

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОММЕРЧЕСКИХ MEMS-УСТРОЙСТВ

Ольга Миллер, доктор наук, старший менеджер по продуктам компании Coventor
Юрий Потапов, технический директор компании «ЭлекТрейд-М»

В том, что использование технологии микроэлектромеханических систем (MEMS) в современных электронных системах значительно увеличивает их функциональность, никто не сомневается уже в течение нескольких лет. Используя технологические процессы, почти не отличающиеся от производства кремниевых микросхем, разработчики MEMS-устройств создают миниатюрные механические структуры, которые могут взаимодействовать с окружающей средой и выступать в роли датчиков, передающих воздействие в интегрированную с ними электронную схему. Пожалуй, именно датчики являются наиболее распространенным примером использования MEMS-технологии: они используются в гироскопах, акселерометрах, измерителях давления.

Почти все современные автомобили используют MEMS-акселерометры для активации воздушных подушек безопасности (см. рис. 1). Микроэлектромеханические датчики давления широко используются в автомобильной и авиационной промышленности. Гироскопы находят применение во множестве устройств, начиная со сложного навигационного оборудования космических аппаратов и заканчивая джойстиком для компьютерных игр. MEMS-устройства с микроскопическими зеркалами используются для производства дисплеев (например, Digital Light Processor компании Texas Instruments) и оптических коммутаторов (например, Lambda Router компании Lucent, см. рис. 2).

Высокочастотные устройства, выполненные с применением MEMS-технологий, такие как микрокоммутаторы и резонансные устройства, как правило, демонстрируют меньшие омические потери и высокую добротность при уменьшении потребляемой мощности и габаритов, лучшей повторяемости и более широком диапазоне варьируемых параметров (см. рис. 3). Применение MEMS-устройств в биотехнологии позволяет создавать дешевые, но производительные однокристалльные устройства для расшифровки цепочек ДНК и разработки новых лекарственных препаратов (lab-on-a-chip — «лаборатория-на-кристалле»). Велика емкость рынка струйных принтеров, в картриджах которых используются микрожидкостные MEMS-устройства, которые создают и выпускают микрокапли чернил под управлением электрических сигналов.

Динамически развивающийся рынок оптических телекоммуникаций накладывает на MEMS-устройства растущие требования по производительности и гибкости. Аналогичные и не менее жесткие требования предъявляются к ВЧ-устройствам для нового поколения мультимедиа-оборудования и беспроводных средств связи, а также к микрожидкостным устройствам для биотехнологий. Именно поэтому так важно обеспечить разработчиков мощным программным инструментом, обеспечивающим полный цикл проектирования микроэлектромеханических устройств.

Однообразные, требующие длительных расчетов методы проектирования делают коммерческие разработки крайне непривлекательными для многих организаций. Именно поэтому главной проблемой здесь является обеспечение широкого доступа к MEMS-технологиям оптимальным по стоимости и времени способом. Традиционно проектирование микроэлектромеханических устройств требует нескольких итерационных циклов, включающих изготовление прототипов, что очень дорого. Современные условия требуют сокращения прототипирования до минимума и как следствие — снижения стоимости разработки и времени выхода изделия на рынок, что возможно лишь при наличии сквозной системы проектирования MEMS-устройств с функциями моделирования.

До недавнего времени выбор у разработчиков был невелик. Традиционные методики проектирования опира-

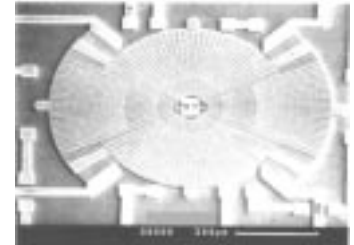


Рис. 1. Микрофотография MEMS-датчика угловых скоростей компании Bosch

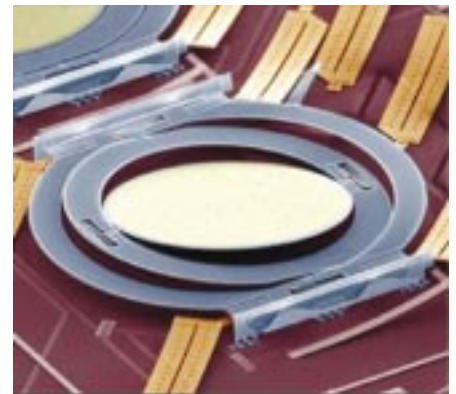


Рис. 2. Элемент микрозеркальной матрицы компании Lucent

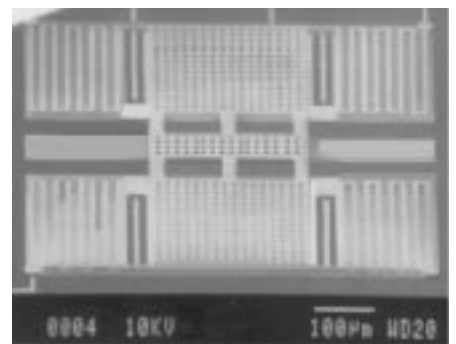


Рис. 3. Низковольтный СВЧ-коммутатор

ются на специализированные программы, призванные решать вопросы, возникающие на отдельных этапах проектирования. Такие программы, как правило, базируются на стандартном и универсальном методе конечных элементов (FEM), чрезвычайно требовательном к вычислительным ресурсам при обсчете больших или динамических структур. Поэтому инжене-

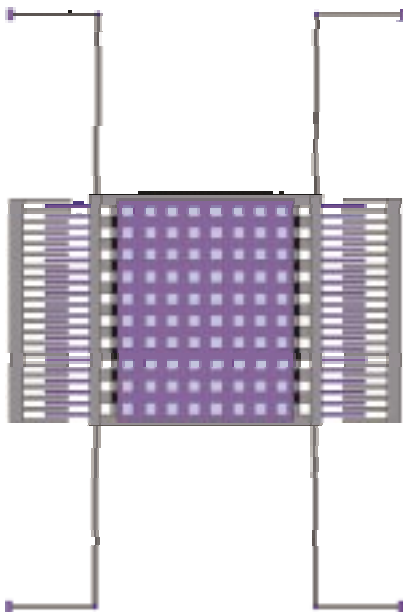


Рис. 4. Чертеж MEMS-гироскопа

ры используют несколько различных узкоспециализированных программных пакетов, призванных ответить исключительно на свои вопросы, что сильно затрудняет и замедляет работу, а оптимизацию делает почти невозможной. Не следует забывать, что MEMS-устройства являются не просто механическими структурами — они должны работать совместно с управляющей электронной схемой. Это требует организации проектирования на системном уровне. А чтобы сделать MEMS-устройства рентабельными, следует сократить длительность цикла проектирования как на архитектурном уровне, так и в контексте всей системы.

Для архитектурного проектирования MEMS-устройств на системном уровне компанией Coventor [4] была разработана оригинальная методология. Одна из ее частей — пакет программного обеспечения CoventorWare™ — как нельзя лучше подходит для проектирования коммерческих MEMS-устройств, так как он изначально учитывает технологию производства, нацелен на достижение требуемой функциональности и обеспечивает многоуровневый подход. Проектирование начинается на систем-

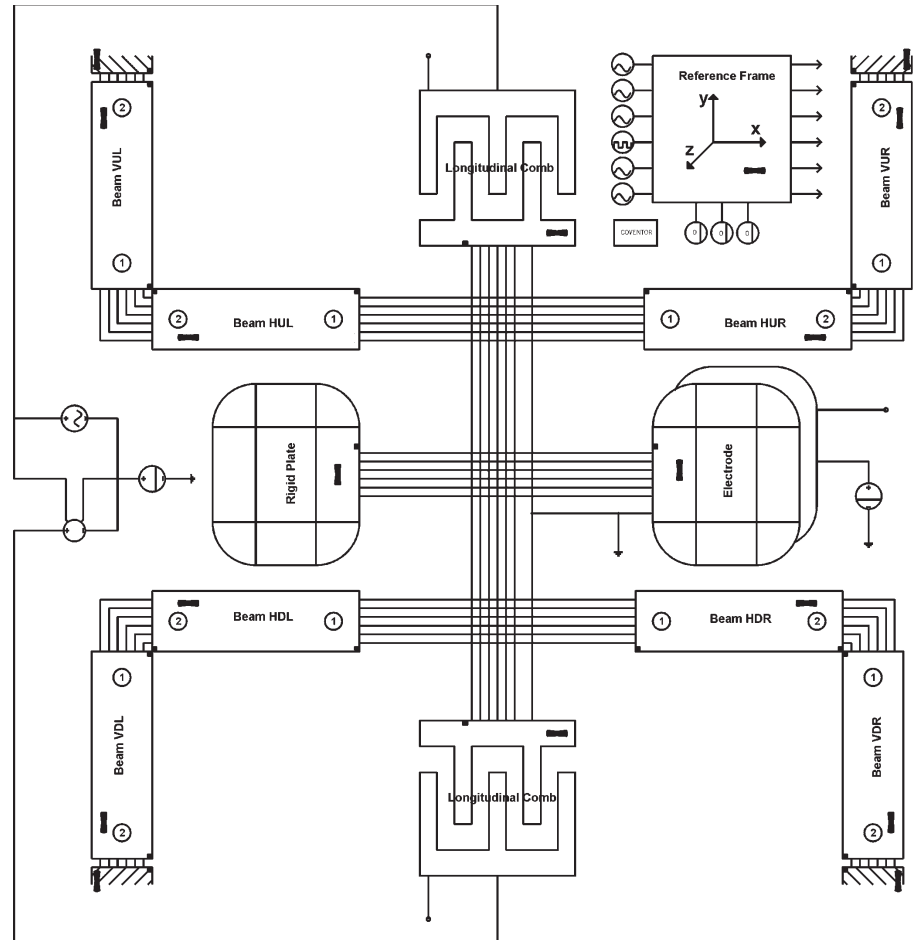


Рис. 5. Схема гироскопа, построенная в модуле Architect™

ном уровне с использованием параметрических моделей, что позволяет оценить, как MEMS-компоненты взаимодействуют между собой и окружающей их системой. Параметрические модели имеют шесть степеней свободы и дают возможность разработчикам использовать обычный редактор схем для построения проекта устройства с учетом связей с управляющей электронной схемой.

Модуль Architect™ предлагает пользователям библиотеку моделей электро-механических, оптических, микрожидкостных, СВЧ и магнитомеханических компонентов, точность которых была проверена с помощью моделирования методом конечных элементов и лабораторными исследованиями. То, что эти модели являются истинно параметрическими, позволяет разработчикам эффективно ориентироваться в пространстве параметров и выполнять оптимизацию. Пользователь может изменять размеры, свойства технологических процессов и материалов, а также внешние воздействия. Такой подход значительно сокращает длительность моделирования, что дает возможность посредством нескольких итераций выполнять настройку «на

лету» и оптимизацию. Кроме того, электронная схема, являющаяся неотъемлемой частью MEMS-системы, моделируется совместно с механическими узлами. Специальные инструменты обеспечивают параметрический анализ чувствительности и оценку возможного количества годных изделий.

Следующий шаг за оптимизацией архитектуры и размеров устройства — более подробный анализ и верификация проекта. Специальные инструменты выполняют автоматическую экстракцию плоской топологии устройства из редактора схем в редактор масок. На основе полученных масок и детального описания технологического процесса модуль Designer™ генерирует трехмерные модели MEMS-устройств, после чего можно выполнить их более точное моделирование и оптимизацию при помощи соответствующих численных методов, для чего модуль Analyzer™ предлагает широкий набор вычислительных ядер для моделирования специфических физических процессов. По двумерному описанию топологии проектируемого MEMS-устройства генерируется набор масок, необходимых для производства.

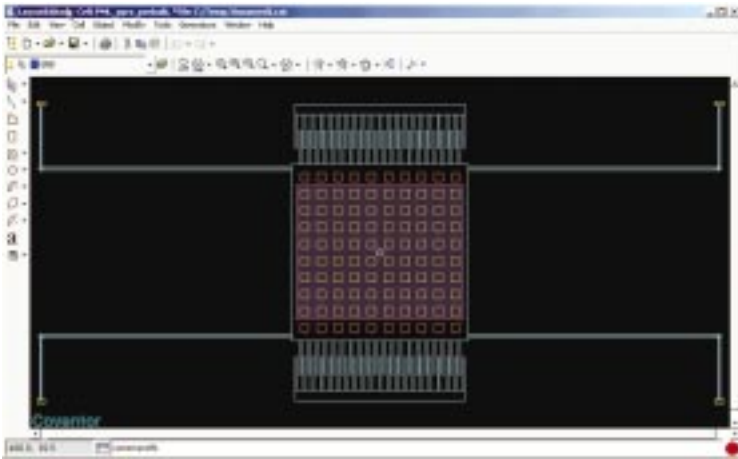


Рис. 6. Плоское представление топологии датчика в модуле Designer™

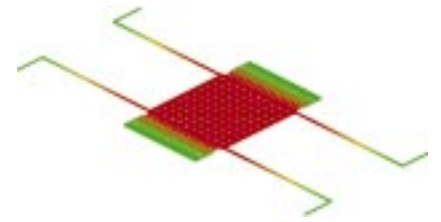


Рис. 7. Моделирование гироскопа в модуле Analyzer™

После описания функционирования устройства программа строит платформу, на основе которой могут быть выполнены и смоделированы другие итерации проектирования. В модуле Architect™ такое моделирование и анализ результатов занимает считанные минуты, благодаря чему имеется возможность еще на ранних этапах рассмотреть различные альтернативные варианты реализации конечных устройств.

Современное программное обеспечение позволяет выполнять моделирование более чем в сто раз быстрее, чем при использовании традиционного метода конечных элементов. Интеграция средств анализа, моделирования и автоматической генерации топологии дала возможность разработчикам фокусироваться на более полном удовлетворении пользовательских запросов, а не на рутинных операциях построения и прорисовки устройств. Новая методология позволяет выполнить полный цикл проектирования за недели вместо требовавшихся ранее месяцев, а иногда и лет. Кроме того, поскольку новое программное обеспечение позволяет избежать многих ошибок само прототипирование оказывается более успешным.

Уникальность данного программного обеспечения заключается в использовании параметрических моделей, делающих возможным системный (от системы — к узлам) поток проектирования. Важное требование к этим моделям — высокая точность. Погрешность не должна превышать нескольких процентов относительно FEM-эквивалента для того, чтобы компромисс между быстродействием и точностью расчета был приемлемым. По мере накопления проверенных элементов производитель программного обеспечения

может создавать библиотеки параметрических моделей, позволяющие строить самые разнообразные MEMS-устройства. Благодаря использованию различных математических и физических характеристик программное обеспечение предопределяет поведение моделей самих по себе, а также когда они связаны с соответствующими базовыми MEMS-элементами. Поставляемые с системой CoventorWare™ библиотеки обеспечивают быстрый доступ к проверенным MEMS-решениям в одной или разных областях функционирования. В состав библиотеки базовых элементов входят наиболее общие формы и наиболее часто используемые компоненты: пружины, противовесы, амортизаторы, конденсаторы, катушки индуктивности, транзисторы. Специализированные библиотеки содержат модели подсистем из соответствующей области: магнитные, оптические, СВЧ и жидкостные. Взаимодействие между базовыми MEMS-устройствами и подсистемами может быть смоделировано с учетом этих моделей: оптических элементов, электронных схем управления, электромеханических эффектов, внешних воздействий и упаковки в корпус. При помощи описанных инструментов платформа MEMS-устройства может быть построена в течение нескольких минут, а каждая параметрическая модель может быть промоделирована с использованием шести степеней свободы (геометрия и технология).

Работа с библиотеками параметрических моделей MEMS-устройств дает разработчикам возможность снизить число задействованных в процессе проектирования программ, использующих метод конечных элементов. Однако такие программы все еще необходимы, когда для построения сложных MEMS-

компонентов требуется моделирование базовых элементов. Более того, они незаменимы в случаях, когда параметрические модели не существуют. В этом случае пользователь может самостоятельно спроектировать и промоделировать их, после чего на основе полученных данных сгенерировать новую параметрическую модель — при помощи модуля Integrator™. Законченные программные пакеты, такие как CoventorWare™, позволяют полностью интегрировать FEM-модули в среду, обеспечивающую проектирование на системном уровне и осуществление сквозного цикла проектирования MEMS-устройств.

Типовой путь проектирования MEMS-устройства в среде CoventorWare™ можно проиллюстрировать на примере MEMS-гироскопа, показанного на рисунке 4. В модуле Architect™ строится схема устройства на основе поведенческих моделей, тесно связанная с управляющей схемой (см. рис. 5). После ее моделирования и оптимизации проект передается в модуль Designer™ (см. рис. 6), где выполняется подготовка к производству и генерация трехмерной механической модели устройства. Модуль Analyzer™ выполняет более точное моделирование всех физических эффектов, задействованных в системе (см. рис. 7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Lorenz G., Morris A., Lakkis I., «A top-down design flow for MOEMS», 2001, DTIP.
2. Cerruto R., «Software and Expertise Offer Solutions for MEMS Commercialization», Design Wave, 2001.
3. Потапов Ю.В. «Программное обеспечение Coventor», CHIP NEWS №2 (EDA EXPERT №1), 2002.
4. <http://www.coventor.com>