

Современные решения для моделирования и проектирования МЭМС в среде CoventorMP

А. Соловьев¹, С. Курдюков²

УДК 621.3.049.78 | ВАК 05.13.12

Разработка микроэлектромеханических систем (МЭМС) связана с рядом специфических проблем, таких как связь между технологией изготовления и процессом проектирования, сложность конструкции, сочетание в МЭМС-устройстве различных физических эффектов, интеграция с КМОП-схемами и особые требования к корпусированию. Инструменты проектирования общего назначения не позволяют оптимально решать эти проблемы, что приводит к срыву сроков реализации проекта и задержке выхода изделия на рынок. ЗАО «СКАН», официальный дистрибьютор компании Lam Research в России, предлагает специализированную платформу для разработки МЭМС CoventorMP, которая позволяет эффективно проектировать, оптимизировать и интегрировать МЭМС-устройства. В статье рассмотрен основной функционал, возможности системы, а также особенности инструментов MEMS+ и CoventorWare, входящих в состав CoventorMP.

Эффективность разработки МЭМС-устройства с помощью САПР зависит от правильного выбора материала конструкции, разработки корректной модели, подбора и оптимизации параметров отдельных элементов, выбора технологии и организации производства. Системы для проектирования МЭМС позволяют проводить 3D-моделирование методом конечных элементов (МКЭ) и анализировать эффекты из различных областей физики (механика, электростатика, жидкостное демпфирование и т. д.).

В 2017 году компания Lam Research приобрела разработчика программного обеспечения для проектирования МЭМС – компанию Coventor, продукты которой известны в России. САПР CoventorMP представляет собой автоматизированную платформу для проектирования и моделирования МЭМС, которая обеспечивает возможность анализа физических процессов и геометрии этих устройств.

Платформа в целом позволяет проектировать устройства от схемы до топологии, включая разработку систем на основе МЭМС с использованием библиотеки материалов и процессов (рис. 1).

Интегрированная среда проектирования CoventorMP включает в себя два программных инструмента:

- MEMS+ – для проектирования МЭМС-устройств с помощью стандартных блоков из библиотеки элементов заданной формы с адаптированным под геометрию МЭМС-устройств разбиением сетки (получаемая параметрическая модель может быть интегрирована в системы и схемы);
- CoventorWare – для проектирования и моделирования МЭМС-устройств со стандартным автоматическим разбиением геометрии адаптивной сеткой (созданные модели не параметризованы и обычно требуют больших вычислительных ресурсов).

Инструменты MEMS+ и CoventorWare используют единую среду моделирования методом конечных элементов и поведенческие модели, но решают разные задачи.

Благодаря созданию моделей из элементов заданной формы из библиотеки MEMS+ обеспечиваются простота разработки конечных устройств (разработчик оперирует готовыми блоками) и скорость моделирования. Система проста в изучении и применении.

Использование параметрических моделей МЭМС позволяет повысить скорость автоматизированного анализа конструкции по сравнению с традиционным методом конечных элементов, а также оптимизировать конструкцию в процессе проектирования. Такой подход позволяет создавать в MEMS+ не только МЭМС-устройства, но и системы на основе МЭМС. Для решения этих задач в MEMS+

¹ ЗАО «СКАН», инженер по применению САПР CoventorMP, a.solovyev@scanru.ru.

² ЗАО «СКАН», заместитель генерального директора, sergey@scanru.ru.

предусмотрена возможность интеграции с системой математического моделирования MATLAB Simulink (MathWorks) или средой разработки аналоговых интегральных схем Virtuoso (Cadence Design Systems).

CoventorWare, в отличие от MEMS+, основан на стандартном подходе к проектированию МЭМС-устройств и обеспечивает разработку устройства в ручном режиме. Модель может быть создана в режиме 3D или на базе GDS-топологии и описания технологического процесса.

CoventorWare включает в себя набор алгоритмов построения сетки для генерации шестнадцатеричных ячеек, которые являются оптимальными для МЭМС-структур, обеспечивают более точный анализ в областях с высоким напряжением и для геометрий с высоким соотношением сторон, типичных для МЭМС.

Совместное использование инструментов позволяет экспортировать модели, включая свойства материалов, из MEMS+ в CoventorWare и наоборот, проводить расширенное исследование характеристик, например концентрации потенциала, создавать более точные структурные модели для MEMS+, использовать MEMS+ в качестве параметрического интерфейса для CoventorWare.

Рассмотрим более подробно особенности каждого из инструментов платформы CoventorMP.

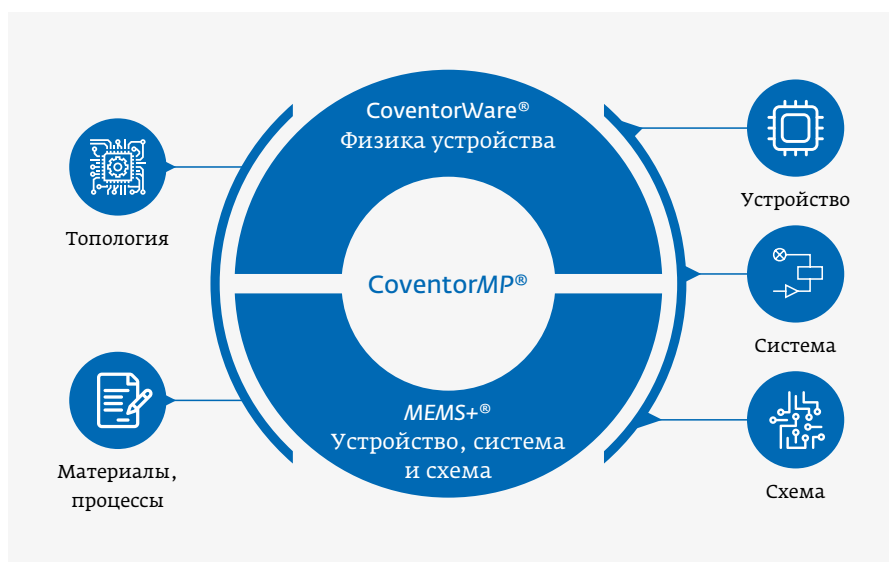


Рис. 1. Платформа автоматизированного проектирования МЭМС-устройств CoventorMP

ИНСТРУМЕНТ MEMS+

MEMS+ – специализированный программный продукт, предназначенный для проектирования МЭМС. Конечные элементы заданной формы с адаптированным разбиением сетки из библиотеки MEMS+ (рис. 2), на основе которых проектируются модели, учитывают геометрию МЭМС-устройства, в том числе углы боковых стенок, многослойность, перфорации, гребенчатые структуры. Конструкция может быть также создана из файла GDS или SAT.



Рис. 2. Проектирование на основе библиотеки Coventor MEMS+

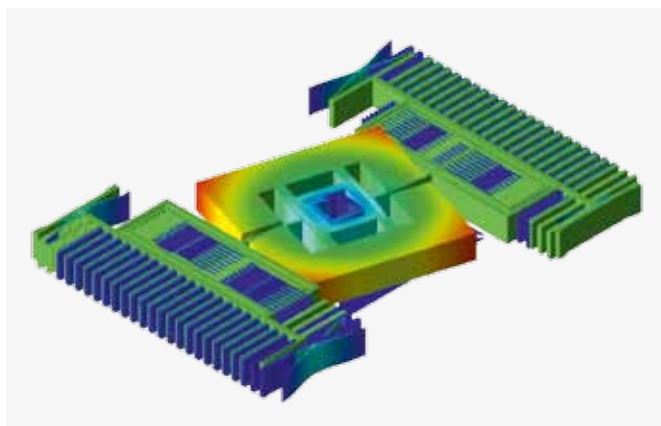


Рис. 3. 3-осевой гироскоп, спроектированный с использованием библиотеки Coventor MEMS+

На рис. 3 показана конструкция 3-осевого гироскопа, спроектированная с использованием библиотеки MEMS+.

Моделирование созданной конструкции возможно как во встроенном симуляторе MEMS+, так и в системе математического моделирования MATLAB Simulink (MathWorks) или на платформе разработки аналоговых интегральных схем Virtuoso (Cadence Design Systems). Эти системы интегрированы с MEMS+, что делает модель

мультимедийной и обеспечивает общую платформу и эффективную методологию для разработчиков МЭМС и ИС с МЭМС-структурами (рис. 4).

Модели можно передавать и в другие среды проектирования с помощью встроенного экспорта в формат Verilog или в формат моделей сокращенного порядка (ROM) с уменьшенным количеством степеней свободы и без учета нелинейной физики. Данные модели используются для импорта сложных геометрических структур и позволяют сократить время моделирования в сотни раз.

При анализе модели учитываются различные физические эффекты, используемые в МЭМС, в том числе из таких областей, как механика, электростатика, демпфирование, пьезофизика. Система позволяет выполнять моделирование переходных процессов, а также температурных режимов с учетом термомеханических эффектов. Возможно также проведение исследований влияния деформации корпуса и подложки на характеристики МЭМС-устройств.

После завершения имитационного моделирования доступна визуализация результата в 2D- или 3D-формате, которая дает возможность увидеть конструкцию в движении.

Библиотека компонентов в инструменте MEMS+ позволяет создавать индивидуальную библиотеку

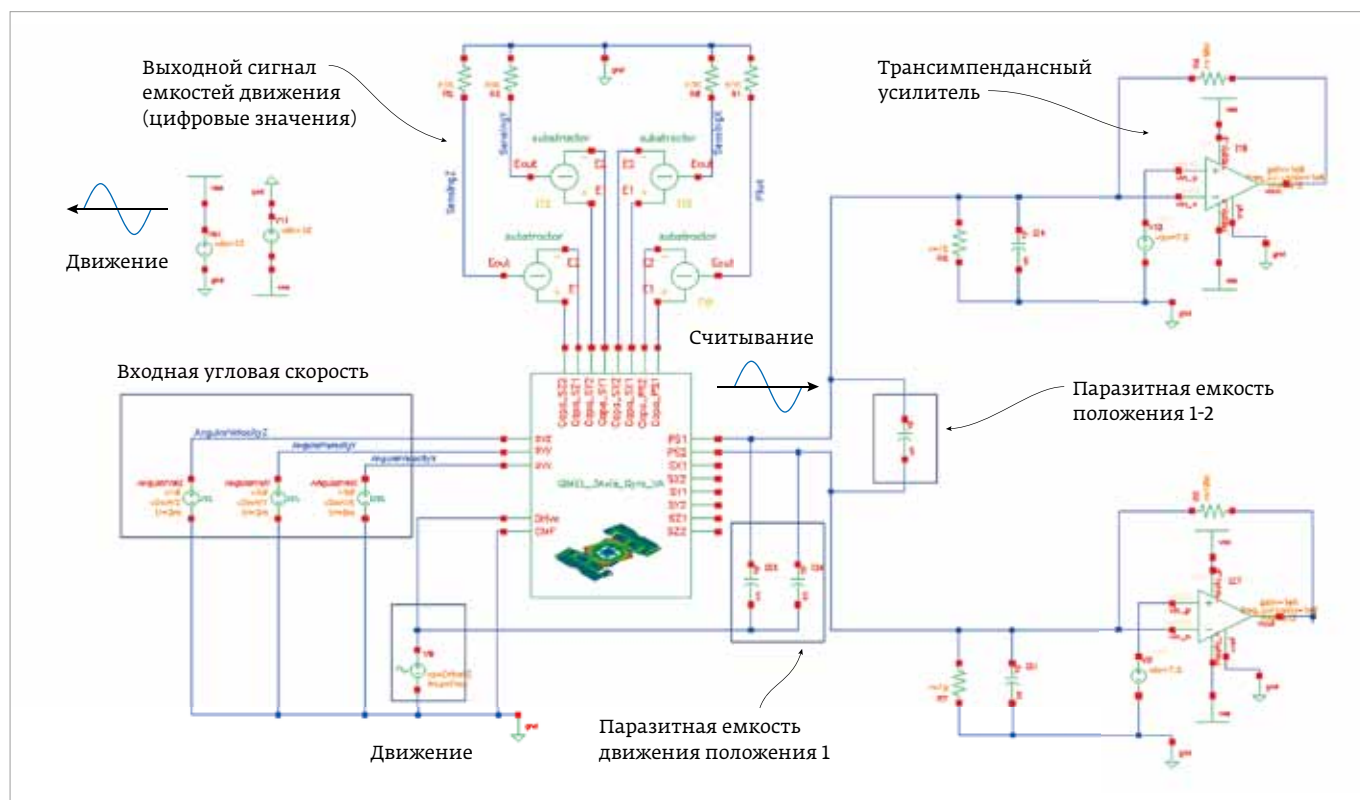


Рис. 4. Модель гироскопа, созданная в MEMS+ и интегрированная в среду MATLAB Simulink

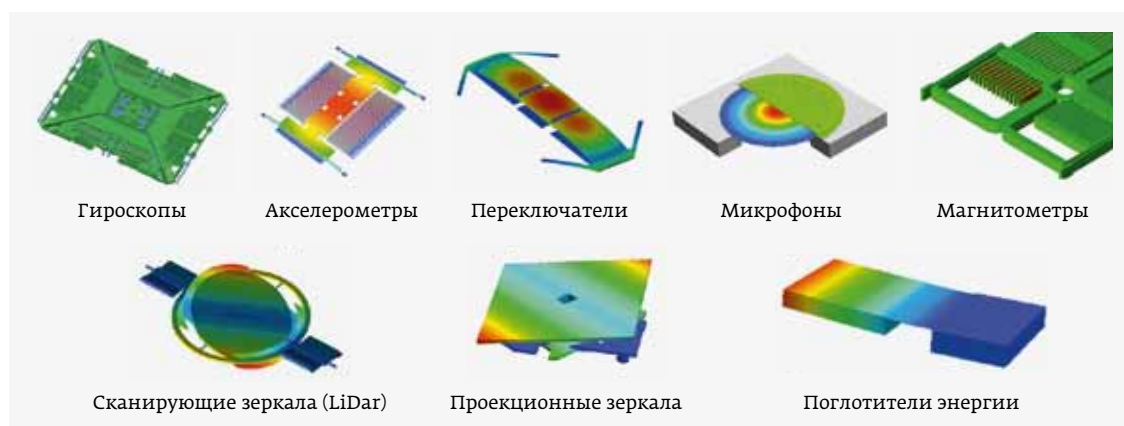


Рис. 5.
Примеры устройств,
созданных
в MEMS+

пользователя, адаптированную к конкретному процессу, и сохранять ее в формате mpdk. Этот файл и содержащиеся в нем компоненты доступны только для чтения и могут быть защищены паролем.

MEMS+ используется для моделирования различных типов МЭМС-устройств (рис. 5). Инструмент прост в применении и освоении новыми пользователями. В программном пакете есть набор примеров готовых проектов, созданных в MEMS+: гироскопы, акселерометры, переключатели, микрофоны, магнитометры, сканирующие зеркала. Примеры можно использовать при создании собственных устройств для ускорения работы.

ИНСТРУМЕНТ CoventorWare

CoventorWare – набор интегрированных средств для моделирования и проектирования МЭМС. Твёрдотельные модели создаются на основе топологии и описания процесса (рис. 6) или импортируются из MEMS+.

В редакторе технологического процесса (рис. 7) определяется последовательность шагов процесса, то есть фактически создается «рецепт», который нужно реализовать, чтобы построить твердотельную модель. В состав модели входят свойства материалов, которые используются при проведении имитационного моделирования.

Решения для проектирования

МЭМС
Функциональная верификация
СБИС
Корпусирование
Печатные платы
СВЧ/ВЧ

IP блоки

Аналоговые
Цифровые
Верификационные



С К А Н

Контактная информация:

Москва, ул. Дружбы 10Б
тел.: +7(495) 739-5005
e-mail: coventor@scanru.ru
сайт: www.scanru.ru

Измерительное оборудование

Зондовые станции
Генераторы
Осциллографы
Измерители RLC
Пробойные установки
Испытания трансформаторов и моторов

Центр проектирования ИС

Цифровые и цифро-аналоговые СБИС и СМК
СФ-блоки интерфейсных контроллеров
Низкочастотные ИС и БИС

Системы автоматизированного проектирования

Cadence Design Systems
Keysight Technologies
Coventor Inc.
Siemens AG

Вычислительное оборудование

ЦОД, Сети
Решения на базе Linux
Поставки оборудования

Информационные ресурсы:

САПР МЭМС Coventor



САПР СВЧ Keysight



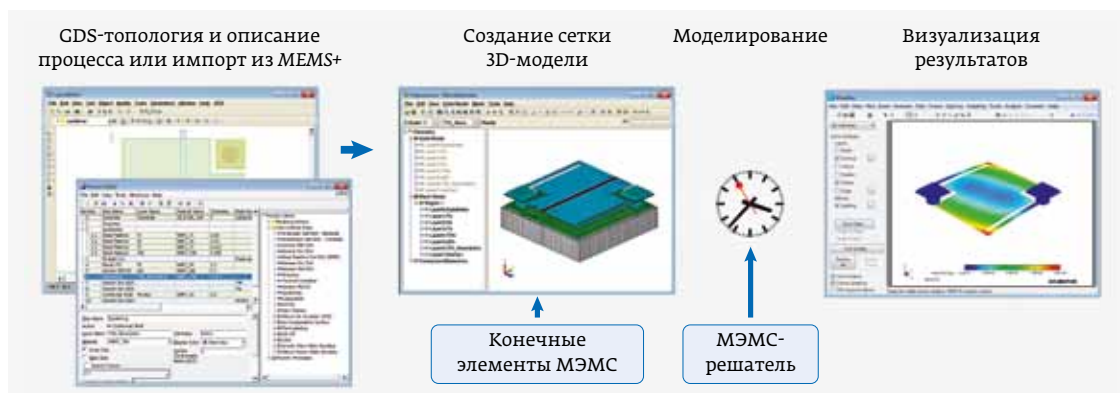


Рис. 6.
Проектирование МЭМС-устройств в CoventorWare

На базе 2D-модели и описания процесса автоматически генерируется 3D-модель, на которую можно наложить сетку конечных элементов.

Сетка генерируется в препроцессоре (рис. 8), где можно рассмотреть модель в разрезе, выбрать различные типы конечных элементов (блочный элемент, элемент «оболочка» или «тетраэдр», элемент поверхности). Доступен также запрос для проверки качества всех элементов. Сетка анализируется в ядре решателя конечных элементов. Решатели работают как в линейном, так и в нелинейном режиме, с поддержкой нескольких процессоров через графических интерфейс или скрипт.

В CoventorWare используется гибридный метод конечных/граничных элементов (МКЭ/МГЭ), который позволяет избежать проблем с точностью и эффективностью. Набор решающих программ CoventorWare обеспечивает

быстрое физическое моделирование и позволяет выполнять следующие виды анализов:

- модальный анализ;
- квазистатическая сопряженная электромеханика (притяжение, отталкивание, электростатический изгиб пружины);
- гармонический анализ;
- алгоритм быстрой развертки по частоте для пьезоэлектрических BAW-резонаторов;
- газовое демпфирование для любой трехмерной геометрии;
- рассеяние энергии за счет термоупругого демпфирования и потерь в анкере;
- анализ чувствительности пьезорезистивных датчиков;
- детальный анализ напряжений.

Кроме того, в CoventorWare предусмотрен учет связанных областей физических явлений, которые позволяют, например, смоделировать движение переключателя в результате смещения напряжения. В пакете есть множество специфических для МЭМС функций для моделирования и имитации широкого спектра

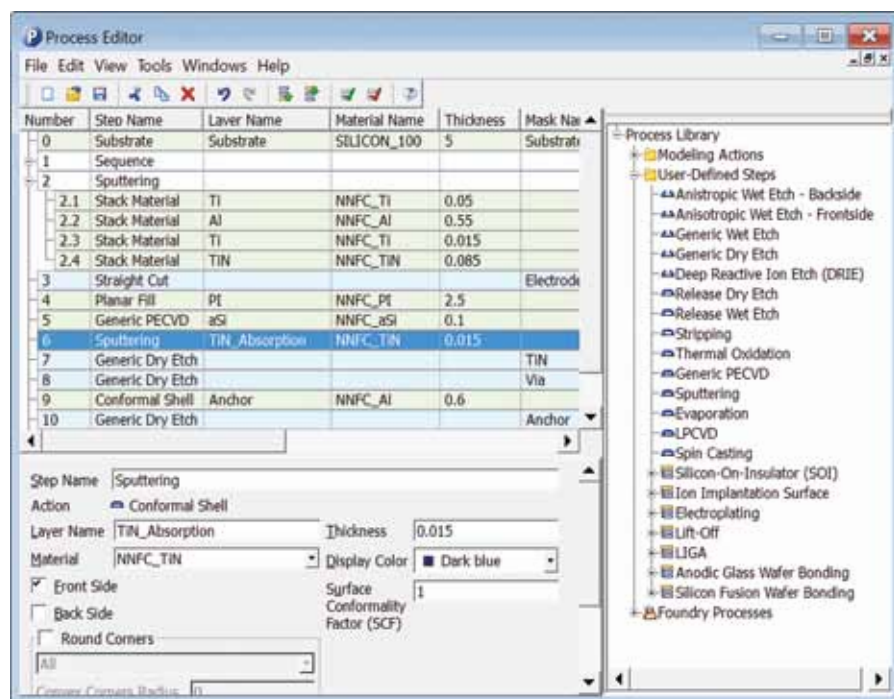


Рис. 7. Окно редактора процессов CoventorWare

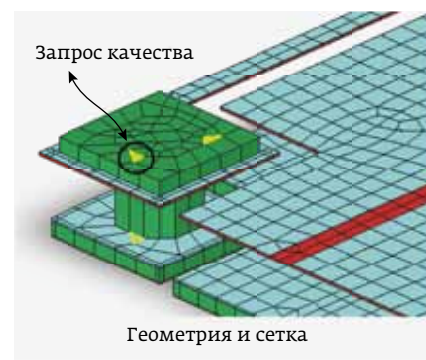


Рис. 8. Генерация сетки в препроцессоре CoventorWare

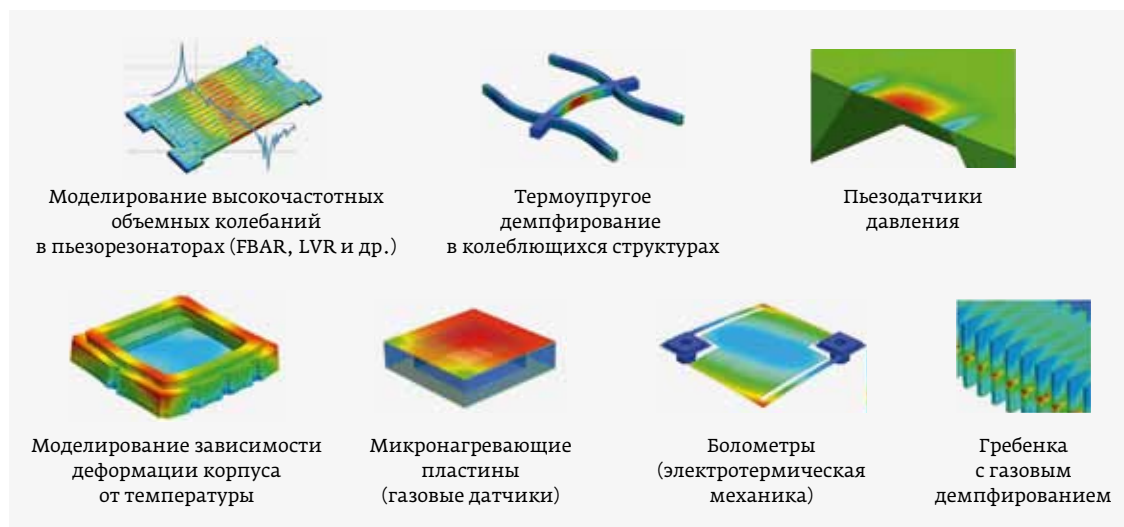


Рис. 9. Примеры устройств, которые можно спроектировать в CoventorWare

МЭМС-устройств (рис. 9), включая инерционные датчики (акселерометры и гироскопы), микрофоны, резонаторы и исполнительные механизмы.

Внешний интерфейс CoventorWare интегрирован с набором программных решателей Coventor, но может также использоваться в качестве автономного внешнего интерфейса для сторонних инструментов, таких как ANSYS.

ИНТЕРАКТИВНАЯ СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ПЛАТФОРМЫ CoventorMP

В новой версии платформы CoventorMP 1.3 реализована новая интерактивная справочная система (рис. 10), доступная из инструментов CoventorWare 10.5 и MEMS+ 6.5 или из меню «Пуск».

Справочная система включает в себя руководства пользователя, указания по применению, учебные материалы с демонстрацией практических примеров и взаимодополняющих возможностей инструментов

MEMS+ и CoventorWare, которые позволяют инженеру-конструктору получить глубокие практические знания по проектированию МЭМС-устройств. Для удобного поиска предусмотрены фильтры, с помощью которых можно ограничить разделы для запроса.

CoventorMP заслуживает внимания разработчиков как специализированная комплексная платформа для проектирования МЭМС-устройств. ЗАО «СКАН» занимается продажами решений в области САПР и осуществляет техническую поддержку пользователей в России. Компания предлагает полноценную версию CoventorMP для ознакомления и временные лицензии для бесплатного тестирования. Специалисты ЗАО «СКАН» готовы проконсультировать пользователей, ответить на возникшие вопросы и продемонстрировать возможности САПР, в том числе с использованием проектов пользователей. ●

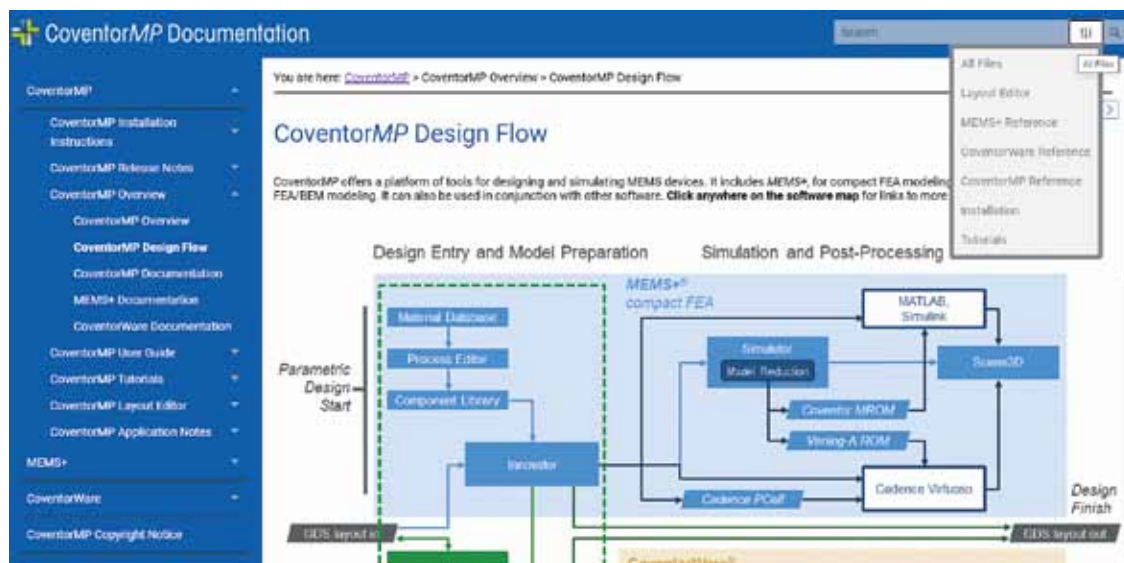


Рис. 10. Окно интерактивной справочной системы CoventorMP