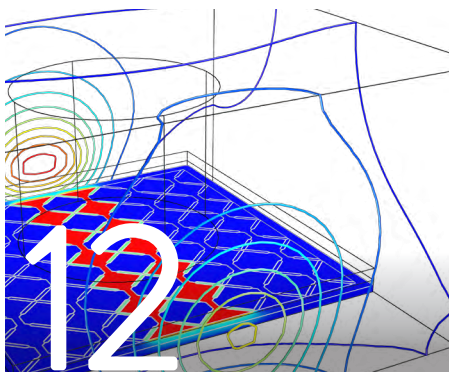


10

Fiat

ГИБРИДНЫЙ ТРАНСПОРТ

Исследователи изучали распределение температуры внутри аккумуляторной ячейки в поисках проблемных точек.



12

Cypress

СЕНСОРНЫЕ ЭКРАНЫ

Инженеры использовали приложения для моделирования с целью улучшить взаимодействие между группами разработчиков и упростить проектирование сенсорных экранов.



14

mieletec

**КУХОННАЯ БЫТОВАЯ
ТЕХНИКА**

Исследователи компании mieletec использовали продукты COMSOL® для решения ключевых задач проектирования.

Мы рады вашим вопросам и комментариям.

Свяжитесь с нами по адресу info@comsol.ru.

Численная оптимизация топологии радиатора системы охлаждения бортовой электроники гибридных автомобилей Toyota

→ ИЗОБРЕТЕНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

Гибридные автомобили Toyota оборудуются сложными электрическими системами, состоящими из большого количества полупроводниковых устройств, например, диодов и биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), используемых для преобразования энергии и управления. В целях регулирования температуры этих устройств они устанавливаются на алюминиевые радиаторы или платы охлаждения, через каналы охлаждения которых прокачивается водно-гликолевый раствор.

Так как согласно плану технологического усовершенствования эти электронные компоненты должны стать более чем наполовину компактнее и сохранить свои энергетические характеристики, плотность рассеиваемого теплового потока увеличивается. Поскольку к свободному пространству в моторном отсеке нельзя относиться расточительно, применение более мощного — а, следовательно, и более крупного — насоса для прокачки большого количества хладагента через платы охлаждения не является эффективным решением.

Исследователи из Североамериканского научно-исследовательского института Toyota (TRI-NA) в Энн-Арбор, штат Мичиган, провели работы по модернизации платы

охлаждения. Д-р Эркин (Эрик) Дид, руководитель Отдела научно-технических исследований в области электроники TRI-NA, объясняет, что «цель работы заключалась в том, чтобы создать плату охлаждения, объединяющую в себе струйный эффект и каналы охлаждения с оптимально разветвленной сетью для равномерного отвода большей части тепла при минимальном перепаде давления». Основной проблемой для Эрика и его коллег стала разработка разветвленной сети каналов охлаждения, причем для определения тепловых характеристик большого количества возможных топологий могло потребоваться создание непозволительно большого количества опытных образцов.

→ УСКОРЕНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА: УДОСТОВЕРЕННОЕ НАГРАДЫ ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ

Экономя время и деньги на аналитические методы проектирования и изготовление и испытание физических прототипов, Дид и его коллеги оптимизировали топологию с помощью численного моделирования и мультифизического анализа, чтобы разработать и испытать возможные опытные образцы инновационного радиатора для будущих поколений гибридных автомобилей. Этот рабочий процесс включал моделирование с использованием программного обеспечения COMSOL Multiphysics®, которое позволило разработать

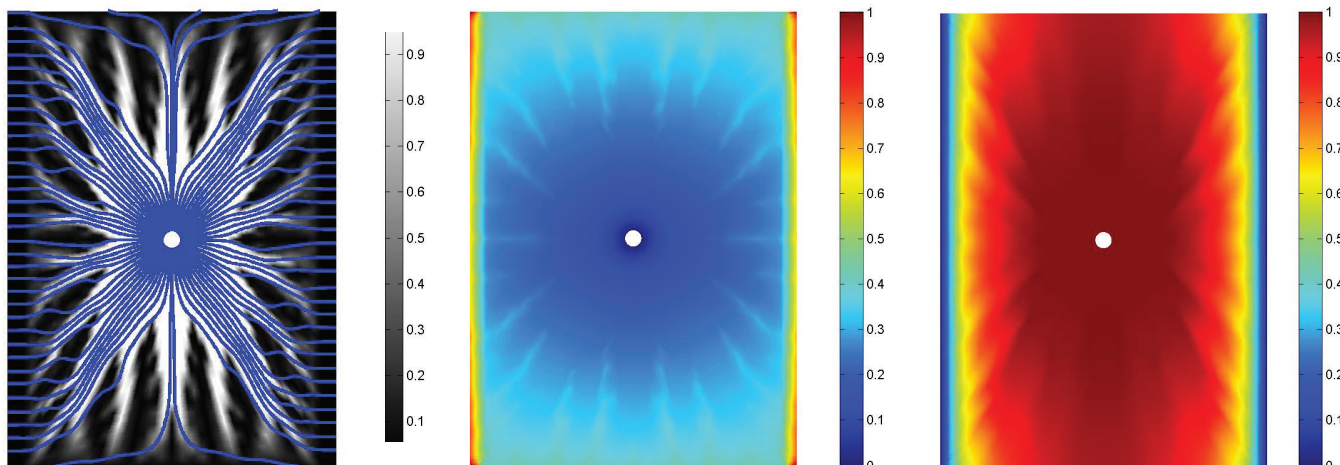
эффективную разветвленную схему каналов охлаждения для модернизируемой платы охлаждения.

Разработка конструкции инновационного радиатора, за которую рабочая группа в 2013 году получила награду R&D 100, проводилась в рамках программы ускоренных перспективных исследований TRI-NA в области энергетики, охраны окружающей среды, безопасности и транспортной инфраструктуры.

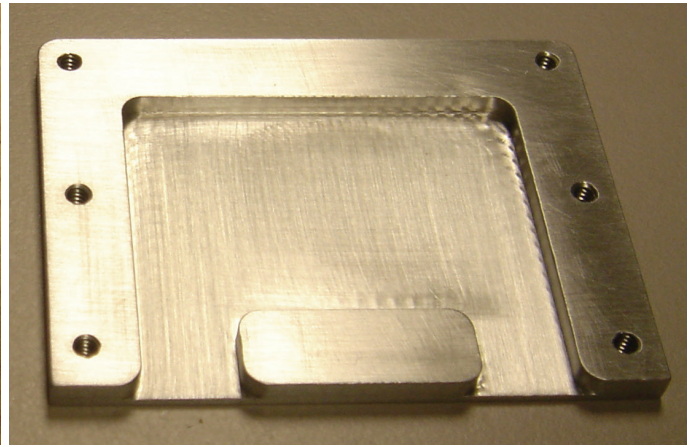
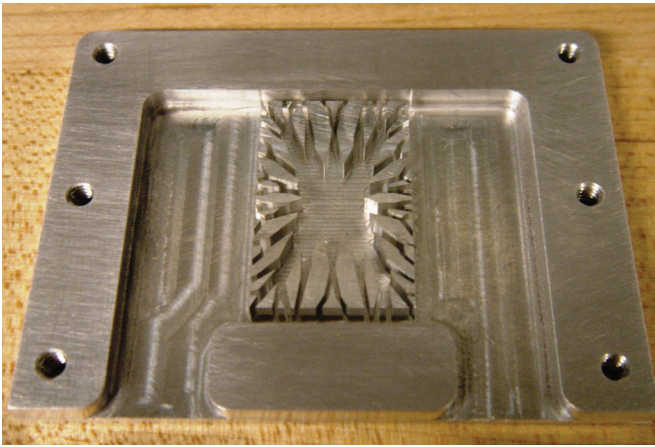
→ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

«Многие исследователи, работающие в различных направлениях, пришли к выводу, что эффективным способом охлаждения поверхностей является ударная струя, — рассказывает Эрик Дид. — Хотя технология струйного охлаждения обеспечивает эффективный отвод тепла непосредственно рядом со струей, по мере удаления от выпускного отверстия эффективность охлаждения снижается». Исходя из этого выработанное решение объединяет в себе технологию охлаждения однофазной ударной струей в центральной области платы и сложную иерархическую разветвленную сеть каналов охлаждения для периферийных участков. «Чтобы свести перепад давления к минимуму, эти каналы должны быть короткими», — поясняет исследователь.

Оптимизация разветвленной сети каналов охлаждения с целью улучшения



Представленная в этой статье оптимизированная топология каналов охлаждения с отмеченными синим цветом каналами для жидкости (слева), графиком нормированной температуры (в центре) и графиком нормированного давления (справа).



Опытные образцы алюминиевых плат охлаждения с типичной топологией микроканалов (слева) и без нее (справа).

тепловых характеристик платы охлаждения была выполнена на основе численного моделирования в среде COMSOL Multiphysics с использованием модулей Вычислительная гидродинамика и Теплопередача. Кроме того, с помощью модуля LiveLink™ for MATLAB® д-р Дид смог использовать написанный им в MATLAB® код для оптимизации

принять во внимание высоту перегородок между каналами охлаждения, которая определялась в рамках отдельного исследования для калибровки параметров. Результаты моделирования показали, что благодаря новой топологии каналов обеспечивается эффективного и равномерное охлаждение.

средства проектирования САПР, благодаря чему удалось легко импортировать различные структуры из ПО SolidWorks® в COMSOL® для контроля перепада давления и теплопередачи, — комментирует Дид. — Я полагаю, что такой подход действительно является будущим моделирования, поскольку он позволяет объединить средства САПР с инструментами моделирования и, соответственно, ускорить процесс разработки, быстро и точно добавляя новые изменения в модель». По проектам, разработанным в ПО SolidWorks®, методом микромеханической обработки были изготовлены опытные образцы из алюминия. Усовершенствованная плата охлаждения для электроники позволила повысить теплопередачу на 70%, в то время как по размеру она в четыре раза меньше изделий, используемых в настоящий момент.❖

«... такой подход действительно является будущим моделирования, поскольку он позволяет соединить средства САПР с инструментами моделирования и, соответственно, ускорить процесс разработки, быстро и точно добавляя новые изменения в модель».

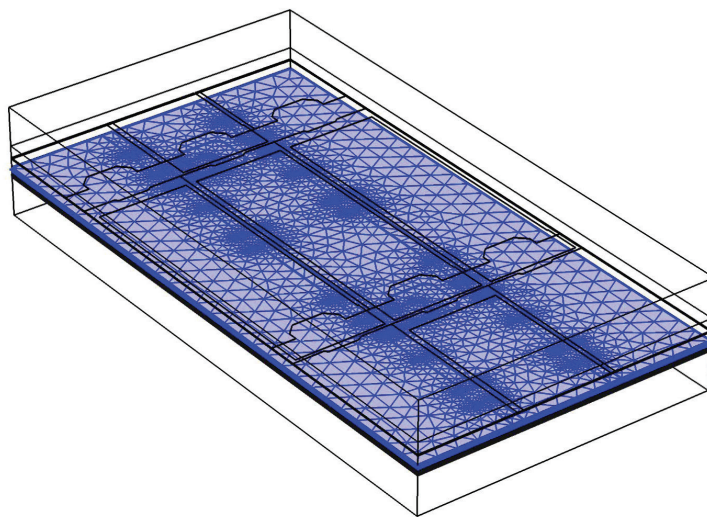
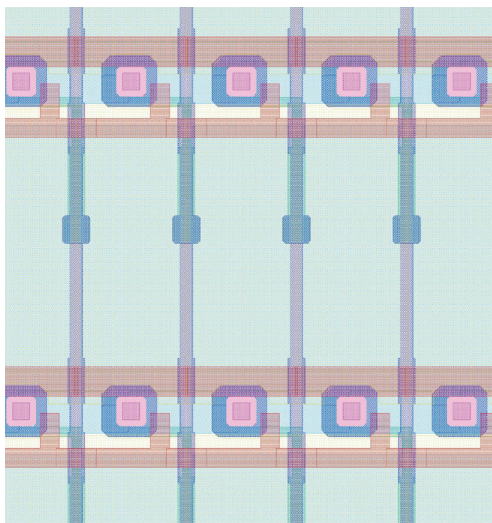
топологии каналов на основе результатов моделирования в COMSOL и таким образом определить, как именно она влияет на характеристики теплопередачи и течения теплоносителя. После определения начальной топологии каналов стало возможным

Соответственно, при разработке прототипа платы охлаждения в ПО SolidWorks® использовалась такая сложная топология. «Модуль LiveLink™ for SolidWorks® обладает функциональностью, позволяющей активно подключать



Группа оптимизации топологии Североамериканского научно-исследовательского института Toyota (слева направо): Эркин Дид, PhD, руководитель, Джейвук Ли, PhD, доцент Корейского аэрокосмического университета (ранее исследователь TRI-NA), Цуйоши Номура, PhD, старший исследователь Центральной научно-технической лаборатории Toyota (ранее исследователь TRI-NA).

Программное обеспечение для мультифизического моделирования: универсальный и эффективный с точки зрения затрат инструмент для исследований и разработок в компании Sharp



Слева: геометрия пикселя ЖК-экрана, используемая в дисплеях Sharp, импортирована из ECAD в COMSOL Multiphysics®.

Справа: сетка, созданная для структур пикселей ЖК-экранов с высоким аспектным соотношением

→ ВАЖНОСТЬ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОДУКЦИИ

Современные электронные изделия представляют собой сложные, высокоинтегрированные технологические системы, которые содержат, например, процессоры, источники света и электроэнергии, аналоговые и пассивные устройства, дисплеи и микроэлектромеханические системы (MEMS). Чтобы понять, как работает каждый компонент системы и вся система целиком, и достичь целевых показателей функциональности, качества, себестоимости и сроков внедрения, разработчикам продукта с самого начала реализации проекта нужны знания в различных областях науки и техники.

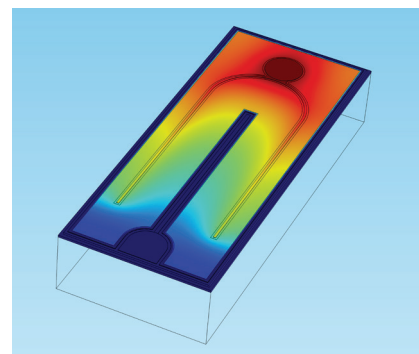
Такой многопрофильный подход наиболее широко применяется в научно-исследовательских лабораториях подразделения японской корпорации Sharp Corporation в Осаке. В Европейском лабораторном центре Sharp (SLE), филиале Sharp Corporation, ведется разработка технологий для систем освещения, дисплеев, медицинского оборудования и энергосистем.

«Общей характеристикой большей части производимых работ является мультидисциплинарность, и именно поэтому мы привлекаем к работе научных сотрудников самых

разнообразных специальностей, в том числе специалистов по материаловедению, химиков, физиков, конструкторов-оптиков, инженеров-электронщиков и разработчиков программного обеспечения», — рассказывает Крис Браун, научный руководитель Группы по разработке медицинского оборудования SLE.

В частности, для такого вида продукции, как светодиодные системы освещения, исследователи ведут работы по оптимизации конструкции электродов для исключения горячих участков, которые могут сильно снижать КПД устройства в целом. Для улучшения качества изображения и снижения энергопотребления ЖК-дисплеев требуются универсальные средства для снятия и анализа электрических характеристик отдельных пикселей. Для разработки продукции в области здравоохранения и энергетики нужно понимать взаимодействие между характеристиками потоков жидкости, теплопередачи и электрическими свойствами, ведь именно это позволяет создавать системы повышенной точности и эффективности.

→ **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА УСТРОЙСТВА, СОКРАЩЕНИЕ СРОКА ВНЕДРЕНИЯ**
Каждое направление исследований отличается уникальными проблемами,



Результаты моделирования в COMSOL®, демонстрирующие поверхностный электрический потенциал светодиода.

которые необходимо решить инженерам SLE. Мультифизическое моделирование предлагает набор средств, необходимых для решения данных проблем, и помогает разработчикам продукции в различных технических дисциплинах улучшать функциональность устройств и совершенствовать процесс разработки продукта, сокращая в то же время затраты.

При изучении светодиодных систем исследователи обнаружили, что их модель, учитывающая электрические и тепловые характеристики, показала точное совпадение результатов моделирования и экспериментов. Браун говорит, что благодаря

мультифизическому моделированию «им удалось оптимизировать конструкцию светодиодов и улучшить эксплуатационные характеристики, а также сократить срок вывода продукта на рынок».

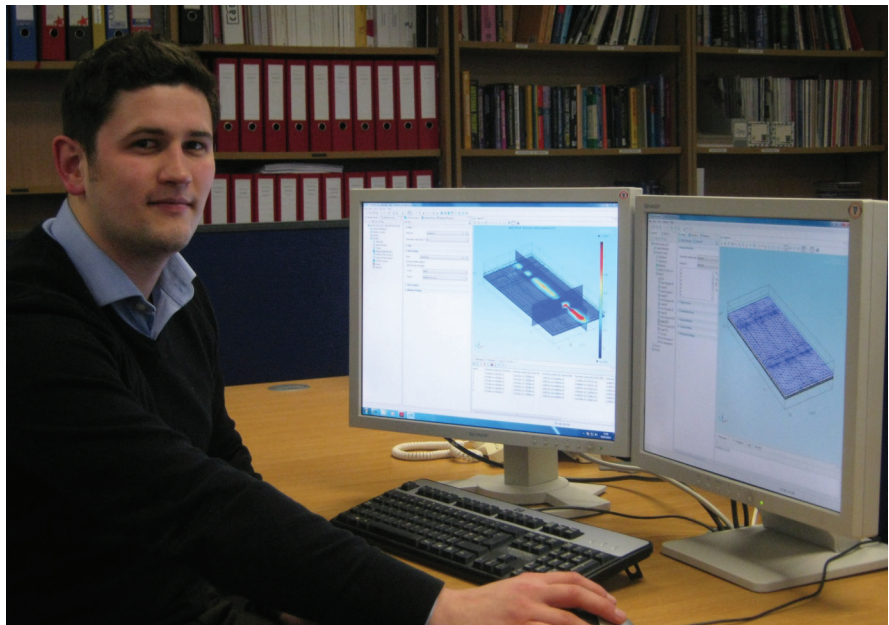
Мультифизическое моделирование для оценки конструкции и эксплуатационных характеристик продукта приносило в каждой задаче свои многочисленные преимущества. Что касается ЖК-дисплеев, то «гибкость и возможности контроля за процедурой создания сетки в ПО COMSOL® впервые позволили нам успешно проанализировать структуры характеризующиеся высоким соотношением геометрических размеров, — продолжает Браун. — Благодаря этой функциональной возможности мы получили более точные исходные данные для проведения экспериментов, ... снизив необходимое количество изменений в модели, что, в свою очередь, позволяет сократить время и затраты на создание прототипов для научных исследований и разработок».

«Благодаря этой функциональной возможности мы получили более точные исходные данные для проведения экспериментов, ... снизив необходимое количество изменений в модели, что, в свою очередь, позволяет сократить время и затраты на создание прототипов для научных исследований и разработок».

→ МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОМОГАЕТ В РАЗРАБОТКЕ ПРОДУКТА

SLE так же требовательно подходит к закупке, конфигурированию и использованию своих инструментов, как и к проведению научно-технических исследований с использованием ПО COMSOL. «В последние пять лет SLE все шире применяет ПО COMSOL Multiphysics®. Мы начали применять его для светодиодных технологий, а потом, по рекомендациям сотрудников, распространили на прочие направления исследований», — говорит Браун. У каждой группы имеется лицензия на ПО COMSOL и модули расширения, подходящие для каждой конкретной задачи.

Первоначально мультифизическое моделирование выполнялось для оптимизации отвода тепла



Исследователь Мэтью Бигинтон применяет COMSOL для моделирования емкости пикселя ЖК-экрана.

от светодиодов с целью равномерного распределения температуры и повышения КПД устройств. Браун отмечает, что в этом случае они «используют приложение LiveLink™ for SolidWorks® совместно с COMSOL Multiphysics® для упрощения процесса повторного расчета конструкций и сведения к минимуму ошибок при этом расчете».

SLE также оказывает техническую поддержку подразделению Sharp,

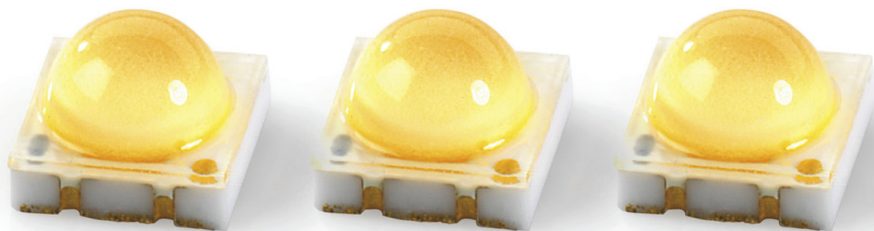
емкость электропроводки по всей площади тонкопленочных ЖК-экранов.

Мультифизическое моделирование позволило SLE успешно проводить научно-технические исследования в различных технических дисциплинах и для различных линеек продуктов по широкому спектру проектов. Браун ожидает, что в SLE и далее будет реализовываться многопрофильный подход к исследованиям, по его словам «COMSOL Multiphysics продолжит играть важную роль при проведении исследований и разработке продукции».



Крис Браун — научный руководитель Группы по разработке медицинского оборудования.

которое разрабатывает ЖК-экраны для смартфонов и телевизоров. В рамках работ SLE по разработке электронных схем используется модуль AC/DC (Переменный/постоянный ток), который позволяет находить электрические характеристики каждого пикселя, а также паразитное сопротивление и паразитную



Светодиодные модули производства Sharp (www.sharpleds.com).

Высокоэффективные корпуса для электроники и мультифизические приложения

→ НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Миллионы людей пользуются электронными устройствами: смартфонами, планшетами, и другими беспроводными приборами, и даже современные автомобили не обходятся без электроники. На характеристики устройства сильно влияет терморегулирование; превышение верхней границы рабочего диапазона температур может привести к перегреву устройства, повышению электрического сопротивления, снижению частоты переключения и сдвигу пороговых напряжений. Все это снижает эффективность и управляемость и может в конечном счете вывести электронику из строя. Терморегулирование становится еще сложнее из-за текущей тенденции к уменьшению размеров и веса электронных компонентов.

Таким образом, растет потребность в устройствах, контролирующих теплопередачу и ток, чтобы электроника могла стабильно работать на высоких частотах и при высоких температурах. Инженеры компании Wolfspeed, входящей в группу Cree Inc., начали разрабатывать новые модули для электроники, более надежные и гибкие, чем уже представленные на рынке. Самые сложные задачи, стоящие перед ними, — снизить тепловое сопротивление и паразитные индуктивности, которые вызывают скачки напряжения. Их модули, улучшающие терморегулирование и срок службы устройства, состоят из полупроводниковой пластины, контактов, соединений, закрытого корпуса и базовых элементов.

→ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИТ ВРЕМЯ И ДЕНЬГИ

Брайс Макферсон, старший инженер компании Wolfspeed, говорит, что программный пакет COMSOL Multiphysics® сэкономил их компании значительное количество времени и средств на этапе разработки. Новые проекты были основаны на двух широкозонных полупроводниках, нитриде галлия (GaN) и карбиде кремния (SiC), которые стабильно работают на высоких частотах и при высокой температуре. Моделирование являлось неотъемлемой

частью поиска наилучшей комбинации геометрических характеристик и свойств материалов, оптимальной по весу, частоте переключения и плотности энерговыделения в новых модулях. «Wolfspeed специализируется на энергоемких устройствах, которые нуждаются в долгом и тщательном тестировании, прежде чем их конструкция станет оптимальной. Возможность моделировать некоторые аспекты до вложения средств и времени в прототипирование и построение устройства для нас очень ценна», — комментирует Брайс.

С помощью программного пакета COMSOL® Макферсон смог смоделировать физику джоулевого нагрева, проанализировать выделение тепла в проводниках и изучить эффекты изменения таких геометрических параметров, как толщина подложки или пластинки основания. Он также провел параметрический анализ, показывающий, как тепловое сопротивление зависит от проводимости подложки и размеров устройства:

«При параметрическом моделировании

можно точно выяснить, какой параметр более всего влияет на систему, и найти оптимальное соотношение эффективности, сложности и цены», — добавляет Макферсон.

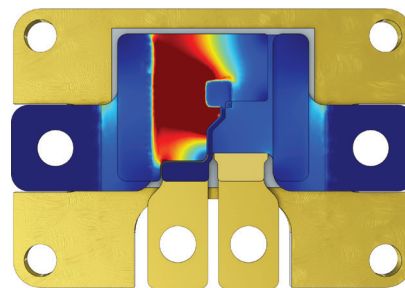
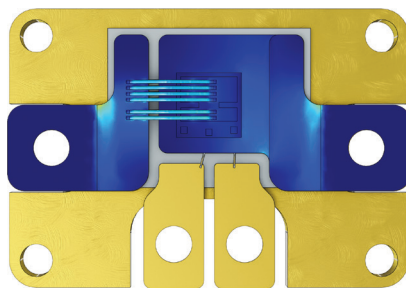
→ ОТ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ К ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ УСТРОЙСТВАМ

Макферсон успешно оптимизировал температурные и электрические характеристики новых модулей; результаты моделирования в COMSOL показали, что два новых разрабатываемых устройства обладают более низкой индуктивностью и тепловым сопротивлением, чем распространенный на рынке транзистор KT-97B (TO-254). Накладывая граничные условия на значения температуры и напряжения и изучая получившиеся значения индуктивности, теплового сопротивления и плотности тока, он внес изменения в конструкцию, улучшающие размещение компонент и увеличивающие допустимую нагрузку по току. Корпуса устройств Wolfspeed, спроектированные с помощью мультифизического моделирования, обладают лучшими свойствами терморегулирования и могут работать в более тяжелых условиях, чем раньше — в том числе при температуре выше 225°C.

«Возможность моделировать некоторые аспекты до вложения средств и времени в прототип и построение устройства для нас очень ценна».

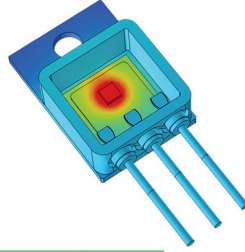


Новый корпус Wolfspeed чуть больше пятирублевой монеты.



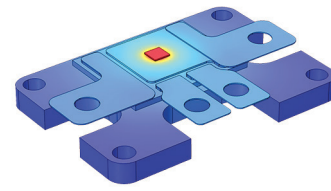
Результаты моделирования показывают плотность тока в модулях на основе SiC (слева) и GaN (справа). В модуле на основе SiC плотность тока ниже (лучше для силовых приложений), а максимальный ток течет в проводящих соединениях. В модуле на основе GaN средняя плотность тока выше, однако и больше площадь проводящего сечения (лучше для снижения индуктивности).

TO-254

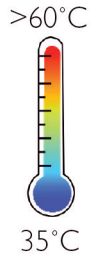


1.41 °C/Watt

GaN HEMT



1.16 °C/Watt



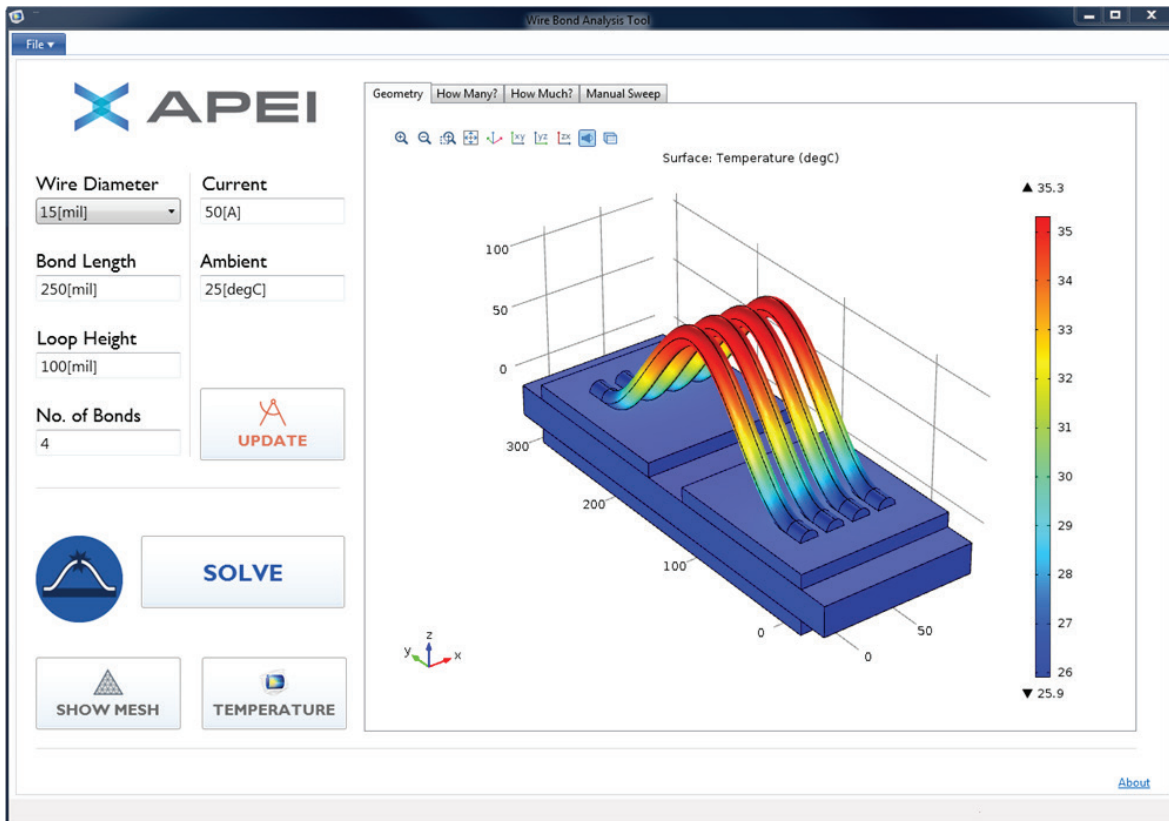
→ РАСПРОСТРАНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДИ СОТРУДНИКОВ КОМПАНИИ COMSOL — это также и среда разработки приложений. С помощью Среды разработки приложений в COMSOL Multiphysics, Макферсон смог превратить свои модели в приложения, чтобы легко делиться моделями и результатами с коллегами, даже если у тех нет инженерного образования. Последнее разработанное им приложение исследует допустимую токовую нагрузку и ток плавления в проводных соединениях, связывающих полупроводник с модулем, как в новых модулях на основе SiC и GaN. «В этой задаче важно помнить, насколько сильный ток можно передать через эти провода... это во многом зависит от геометрии провода и соединения, —

Моделирование позволяет сравнить тепловое сопротивление корпуса КТ-97В (ТО-254) с модулями Макферсона на основе SiC (слева) и GaN (справа).

поясняет Макферсон. — Теперь у нас есть простое и понятное приложение, которое без участия специалиста по моделированию может выдать требуемые данные». Он рассчитывает, что Среда разработки приложений поможет им повлиять на процесс разработки и в других аспектах. «Мы подаем много заявок на гранты, и обычно инженер должен провести целый день, проводя предварительные расчеты... Среда разработки приложений и здесь сыграет важную роль».

Приложения, написанные Макферсоном, можно запустить

в любом из популярных веб-браузеров благодаря лицензии на COMSOL Server™. Пользователи этих приложений могут легко определить максимальный допустимый ток, увидеть, как максимальная температура зависит от числа проводов, и определить, сколько проводов заданного диаметра нужно при данных токах, температурах и геометрических параметрах. Используя мультифизическое моделирование и основанные на нем приложения, Макферсон легко и успешно внес изменения в терморегулирование в корпусах Wolfspeed для электроники.❖



Приложение показывает изменение температуры в проволочных соединениях. Пользователь задает длину и высоту соединения, уровень тока и число соединений.

Fiat совершенствует терморегулирование литий-ионных аккумуляторных блоков

→ РАЗРАБОТКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

Принимая во внимание длительность цикла разработки автомобилей, автопроизводители должны заранее планировать будущие модельные ряды. В условиях ужесточения норм выбросов выхлопных газов и повышения стоимости топлива ожидается, что электромобили и гибридные автомобили будут становиться все более привлекательными, и их доля на рынке будет расти.

В Научно-исследовательском центре Fiat в Орбассано, в Италии, ученые разрабатывают электромобили и гибридные автомобили на литиевых и свинцово-кислотных аккумуляторах, а также суперконденсаторах. В настоящее время помимо электрической версии Fiat 500, реализуемой на рынке США, Fiat предлагает несколько легких грузовых автомобилей на электроприводе.

«Мы полагаем, что вместо 1000 часов, затрачиваемых на разработку аккумуляторного блока, мы сможем уложиться примерно в 300 часов».

Хотя Научно-исследовательский центр Fiat не производит отдельные пакетные элементы для литий-ионных аккумуляторов, в нем ведутся работы по изготовлению блоков аккумуляторов, состоящих из 100 таких элементов и выдающих необходимые 350 В. Блоки должны иметь минимально возможные

размеры и массу и при этом эффективно охлаждаться. Поскольку элементы подключаются последовательно, неисправность одного элемента в результате перегрева негативно влияет на работу всего блока.

Важно, чтобы максимальный перепад температур между всеми элементами блока не превышал 5 °C. Кроме того, если температура блока в целом низкая, он отдает меньший заряд. Если температура слишком высокая, существует риск теплового пробоя, что может привести непосредственно к выбросу электролита, выделению дыма или, в худшем случае, к пожару.

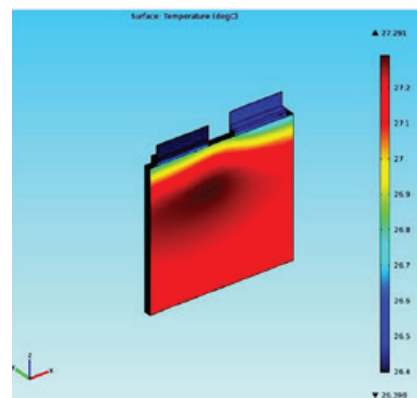
→ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАЕТ ОТВЕТЫ НА ВАЖНЫЕ ВОПРОСЫ И СНИЖАЕТ ИЗДЕРЖКИ

При построении модели в COMSOL Multiphysics® исследователи компании Fiat смогли выявить горячие участки на элементе, а также определить распределение температуры внутри него.

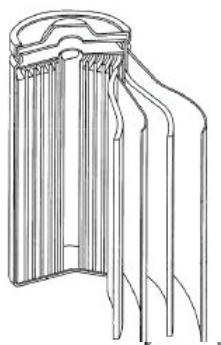
конструкции было установлено, что для работы блока требуется вентилятор меньшей мощности, что позволило снизить себестоимость. «Данная модель позволила на 70% сократить время проектирования. Мы полагаем, что вместо 1000 часов, затрачиваемых на разработку аккумуляторного блока, мы сможем уложиться примерно в 300 часов, — рассказывает Микеле Госсо, научный сотрудник Fiat.

→ РАЗРАБОТКА БЛОКА АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

В литий-ионных аккумуляторах тепло выделяется в результате как джоулева нагрева, так и химических реакций; можно рассчитать зависимость



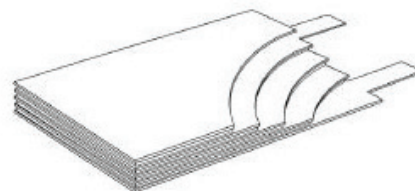
Температура поверхности пакетного элемента литий-ионного аккумулятора: для задачи терморегулирования важно ее равномерное распределение.



CYLINDRICAL



PRISMATIC



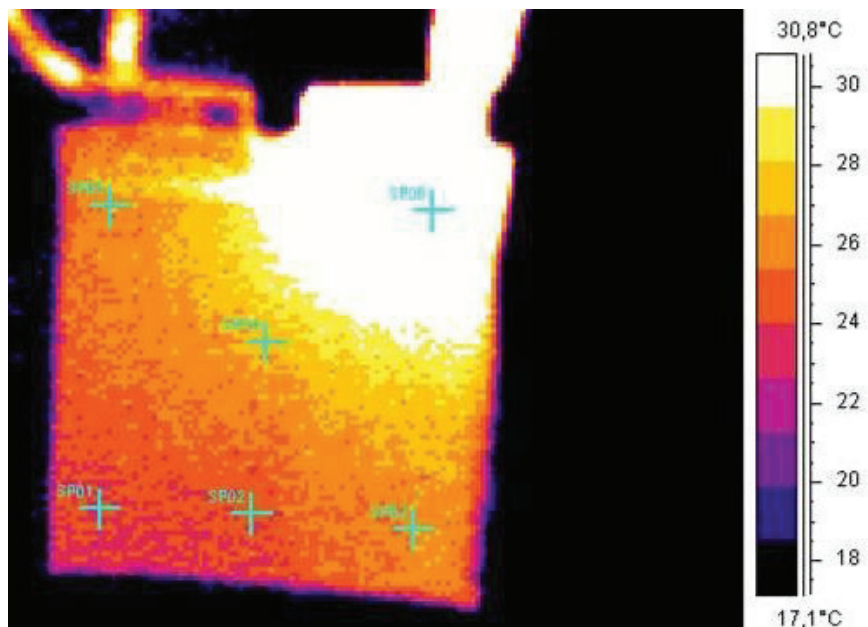
POUCH CELL

Три типа литий-ионных аккумуляторов. Для питания своих автомобилей Fiat использует порядка 100 пакетных элементов.

выделяемого тепла от плотности тока. При проектировании Госо и его коллеги сделали выбор в пользу конвективного охлаждения и выполнили мультифизическое моделирование для изучения полученного распределения температур на поверхности элемента.

Модель делит каждую поверхность пакетного элемента на девять зон, соответствующих термопарам элемента. Для верификации модели распределение температур определялось с помощью термопар и инфракрасных тепловизоров при различных уровнях заряда / разряда. Было установлено, что результаты измерений отличались от модели не более чем на 1 °C.

По данным, полученным в результате моделирования, удалось уменьшить размер физических каналов между элементами. Это способствует уменьшению необходимого пространства и массы ввиду использования рамы меньшего размера. Благодаря этому блок

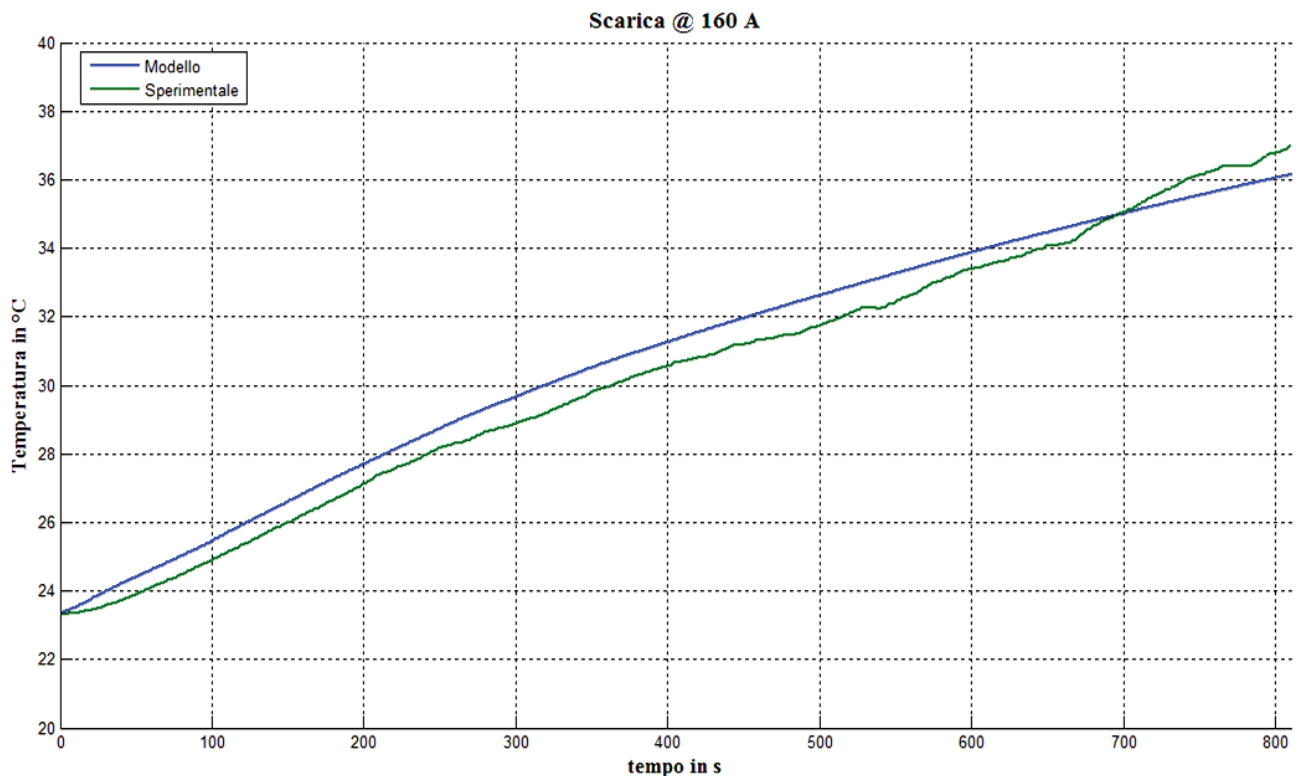


Распределение температуры на поверхности пакетного элемента, измеренное с помощью инфракрасного тепловизора и термопар.

аккумуляторов можно легко устанавливать в автомобили разных моделей, что важно в плане адаптации аккумуляторных силовых агрегатов к автомобилям, уже предлагаемым на рынке.

Целью перспективных исследований является расширение возможностей

литий-ионных аккумуляторов, в частности, для работы при минусовых температурах, когда могут возникать трудности при их подзарядке. Эту проблему также можно решить за счет использования положительного эффекта джоулева нагрева и инновационной конструкции.❖



Сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных по одной из термопар на поверхности литиевого элемента. Максимальное различие в этом случае не превышает 1°C.

Повышение эффективности производства специализированных сенсорных экранов

→ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ СЕНСОРНЫХ ЭКРАНОВ

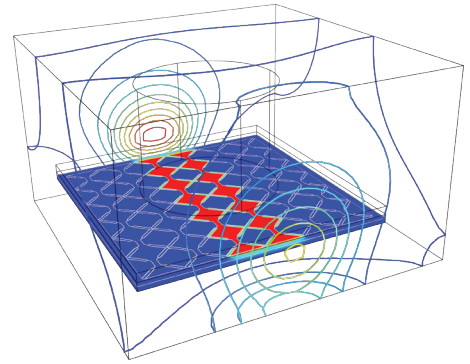
Сенсорные экраны все чаще встречаются в современных устройствах. Компания Cypress Semiconductor, ведущий поставщик технологий емкостных сенсорных экранов, разрабатывает и производит экраны для самых разных устройств: смартфонов, MP3-плееров, ноутбуков, бытовых электроприборов, для приборов в автомобилях, для промышленного применения и проч. Из-за широкого применения сенсорных экранов, которые используются в очень разных устройствах, многие разработки компании Cypress создаются по индивидуальному проекту.

Емкостные сенсорные экраны состоят из нескольких слоев: прозрачных стекол, подложек, клеевых соединений, и решетки горизонтально и вертикально расположенных электродов из оксида индия-олова. Вместе эти компоненты образуют сенсорную панель.

Конструкция каждой сенсорной панели и расположение электродов в ней подбираются в зависимости от типа устройства, для которого она предназначена, и условий его работы.

Поэтому приходится изучать различные условия работы устройств и способы работы пользователя с сенсорным экраном. Питер Ваварутос из отдела моделирования в компании Cypress разрабатывает сенсорные панели для различных потребительских устройств. «При проектировании я должен учесть, к примеру, отличия между взаимодействием с горизонтально закрепленным устройством GPS и со смартфоном, который можно держать и использовать множеством различных способов».

Помимо потребительских устройств, автомобильный отдел в компании Cypress разрабатывает сенсорные экраны, которые будут использоваться для таких устройств, как центральная панель автомобиля или мультимедийная система на потолке или на спинке сидения. «В группе разработок для автомобильной промышленности мы больше нацелены на потребителей и часто разрабатываем экраны в индивидуальном порядке, для конкретного устройства», — поясняет Натан Томас, инженер научно-исследовательского отдела, сотрудник группы разработок для автомобильной промышленности.



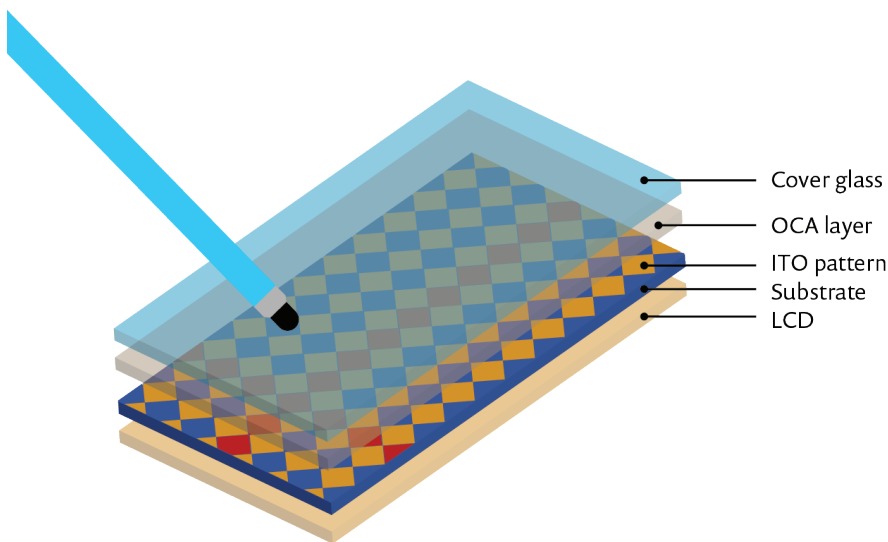
Пример набора моделей, показывающий сенсорный датчик и результаты моделирования силовых линий электрического поля с помощью модуля AC/DC, одного из расширений для программного пакета COMSOL Multiphysics®.

Из-за сложностей, связанных с разработкой такого большого числа индивидуальных проектов, мультифизическое моделирование и приложения для моделирования стали ключевыми инструментами, обеспечивающими эффективную разработку устройств в компании Cypress.

→ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ВСЕЙ КОМПАНИИ

Мультифизическое моделирование позволяет конструкторам прогнозировать и оптимизировать проекты разных устройств, не создавая большое число физических прототипов. Научно-исследовательский отдел Cypress разработал множество моделей в программном пакете COMSOL Multiphysics®, чтобы сравнить рабочие характеристики электростатических устройств с разной геометрией. Сотрудники называют их «набором моделей».

В последнее время инженеры отдела используют Среду разработки приложений COMSOL Multiphysics, чтобы создавать на основе своих моделей приложения. Эти приложения позволяют службе поддержки клиентов, инженерам отдела продаж и другим сотрудникам экспериментировать с конструкцией сенсорных экранов для любых устройств — смартфонов, автомобилей, промышленных приборов, —



Типичная сенсорная панель, состоящая из слоя ЖК-экрана, подложки, матрицы горизонтально и вертикально расположенных электродов ромбической формы из оксида индия-олова, и оптически прозрачного клеевого слоя, соединяющего защитное стекло с экраном.

не прибегая к опыту и знаниям инженеров научно-исследовательского отдела.

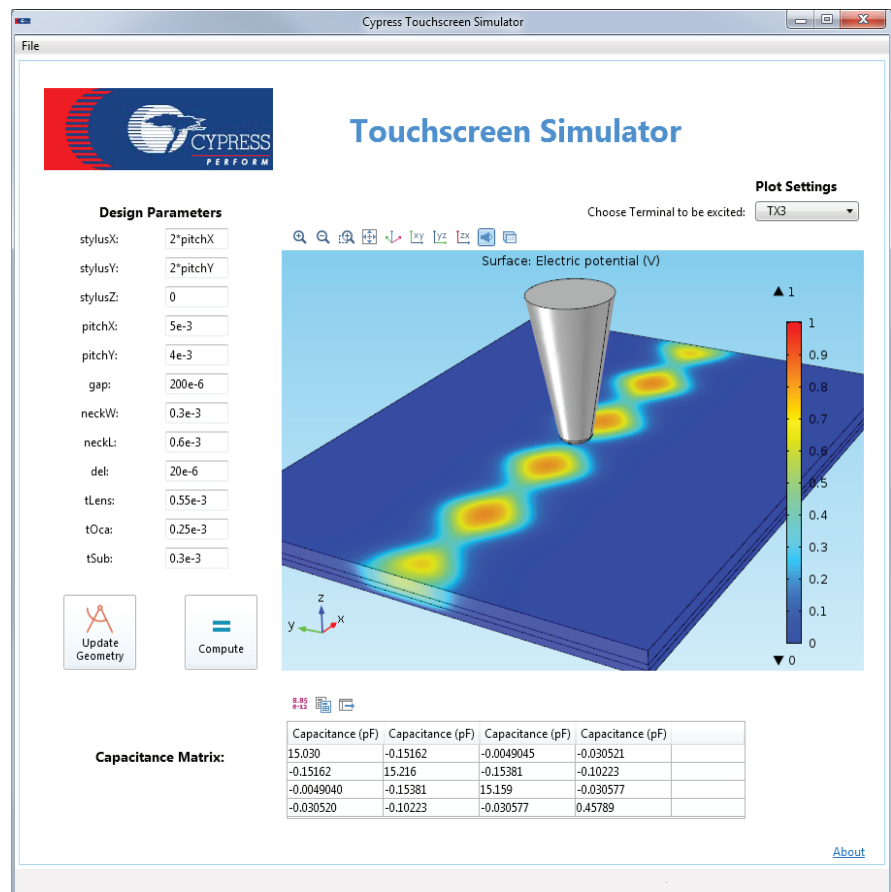
Приложения оказались особенно ценными в разработке индивидуальных устройств под нужды клиента. «Мы использовали Среду разработки приложений, чтобы создать для наших моделей упрощенный пользовательский интерфейс, и это позволило нам более эффективно общаться с коллегами из службы поддержки клиентов, — говорит Ваварутсос. — Пока мы не перешли на приложения, каждый раз, когда требуемая клиентом конструкция хоть немного выходила за пределы набора моделей, нам приходилось заново проводить расчеты из-за незначительных изменений параметров. Во многих случаях инженеры из отдела продаж пытались сами проводить расчеты, даже если у них было мало опыта работы с программным пакетом COMSOL®. В итоге нам приходилось проверять результаты моделирования, к тому же они занимали рабочие места, количество которых ограничено лицензией на программное обеспечение».

С помощью приложений инженеры из отдела продаж, технические специалисты на местах и другие работники могут быстро пересчитать модель, подстраиваясь под конкретные требования клиента. Это дает им возможность быстро оказывать поддержку своим клиентам — даже в случаях, которые раньше выходили за пределы набора моделей.

«Мы считаем, что доступ к мультифизическому моделированию очень помогает в работе нашего отдела поддержки, — продолжает Ваварутсос. — Мы можем контролировать доступные пользователям приложения параметры, так что мы уверены, что наши приложения выдают точные результаты, и позволяем специалистам технической

«Я считаю, что в скором будущем приложения для моделирования станут основным инструментом наших выездных инженеров из автомобильного отдела».

поддержки экспериментировать с тысячами возможных конструкторских решений без помощи инженеров научно-исследовательского отдела



Приложение, основанное на созданной в COMSOL® модели, используется в процессе разработки емкостных сенсорных экранов. Пользователи приложения могут менять параметры конструкции, начиная от положения пальца и заканчивая толщиной различных слоев в сенсорной панели. В выпадающем списке можно выбрать решение, соответствующее срабатыванию той или иной сенсорной траектории.

и без отдельной лицензии на COMSOL Multiphysics».

➔ УДОБНЫЕ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ РЕШЕНИЯ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВ

Набор проектных решений и мультифизическая модель будут меняться в зависимости от решаемой задачи. Разные конструкции могут включать, например, несколько слоев электродов, или слои в нестандартном порядке, или слои разной толщины и структуры. Для тщательного анализа той или иной системы каждая модель будет также включать несколько диапазонов параметров, позволяющих инженеру прогнозировать

модели, позволяет пользователю изменять различные геометрические параметры: от толщины слоев до положения пальца, прикасающегося к экрану. После этого приложение рассчитывает распределение электрического поля и матрицу емкостей — ключевые данные для разработки емкостных сенсорных экранов — и может также сгенерировать детальный отчет об исследовании. Приложения для моделирования распространяются с помощью лицензии COMSOL Server, благодаря чему они становятся доступными через клиент для Windows® или через веб-браузер.

«Мы создавали приложения, которые наши выездные инженеры могут сразу использовать для решения задачи на месте, не прибегая к нашей помощи для расчета модели, — говорит Томас. — Для нас это все еще новая технология, но я предвижу, что в скором будущем приложения для моделирования станут основным инструментом наших выездных инженеров из автомобильного отдела».

и оптимизировать электрические характеристики устройства.

Одно из приложений, созданных в компании Cypress на основе такой

Miele оптимизирует конструкцию индукционных плит с помощью мультифизического моделирования

→ КАК СДЕЛАТЬ ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫМ

Индукционные кухонные плиты имеют ряд преимуществ перед традиционными плитами: более быстрый нагрев и крайне высокий КПД за счет того, что более 90% энергии затрачивается непосредственно на нагрев продуктов питания.

Индукционные плиты нагревают посуду, а не конфорку, на которой она стоит, за счет подачи переменного тока по медным катушкам и создания магнитного поля. Это поле наводит токи в металле посуды, что приводит к джоулеву нагреву.

«... время на разработку и количество экспериментов, необходимых для окончательного выбора конструкции, сокращаются на 80%».

При этом процесс проектирования индукционной плиты до недавнего времени был достаточно сложным. Требовалось применение метода проб и ошибок для оценки таких параметров, как идеальная частота, размер катушки и выходная мощность. Разработчики также сталкивались с нетипичными проблемами, например подавлением высокочастотного шума, создаваемого электрическими токами, проходящими через металл, или побочными эффектами от перемещения посуды по поверхности панели конфорки под действием магнитных сил.

Исследователи mieletec FH Bielefeld (совместная научно-исследовательская лаборатория Miele & Cie. KG и Университета прикладных наук Билефельда, Германия) использовали компьютерное моделирование для промежуточных исследований и быстрого перехода между этапом создания концепции и началом производства индукционных плит. Благодаря программному обеспечению COMSOL Multiphysics® им удалось разработать качественно новую панель конфорки для Miele, мирового лидера по производству бытовых приборов и промышленного оборудования.

→ СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАЗРАБОТКИ И КОЛИЧЕСТВА ПРОТОТИПОВ

Инженеры mieletec используют моделирование и мультифизический анализ для доработки, проверки и оптимизации конструкции индукционных плит. Поскольку проведение моделирования с помощью программного обеспечения COMSOL® позволяет получать точные результаты, описывающие характер работы опытных моделей, время на разработку и количество экспериментов, необходимых для определения окончательных проектных решений, сокращаются на 80%. Инженеры mieletec смогли провести моделирование системы в целом, добившись повышения энергоэффективности плиты и оптимизации полученных результатов, так что после создания первых прототипов уже имелось четкое представление о том, как они будут работать. В результате проведения моделирования испытания, которые на практике длятся несколько дней, заняли лишь несколько часов.

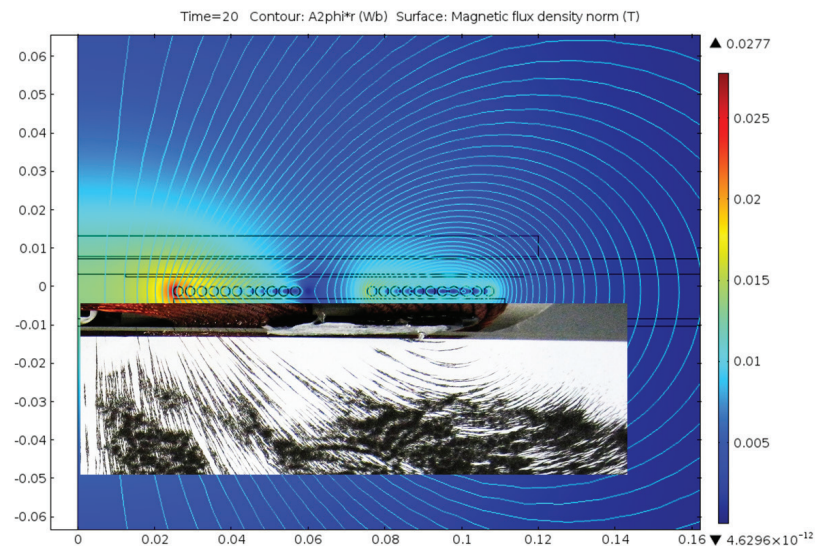
→ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ ПЛИТЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Во время моделирования индукционного нагрева одновременно решались задачи



Плита остается холодной: кубики льда практически не тают, а вода в кастрюле кипит.

теплопередачи и электромагнетизма, что позволило найти наилучшие рабочие условия. Программное обеспечение COMSOL позволило исследователям mieletec оптимизировать конструкцию катушки за счет выбора частоты тока и геометрии катушки. При этом

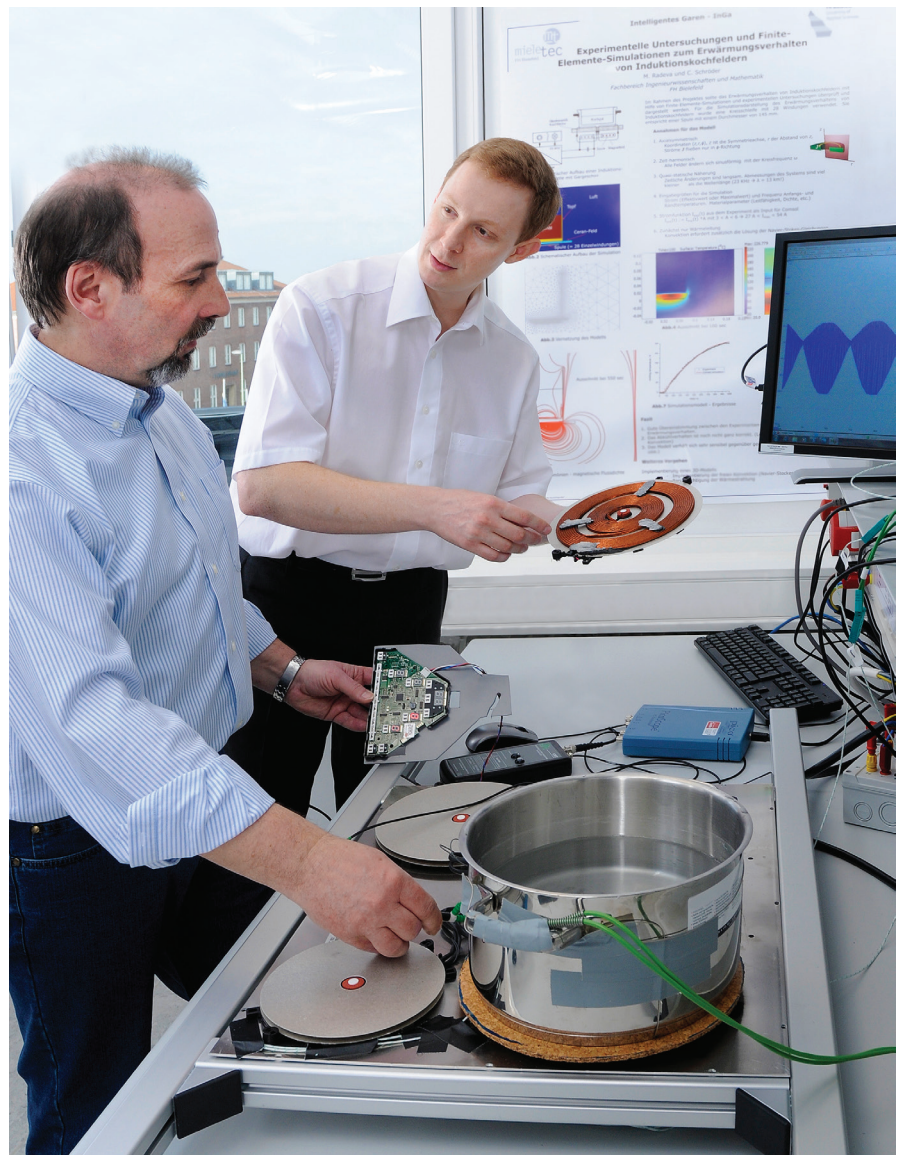


Для тестирования других конструкций катушек перед изготовлением прототипа можно произвести сравнение результатов моделирования с использованием COMSOL Multiphysics® (норма плотности магнитного потока) и экспериментальных силовых линий поля.

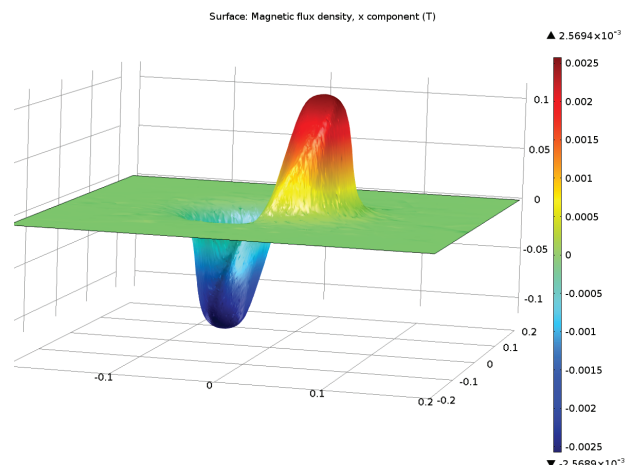
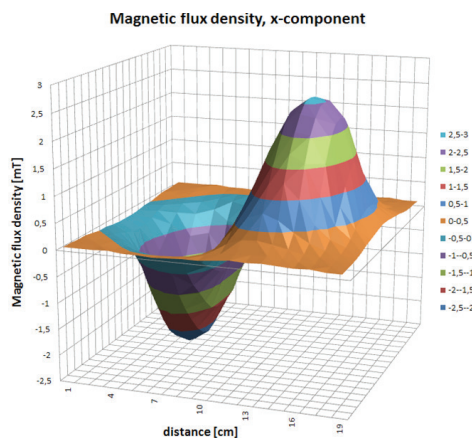
частота побочных высокочастотных шумов, возникающих из-за вихревых токов, сдвигается за верхнюю границу человеческого слуха, и неприятные шумы подавляются.

Чтобы предотвратить перемещение посуды по варочной панели, было проведено моделирование для определения тепловых и электромагнитных воздействий на свойства различных материалов, используемых при изготовлении кухонной посуды. Вихревые токи в парамагнитных металлах, из которых изготавливается посуда для индукционных плит, создают магнитное поле в процессе взаимодействия с магнитным полем, генерируемым катушкой индуктивности. Это приводит к возникновению магнитных сил, которые способны вызывать движение посуды. Исходя из полученных результатов удалось оптимизировать конструкцию катушки для предотвращения движения посуды, определить количество энергии, необходимое для приготовления пищи и исключить слышимый человеческому уху шум, сохранив при этом высокий КПД индукционных плит.

Каков же результат? По результатам мультифизического моделирования удалось оптимизировать и ускорить процесс разработки продукции и получить высококачественную плиту с более высокими значениями КПД, скорости приготовления и надежности. ❖



Экспериментальная установка для испытаний, проводимых штатными специалистами Вернером Клозе (слева) и Михаилом Толстых (справа). Варочная панель снята для демонстрации внутреннего устройства плиты.



Результаты экспериментов (слева) и результаты моделирования (справа) для проекции на ось x вектора плотности магнитного потока для рассчитанной конструкции катушки.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ



МЕРОПРИЯТИЯ И ОНЛАЙН-ВСТРЕЧИ

Мы проводим множество мероприятий, на которых участники смогут узнать больше о программном пакете COMSOL Multiphysics® и его возможностях.

- **Вебинары:** узнайте, как ваши коллеги по отрасли используют COMSOL Multiphysics, посетив текущий вебинар или изучив их архив. Полный список вебинаров доступен на странице comsol.ru/webinars.
- **Мастер-классы онлайн** — научитесь строить мультифизические модели, повторяя действия эксперта на своем компьютере. Свяжитесь с нами, чтобы запланировать демонстрацию и скачать бесплатную пробную версию.
- **День COMSOL** — примите участие в однодневных учебных занятиях в вашем регионе, на которых пройдут практические семинары и лекции опытных пользователей COMSOL, менеджеров по продукту и разработчиков ПО.
- **Конференция COMSOL** — посетите двух- и трехдневные встречи, на которых можно посетить до тридцати мини-курсов, устных и стендовых докладов, лекций, выставок, а также поучаствовать в неформальных обсуждениях.
- **Учебные курсы** — развивайте свои навыки с помощью двухдневных интенсивных учебных курсов по COMSOL Multiphysics или предметных курсов.

ПОДДЕРЖКА

Сотрудники службы поддержки COMSOL отвечают на вопросы и дают советы. На сетевых форумах вы найдете множество пользователей, занимающихся моделированием в различных предметных областях.



ПУБЛИКАЦИИ И ДОКУМЕНТАЦИЯ

Изучите мощные инструменты моделирования, которые предлагает COMSOL, и прочитайте о том, как профессионалы в разных отраслях используют программное обеспечение COMSOL® для решения задач проектирования.

- COMSOL News, Мультифизическое моделирование
- Вступительные руководства по COMSOL Multiphysics и Среде разработки приложений
- Справочники
- Технические документы

ВИДЕО

Посмотрите пошаговые видеоуроки, презентации пользователей и посвященные отдельным темам видеоматериалы, чтобы узнать, как создать модель вашей физической системы в COMSOL.

БЛОГ

Просмотрите записи в нашем блоге в поисках новых идей и советов для ваших моделей. В нем вы найдете:

- Учебные руководства и пошаговые инструкции
- Лучшие методы моделирования
- Исследования пользователей

СЕМЕЙСТВО ПРОДУКТОВ

- › COMSOL Multiphysics®
- › COMSOL Server™

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- › Модуль AC/DC
- › Модуль Радиочастоты
- › Модуль Волновая оптика
- › Модуль Геометрическая оптика
- › Модуль Плазма
- › Модуль Полупроводники
- › Модуль МЭМС (микронная электронная механическая система)

МЕХАНИКА И АКУСТИКА

- › Модуль Механика конструкций
- › Модуль Нелинейные конструкционные материалы
- › Модуль Геомеханика
- › Модуль Усталость материала
- › Модуль Динамика многотельных систем
- › Модуль Роторная динамика
- › Модуль Акустика

ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

- › Модуль Вычислительная гидродинамика
- › Модуль Миксер
- › Модуль Течения в пористых средах
- › Модуль Течение в трубопроводах
- › Модуль Микрогидродинамика
- › Модуль Молекулярные течения
- › Модуль Теплопередача

ХИМИЯ

- › Модуль Разработка химических реакций
 - › Модуль Аккумуляторы и топливные элементы
 - › Модуль Электроосаждение
 - › Модуль Коррозия
 - › Модуль Электрохимия
- ### МНОГОЦЕЛЕВЫЕ
- › Модуль Оптимизация
 - › Библиотека материалов
 - › Модуль Трассировка частиц

ИНТЕГРАЦИЯ

- › Модуль LiveLink™ for MATLAB®
- › Модуль LiveLink™ for Excel®
- › Модуль Импорт данных из САПР
- › Модуль Проектирование
- › Модуль Импорт данных из САПР электронных изделий
- › Модуль LiveLink™ for SOLIDWORKS®
- › Модуль LiveLink™ for Inventor®
- › Модуль LiveLink™ for AutoCAD®
- › Модуль LiveLink™ for Revit®
- › Модуль LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™
- › Модуль LiveLink™ for PTC® Pro/ENGINEER®
- › Модуль LiveLink™ for Solid Edge®
- › Модуль File Import for CATIA® V5

ЧАСТО ЗАДАВАЕМЫЕ ВОПРОСЫ

Что представляет собой программный пакет COMSOL Multiphysics®?

- Это интегрированная среда разработки для создания физических моделей и приложений моделирования.
- Особая ценность программы состоит в возможности учета связанных парных или множественных физических явлений.
- Модули расширения дополняют возможности платформы для моделирования электротехнических, механических, акустических, гидродинамических, теплотехнических и химических систем.
- Средства интеграции позволяют связать модели COMSOL Multiphysics® со всеми основными инструментами для технических вычислений и CAD-системами доступными на рынке.

В чем преимущества COMSOL Multiphysics®?

- Мощные инструменты с широким набором функций позволяют создать мультифизические модели, точно воспроизводящие реальные системы.
- Единый и простой интерфейс, общий для всех приложений, помогает быстро научиться эффективно работать в программном пакете.
- Повышайте производительность своих коллег, превращая модели COMSOL в простые в использовании специализированные приложения моделирования с помощью Среды разработки приложений.

В чем преимущества специализированных приложений для моделирования?

- Пользователям приложений не нужно быть специалистами в численном моделировании, чтобы применять мультифизический анализ.
- Вы можете распространять приложения для моделирования среди своих коллег и клиентов с помощью локально установленного COMSOL Server™.

Что такое COMSOL Server™?

- Программный продукт для запуска приложений, разработанных в COMSOL Multiphysics и в Среде разработки приложений.
- Он похож на COMSOL Multiphysics, но...
 - » у него есть веб-интерфейс для запуска приложений в браузере;
 - » он содержит инструменты, позволяющие администратору создавать учетные записи пользователей и управлять ими;
 - » в него не входят инструменты разработки: Построитель моделей, Среда разработки приложений и Построитель физических интерфейсов.

В чем преимущества COMSOL Server™?

- Запускайте приложения в веб-браузере (или клиенте COMSOL Client для ОС Windows®) из любой точки земного шара с возможностью совместного использования общих библиотек приложений.
- Инструменты администратора для управления учетными записями пользователей, правами и сеансами.
- Низкая стоимость лицензии (экономичный способ запуска приложений, созданных при помощи COMSOL).
- Возможность установки на любом компьютере — сервере, кластере вашей компании, ноутбуке или настольном компьютере — и работы без доступа к Интернету.
- Веб-браузер или клиент COMSOL Client не выполняет вычислений на устройстве пользователя. Все вычисления производит ваш сервер.

ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ

В таблице ниже описаны доступные типы лицензий.

Тип лицензии	Несколько компьютеров	Несколько пользователей	Клиент/сервер	Кластерные вычисления	Доступ по сети	Доступ по всему миру
Именная лицензия на одного пользователя (NSL)	✓*					
Лицензия на один ПК (CPU)		✓				
Плавающая сетевая лицензия (FNL)	✓	✓**	✓	✓	✓	
Лицензия COMSOL Server (CSL)	✓	✓**	✓	✓	✓	✓

* Программное обеспечение можно устанавливать на четыре компьютера и запускать одновременно на двух из этих четырех компьютеров.

** Оплата за каждого пользователя

