



## Проектирование и моделирование МЭМС-актуаторов

Исполнительные механизмы МЭМС-актуаторы — это устройства, которые преобразуют электрическую энергию в механическое движение, и они составляют более 50% быстрорастущего МЭМС рынка. Они используются в различных оптических, радиочастотных и промышленных областях применения. Примерами таких устройств являются переменные конденсаторы (варакторы), микропереключатели для маломощных СБИС, оптические фазовращатели, дисплеи нового поколения, микрозахваты для роботизированной хирургии и механизмы фокусировки для камер в мобильных устройствах.

Электростатические	Пьезоэлектрические	Тепловые	Магнитные
Гребенчатый привод Скретч-привод Распределенные параллельные инверторные пластины S-образная изогнутый электрод с отталкивающей силой Электростатическое реле	Расширенный биморфный пьезоэлемент	Объемный расширенный биморфный пьезоэлемент Сплав с памятью формы с оптимизированной топологией Изменение состояния расширения жидкости Тепловое реле	Электромагнит Магнитострикционное внешнее поле Магнитное реле

Рисунок 1: МЭМС-актуаторы имеют большое количество вариантов механизмов приведения в действие

## Задачи проектирования

Инженеры-конструкторы сталкиваются с необходимостью сокращения сроков выхода на рынок готовых МЭМС-устройств и снижения затрат на их изготовление. Эти требования заставляют изменить традиционную практику разработки собственных инструментов и сократить количество повторяющихся циклов сборки и тестирования. Основной задачей разработчиков МЭМС-актуаторов является создание устройства, отвечающего критериям эффективности по силе, перемещению, времени переключения, мощности, размеру, температурной стабильности и надежности. Чтобы добиться успеха, разработчики должны правильно учитывать трехмерное электростатическое колебание, а также связанную электромеханику с эффектами контакта, изгиба и газового демпфирования.

Платформа проектирования МЭМС компании Coventor обеспечивает важные преимущества в скорости, точности и возможностях для решения этих задач. Платформа способствует повышению продуктивности работы команды, позволяя одновременно исследовать несколько областей проектирования. Можно проводить быстрые и параллельные исследования на уровне устройств, одновременно оптимизируя схемы управления и исследуя влияние изменений процесса и/или материалов.

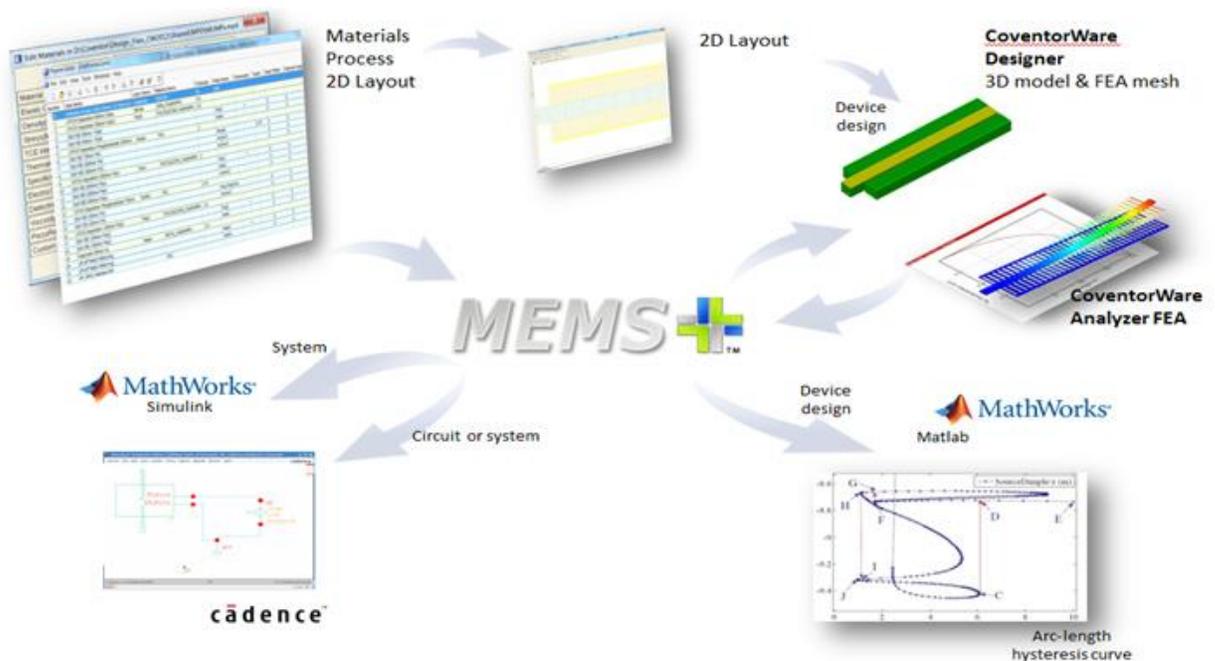


Рисунок 2: Интегрированная платформа Coventor применяется для проектирования электростатического гребенчатого актуатора



## Анализ и оптимизация архитектуры устройства

Разработчики могут исследовать и оптимизировать МЭМС-актуаторы в широком диапазоне геометрических изменений, спецификаций материалов и технологических процессов. Каждое из этих изменений может по отдельности повлиять на характеристики и изготовление устройства, а также сложное взаимодействие между ними, которые необходимо исследовать в режиме реального времени. Скорость и возможности моделирования являются ключевыми преимуществами в этом процессе проектирования. Возможность быстрого поиска и выбора оптимальной комбинации при использовании такого большого количества переменных может помочь разработчикам избежать неэффективных и чрезмерно затратных подходов на ранних стадиях процесса проектирования.

Инструмент MEMS+ компании Coventor предлагает отличное решение этих проблем. С помощью MEMS+ можно создать полностью параметрическую конструкцию устройства, используя обширную библиотеку специализированных МЭМС-компонентов. Эти специфические для МЭМС компоненты представляют собой конечные элементы более высокого порядка, специально созданные для быстрого выполнения полностью связанных мультифизических симуляций в MATLAB®, Simulink® и/или Cadence Spectre®. Часто пользователи получают от 100 до 1000-кратное преимущество в скорости работы в MEMS+ по сравнению с традиционными подходами МКЭ. Это позволяет исследовать сотни вариантов процессов и конструкций в течение одного дня. Рассмотрим моделирование неустойчивости замыкания и размыкания электростатического привода. Моделирование в обычных инструментах МКЭ может занимать 8 и более часов, в то время как анализ модели MEMS+ занимает несколько минут. Моделирование переходных процессов, включающих эффект газового демпфирования, невозможно с помощью обычного МКЭ, но вполне выполнимо с помощью моделей MEMS+.

## Комплексная платформа

Платформа Coventor для проектирования и моделирования МЭМС-актуаторов является быстрым, точным и универсальным решением. Используя эту платформу, разработчики могут моделировать отдельные МЭМС-актуаторы и комплексы, включая их схемы управления. Эта новая, интегрированная методология, основанная на инструментах, специфичных для МЭМС, позволяет современным разработчикам актуаторов оптимизировать работу устройства и достигать все более сложных задач и быстрее выходить на рынок.



## Проектирование и верификация МЭМС-устройства

Рассмотрим более подробный анализ, который включает в себя влияние анкеров, воздействие корпуса и различных механизмов демпфирования. На этом этапе точность имеет решающее значение.

Для точной настройки и верификации конструкции MEMS+ используются специализированные инструменты МКЭ (Designer & Analyzer) компании Coventor. Специализированные алгоритмы в инструментах МКЭ обеспечивают:

- Исследование электромеханики контакта и соответствующих трехмерных граничных полей
- В результате решения получение оптимальные сетки, и;
- Электромеханика, основанная на заряде и/или напряжении, доступна для решения наиболее сложных проблем.

CoventorWare достигает этого с помощью нашего собственного гибридного МКЭ и МГЭ решателя. Этот решатель адаптивно корректирует сетку конечных элементов, используемую для электростатики, обеспечивая точный результат, не требуя от пользователя дополнительного уточнения сетки. Кроме того, в отличие от традиционных подходов МКЭ, объем воздуха в гибридном методе Coventor не покрывается сеткой. Это наиболее важно при решении проблемы гистерезиса контактов и оценке других тонкостей, связанных с движением и надежностью этих устройств. Используя наш подход, моделирование становится более точным, более надежным и значительно более быстрым.

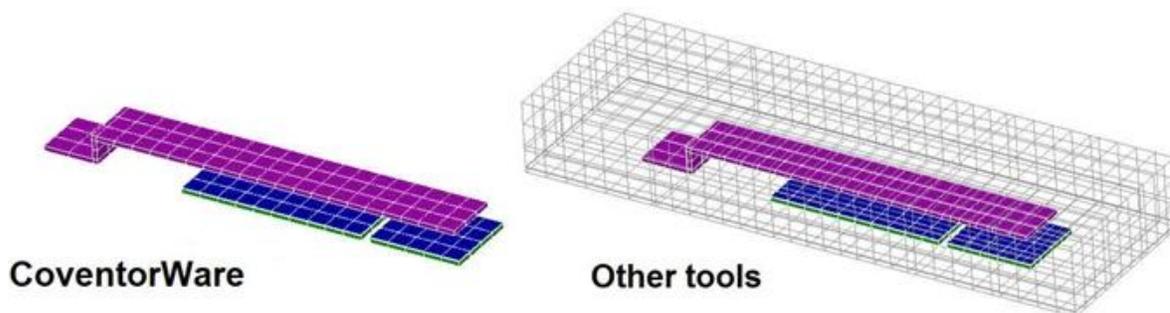


Рисунок 3: Электростатическая сетка Coventor оптимизирована для проектирования МЭМС



Нелинейное поведение пьезоэлектрических и электротермических актуаторов, как показано на рис. 4 (ниже), также может быть смоделировано. Разработчики могут определять контактные силы, вносимые потери, время переходного процесса переключения, а также проводить анализ ударной нагрузки (испытания на падение). Кроме того, инструменты для моделирования сжатой пленки, диапозитивной плёнки и газового демпфирования Стокса позволяют пользователям калибровать или проверять модели MEMS+, а не полагаться на простые аналитические формулы или экспериментальные измерения.

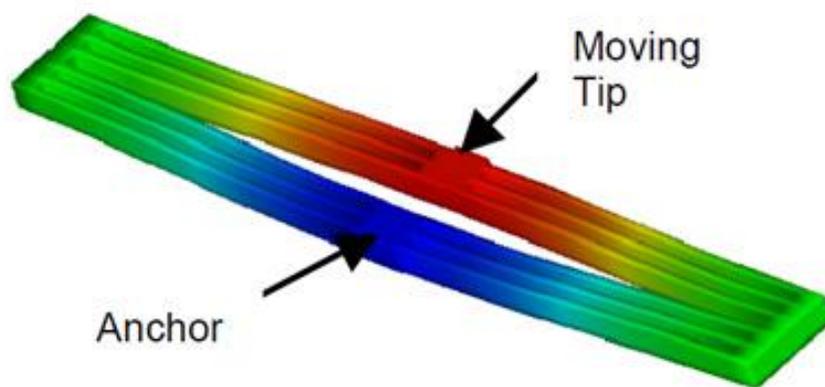


Рисунок. 4: Тепловой актуатор

## Интеграция и верификация на уровне системы

МЭМС-актуаторы не работают изолированно; они выполняют свои задачи в условиях системы, включающей электронную схему. Таким образом, перед изготовлением вся система должна быть смоделирована и настроена. Для достижения этой цели инженеры-конструкторы традиционно строят модели сокращенного порядка (ROM), основанные на аналитических выражениях или извлеченные из моделирования МКЭ. Проблема с таким подходом имеет двоякий характер. Во-первых, построение моделей сокращенного порядка может занять очень много времени. Во-вторых, что более важно, используемые аналитические уравнения сильно упрощены, а созданные модели сокращенного порядка не включают нелинейные эффекты. В совокупности этот традиционный подход оказывает большое влияние на разработчиков ИС и систем и может увеличить вероятность дорогостоящих доработок на поздних этапах цикла разработки.

Инструмент MEMS+ компании Coventor разработан специально для решения этой задачи. Параметрическая модель, включающая нелинейное поведение механического МЭМС-актуатора, создается и запускается в Mathworks Simulink или Cadence Spectre. Разработчики систем могут оценить все характеристики устройства, включая интегральную схему. Они также могут моделировать массив МЭМС-устройств, используя этот подход. Для управления линейностью и проведения анализа



чувствительности можно параметрически изменять параметры устройства и системы. Разработчики также могут моделировать силу и смещение актуатора, а также ток/напряжение актуатора и даже видеть движение актуатора в трехмерном отображении.

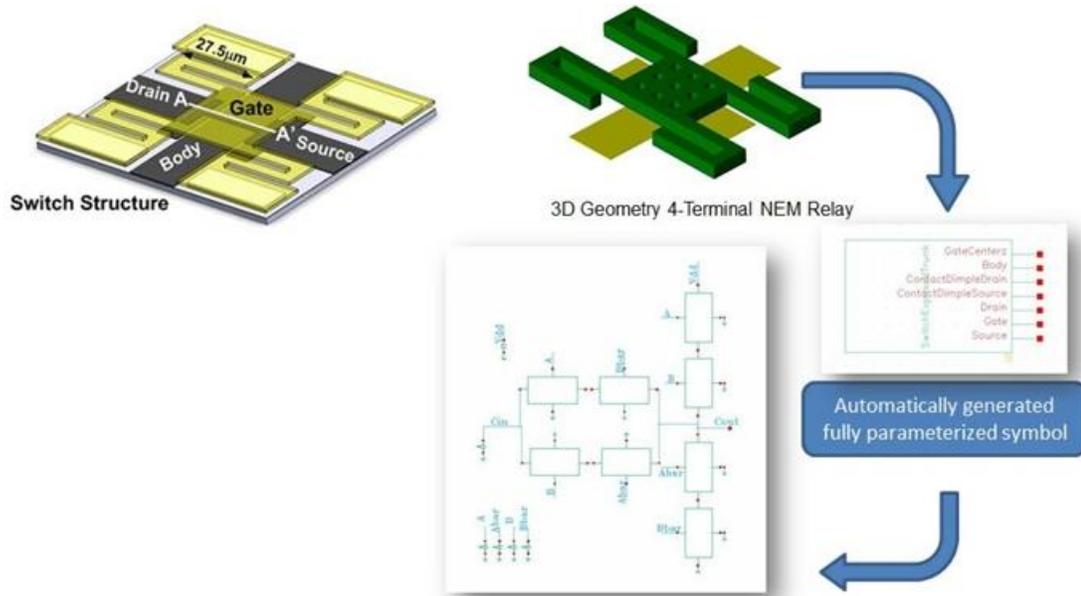


Рисунок 5: Схема расположения 4-контактных НЭМС-реле, созданная с помощью добавления моделей MEMS+ в схему Cadence

## Использованная литература:

- MEMS actuators and sensors: observations on their performance and selection for purpose – D J Bell, T J Lu, N A Fleck and S M Spearing – 6/2005
- A novel large displacement electrostatic actuator: pre-stress comb-drive actuator, Journal of Micromechanics and Microengineering, J C Chiou and Y J Lin
- Electrostatic Zipping Actuators and Their Application to MEMS – Jian Li 1/2004
- Stable zipping RF MEMS varactors, Suan Hui Pu, Andrew S Holmes, Eric M Yeatman, Christos Papavassiliou and Stepan Lucyszyn, Imperial College London, UK – 3/2010
- Repulsive-force out-of-plane large stroke translation micro electrostatic actuator – S He1, R Ben Mrad2 and J Chong2 – 6/2011
- System Integration of High Voltage Electrostatic MEMS Actuators – Jean-François Saheb, Jean-François Richard, R. Meingan, M. Sawan, and Y.Savaria – DALSA Semiconductor Inc., 5/2005
- Low-voltage small-size double-arm MEMS actuator – N. Biyikli, Y. Damgaci and B.A. Cetiner – 3/2009
- Pull-In Analysis of Torsional Scanners Actuated by Electrostatic Vertical Combedrives – Daesung Lee and Olav Solgaard – Journal of MicroElectroMechanicalSystems, 10/2008