

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Куликов Д. Д., Соболев С. Ф.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
ПРОИЗВОДСТВА**

*Часть 9. Системы проектирования
технологических процессов электронных
приборов*

Учебно-методическое пособие



Санкт-Петербург
2012

УДК 65.015.13

Куликов Д.Д., Соболев С. Ф., «Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства / Часть 9. Системы проектирования технологических процессов электронных приборов / Куликов Д. Д., Соболев С. Ф. Учебно-методическое пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2012. – 80 с.

Часть 9. Пособие посвящено вопросам проектирования конструкции и технологии производства электронных приборов с использованием систем САПР специального назначения. Рассмотрен комплекс систем включая системы: «Mentor Graphics», «Altium», «KiCad», «MEMS Pro», «Cadence».

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области приборостроения и оптоэлектроники для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200100 - Приборостроение.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2012

© Куликов Д. Д., Соболев С. Ф., 2012

Оглавление

Часть 9. Системы проектирования технологических процессов электронных приборов

Введение	4
9.1. Стремительный рост техники и технологий производства приборов	5
9.2. Обзор САПР и способы выбора программного обеспечения	15
9.3. Свободное программное обеспечение и программа KiCad	27
9.4. Программы фирмы Mentor Graphics: PADS и Expedision	39
9.5. Программы фирмы Altium: Altium designer, Nano Board	51
9.6. Современные микроприборы и программы MEMS Pro и другие	64
Список литературы	75
Список контрольных вопросов	77

Введение

Современный мир невозможно представить без электроники. Развитие техники и технологии непрерывно происходит и не проходит и месяца, как появляются новые технологии, новое оборудование для производства плат печатного монтажа и новые материалы, применяемые в производстве. Перед разработчиками приборов и микропроцессорных устройств и перед технологами ежедневно встает вопрос: как лучше спроектировать изделие, какой лучше использовать технологический процесс? Можно применить объемный, печатный, поверхностный или планарный внутренний монтаж.

В решении подобных задач необходимо использовать информационное обеспечение, Интернет. Это позволяет использовать искусственный интеллект при разработке технологического процесса современного производства электромонтажа. Каждый разработчик платы и каждый технолог конкретно для своих разработок должен составлять подобную схему для упрощения работы. Конечно, с течением времени в схему вносятся изменения. Перед разработкой нового технологического процесса следует просмотреть все возможные варианты исполнения платы с целью достижения максимальных возможностей и соответствовать требованиям заказчика.

Развитие науки, техники и технологии привело к революционным изменениям в производстве микропроцессорной техники как составляющей части электронной схемы приборов. Прежде всего, это переход от ручного труда к автоматизированному производству. Такой процесс охватывает все виды электронных частей приборов от выполнения электрического соединения объемными проводами, выполнение поверхностного монтажа и до беспроводного соединения блоков приборов.

Интегрированные компьютерные технологии означают разработку технологии производства электронных блоков приборов с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) для решения конкретных производственных задач на определенном этапе разработки технологии. Задачи разработки технологии совмещаются с задачами проектирования конструкции устройства и создаются в системах CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) означающих компьютерное проектирование и изготовление.

В современном производстве имеется достаточно большое количество различных программных продуктов и появляется проблема выбора наиболее подходящего продукта по соотношению качества и цена. Программные продукты стремительно увеличиваются по созданию различных приложений и применению в различных сферах проектирования и производства.

Производство электронных систем осуществляется автоматизированными установками и их управление обеспечивается как ручным набором программы действий, так и возможностью введения программы по разводке плат. Это вызвано необходимостью привлечения клиентов по приобретению оборудования и неизвестно, какими программными продуктами пользуется клиент.

Совместное решение всех поставленных задач с использованием информационного обеспечения, Интернет, компьютерных программ и есть интегрированная разработка технологической подготовки производства электронных приборов или их электронной части. Время – это важнейший фактор в современном производстве и термин «Онлайновый» означает немедленное решение необходимых задач в информационной среде.

9.1. Стремительный рост техники и технологий производства приборов

Программа производства электроники до 2025 года

Стремительно меняется техника и технология электронных приборов. Не могу иначе высказать то, что мы видим в окружающих нас приборах

Широкое применение электроники во всех сферах деятельности человека оказало и продолжает оказывать огромное влияние на развитие мировой экономики и образ жизни людей во всем мире. Благодаря электронике появляются новые возможности коммуникации людей. Электроника позволяет обеспечить безопасность человека, повышает качество и доступность образования и здравоохранения, делает жизнь человека красивее и насыщеннее. Использование электронных информационных технологий в бизнесе сделало возможным развитие транснациональных корпораций и определило развитие глобальной экономики. Электронные технологии решают задачи энергосбережения, а также делают возможным переход на экологически чистые источники энергии. Ассоциация производителей электронной аппаратуры и приборов России подготовила доклад о развитии электронной промышленности в России до 2025 года. Основные положения изложены ниже.

Для России развитие электронной отрасли является особенно важным по следующим причинам.

- Рынок электроники является одним из самых емких и при этом одним из самых быстрорастущих, темп роста рынка электроники и электронной промышленности в 3 — 4 раза опережает средние темпы роста промышленного производства и валового продукта, при этом рынок электроники и электронная промышленность обладают огромным потенциалом дальнейшего развития.
- Основная составляющая стоимости в электронике — интеллект и высококвалифицированный труд, а значит, развитие электронной промышленности непосредственно связано с переходом к экономике знаний и информации.
- Инновационное развитие машиностроения, энергетики и сферы услуг, включая телекоммуникационные услуги, связано с внедрением и использованием современных электронных технологий, а значит модернизация экономики и промышленности страны, снижение зависимости от сырьевых рынков, во многом зависят от развития российской электроники.
- Повышение энергоэффективности промышленности и жилищно-коммунального хозяйства России требует повсеместного внедрения электронных систем энергосбережения и учета ресурсов причем в кратчайшие сроки.
- Электронная промышленность оказывает огромное влияние на развитие рынка и индустрии информационных технологий: разработку программного обеспечения, услуг системных интеграторов, операторов связи, интернет-провайдеров и в целом на развитие информационного общества.
- Развитие стратегических, с точки зрения обеспечения государственной безопасности, коммуникационных и навигационных систем, также как и систем вооружений непосредственно зависит от уровня развития электронной промышленности.

Последние 8 лет в России наблюдаются высокие темпы роста электронной промышленности. Рост этот, однако, обеспечивался в значительной степени за счет роста рынков, доступ к которым для зарубежных компаний ограничен, а также из-за чрезвычайно низкого стартового уровня. Лишь немногие российские производители электроники конкурентоспособны на мировом рынке. Производительность труда на предприятиях отрасли в среднем в несколько раз ниже, чем в развитых странах мира, также как эффективность использования технологического оборудования.

Текущее состояние электронной промышленности России характеризуется следующими особенностями: наличие большого сектора производителей, контролируемых государством, и находящихся в условиях ограниченной конкуренции и внешнего регулирования деятельности; концентрация российских производителей электроники на нишевых сегментах внутреннего рынка; низкая интеграция российских производителей электроники в мировой рынок; относительно малые объемы инвестиций зарубежных компаний в развитие разработки и производства электроники в России.

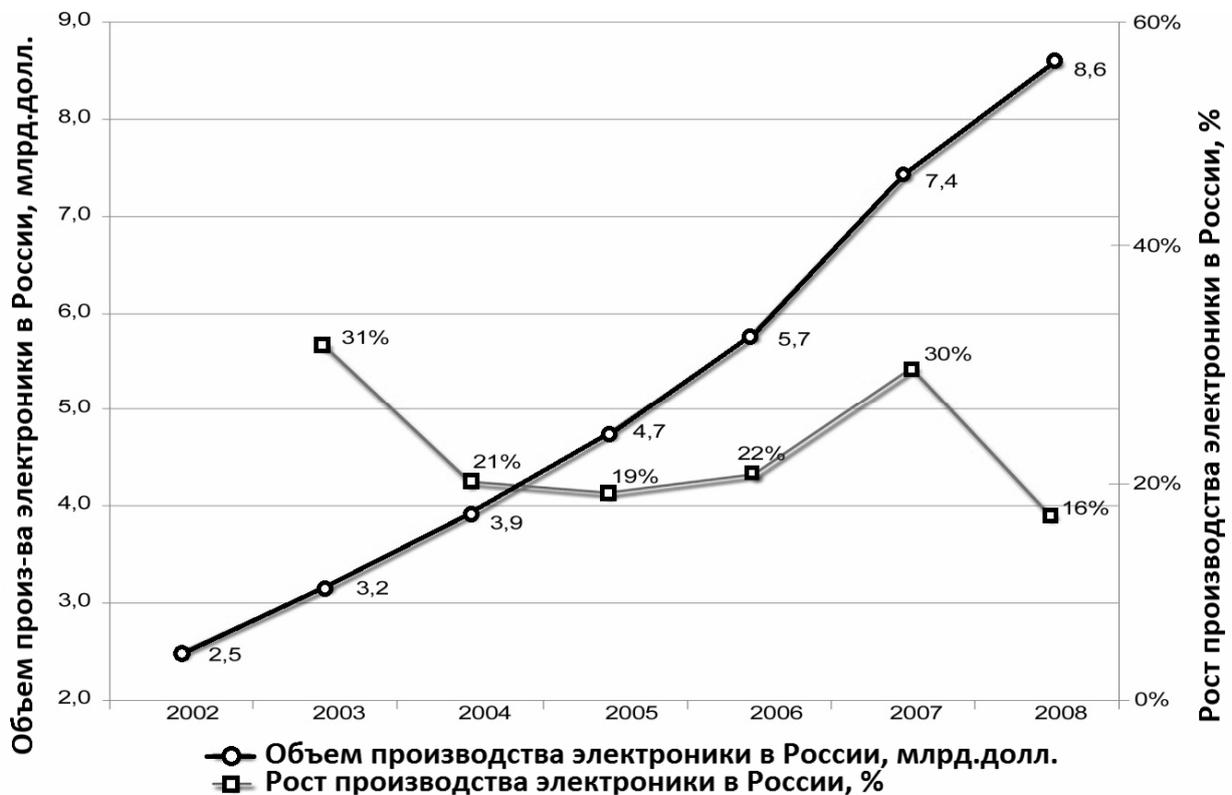


Рис. 9.1.1. Объем и рост производства электроники в России

На рисунке хорошо видно, что рост производства обеспечивается за счет резкого повышения производительности труда. Поэтому и уменьшается собственно производство электроники. Вместе с увеличением российского рынка, рос объем производства электроники в России. Темпы роста российской электронной промышленности значительно превышали темпы роста мировой электронной промышленности и примерно соответствовали темпу роста китайской электронной промышленности, но при объемах почти на два порядка меньших.

Большую роль в глобализации рынков и отрасли играют современные коммуникационные технологии, которые позволяют транснациональным компаниям привлекать квалифицированные кадры и использовать лучшие научные школы в разных странах мира, управлять международной системой продвижения и продаж продукции. Развитая система международной логистики позволяет создавать сети производственных предприятий, выбирая для размещения производственных предприятий регионы близкие к основным рынкам продаж, с низкой стоимостью труда, благоприятным налоговым режимом и развитой инфраструктурой. Эти преимущества вместе с преимуществами масштаба деятельности от международной торговли определяют доминирующее положение транснациональных компаний на рынке электроники. Доля компаний, деятельность которых сконцентрирована в одной стране, быстро сокращается.

В настоящее время инвестиции транснациональных компаний многократно превосходят совокупный объем государственных инвестиций в развитие отрасли. Различные страны мира конкурируют между собой за привлечение инвестиций транснациональных компаний, создавая благоприятные для их развития условия. С другой стороны, государства поддерживают выход национальных производителей на зарубежные рынки, помогая им преодолеть отставание в масштабе деятельности и добиться конкурентоспособности в глобальной экономике.

Объем информации в каждой области знаний достиг такого уровня, что просто невозможно быть лидером во всем. Минимально экономически эффективная мощность производства в отдельных секторах стала столь велика, что мало кто может обеспечить полную загрузку.

Стремительный рост новых компонентов и технологий

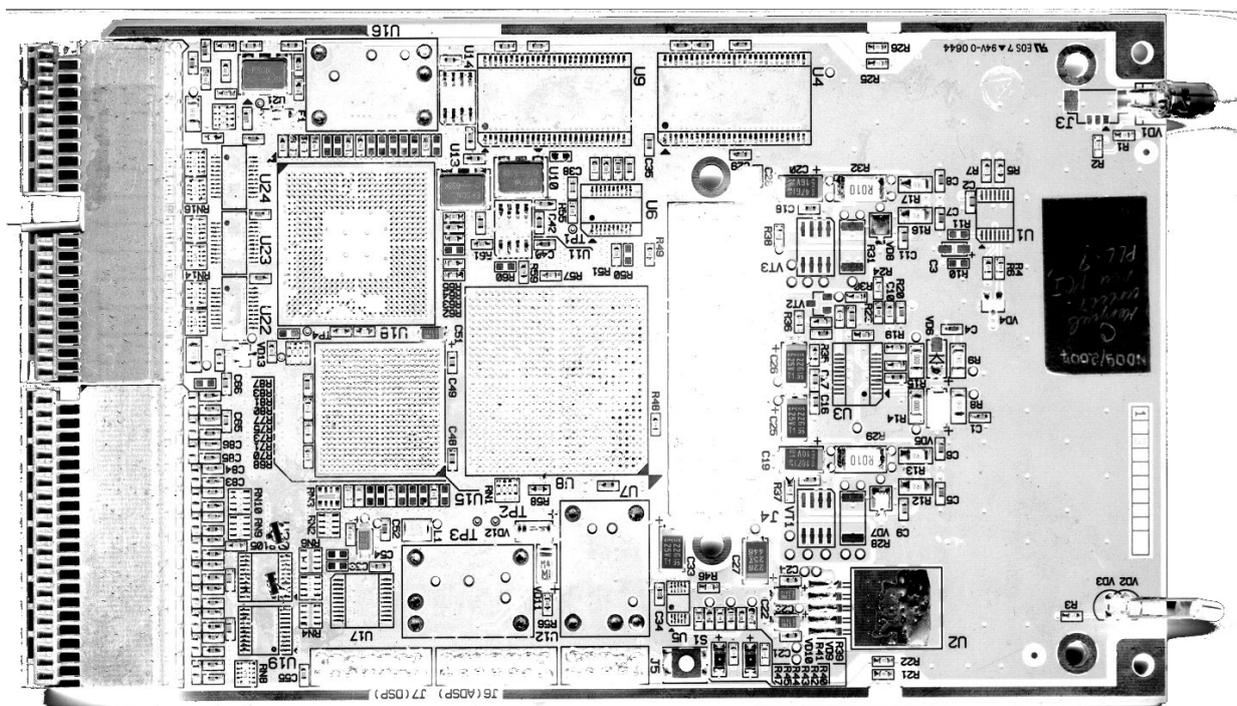


Рис. 9.1.2. Общий вид многослойной платы печатного монтажа

Особенности технологии электромонтажа.

- Массовый тип производства преобладает. При этом, создают типовые производственные участки приспособленные к определенному типу изделий и соответствующие требуемому типу производства.
- Производственный процесс разбивается на отдельные контрактные производства.
- Миниатюризация приборов приводит к созданию автоматов с программным управлением. Созданы автоматы не только для непосредственного выполнения операций, но и для контроля хода технологического процесса.
- Происходит стремительное, ежедневное, обновление технологий и оборудования для выполнения технологического процесса электромонтажа.

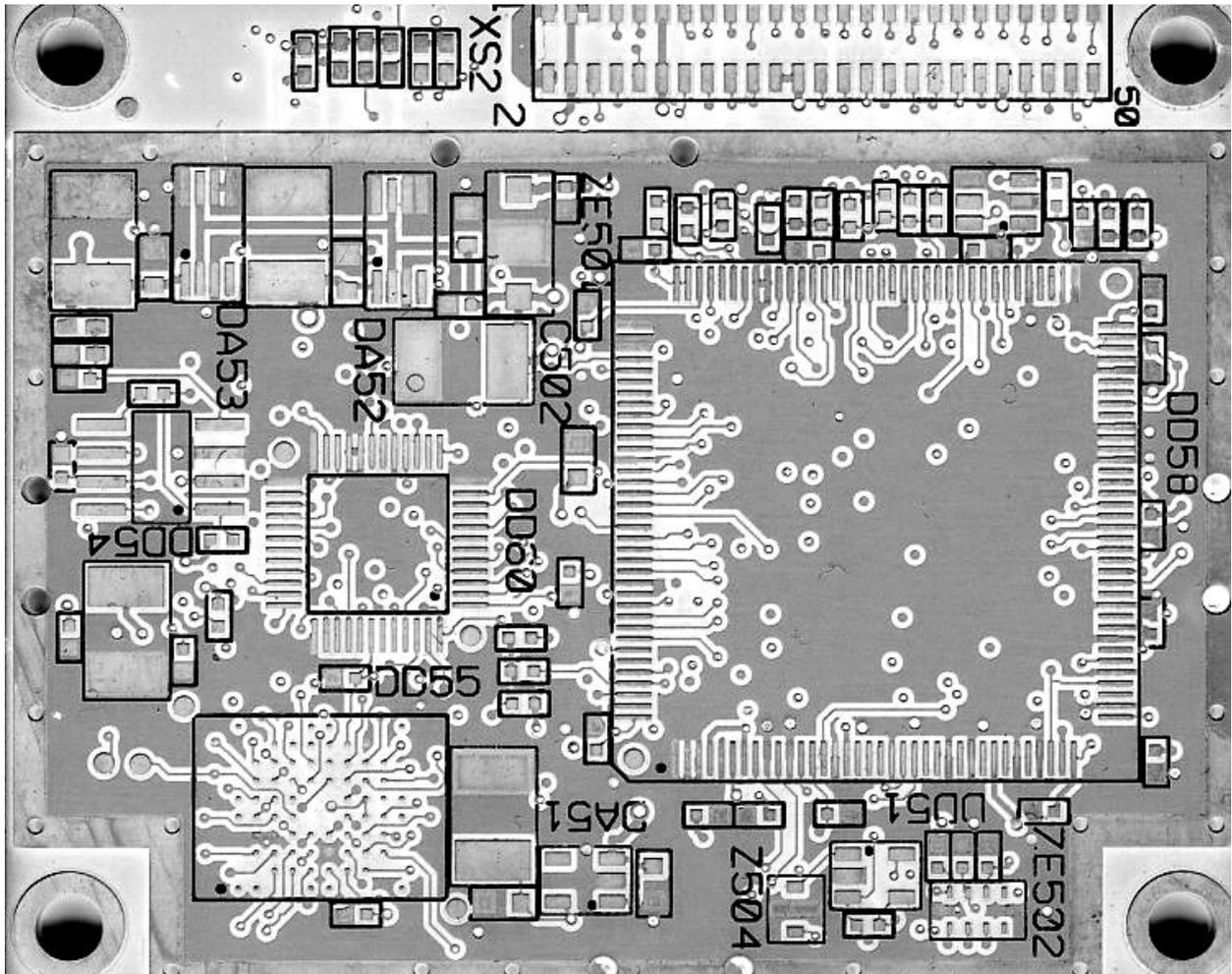


Рис. 9.1.3. Основание платы печатного монтажа

- Разработана методика выполнения технологической подготовки производства электронных приборов в современных условиях быстроменяющейся техники и технологии микропроцессорной техники. Разработана система использования Интернет и др. в процессе проектирования электронных приборов. Предложена модель создания интеллектуальных баз знаний: по технологиям, по оборудованию, по паяльной пасте, по промывке и др., ПАУК.
- Разработана и внедрена методика проведения учебных занятий в рамках общего курса «Системы управления жизненным циклом производства электронных приборов».
- Предложен принципиально новый метод проектирования приборов содержащих электронную часть и механические детали.

Технологии электромонтажа беспредельны. Наиболее широко применяются следующие технологии: монтаж объемными проводами, монтаж компонентами устанавливаемым в отверстие объемный монтаж, поверхностный монтаж, наплавляемый внутренний монтаж, монтаж с применением ПЛИС, монтаж приборов микросистемотехники, монтаж с применением интеллектуальных материалов и др.,

Существующее производство – традиционное производство

Объемный монтаж включает в себя: монтаж объемными проводами, жесткий монтаж, монтаж на расширочных панелях, комбинированный монтаж, монтаж с применением жгутов, монтаж плоскими ленточными проводами, монтаж гибко-жесткими коммутационными платами, монтаж накруткой, стежковый монтаж, клеевой монтаж, волоконнооптический монтаж, монтаж компонентами вставляемыми в отверстие.

Поверхностный монтаж заключается в том, что используется элементная база, которая унифицирована по внешним габаритам и имеет вид прямоугольников, применяется новый технологический процесс и новое технологическое оборудование. Преимущества: уменьшение габаритов устройств, повышение уровня автоматизации производственного процесса, высокая производительность установки компонентов – более 20 тыс. компонентов в час. Недостатки: высокая стоимость изготовления платы.

Наплавляемый внутренний монтаж заключается в том, что компоненты не устанавливаются в корпус и устанавливаются непосредственно в плату конструкции изделия по специальной технологии. Способов много, но приведем только один.

Размер контактных площадок более 80x80 мкм.

1. В качестве групповой заготовки взять алюминиевую пластину (сплав АД) 500x500x0,5 мм или лист сырой ЛТСС-керамики. В пластине или листе штампом пробить точные сквозные отверстия для закладки в них соответствующих кристаллов радиоэлектронных узлов, а также отверстия и углубления для последующего разделения групповых заготовок на отдельные узлы.

2. Произвести анодирование алюминиевой или отжиг керамической заготовки (далее — пластины).

3. На ровную поверхность монтажного стола расстелить пленку фоторезиста СПФ-ВЩ-20, клейкой поверхностью вверх.

4. Положить пластину на клейкую поверхность фоторезиста.

5. Вакуумным пинцетом вручную или автоматом заложить кристаллы ИС в соответствующие окна пластины активной стороной вниз. Надавить на каждый кристалл, приклеив его к фоторезисту, после чего перевернуть пластину.

6. Методом фотолитографии или ионного травления вскрыть фоторезист над контактными площадками ИС.

7. Произвести вакуумное напыление проводящего слоя на всю поверхность пластины.

8. Методом фотолитографии сформировать рисунок первого слоя разводки радиоэлектронного узла.

9. Наклеить на поверхность пластины второй слой фоторезиста и произвести формирование второго слоя разводки радиоэлектронного узла вместе с контактными площадками под элементы поверхностного монтажа (резисторы, конденсаторы и прочее).

10. Произвести монтаж поверхностно-монтируемых компонентов.

Преимущества внутреннего, наплавляемого монтажа: массогабаритные характеристики снижаются в 20 раз, увеличивается быстродействие, помехозащищенность, вибро- и термоустойчивость, и, главное, себестоимость производства радиоэлектронных узлов может быть снижена в 100 раз. Решающую роль в снижении себестоимости продукции играет в данном случае не уменьшение расхода материалов, а именно резкое сокращение количества операций при производстве и контроле изделий.

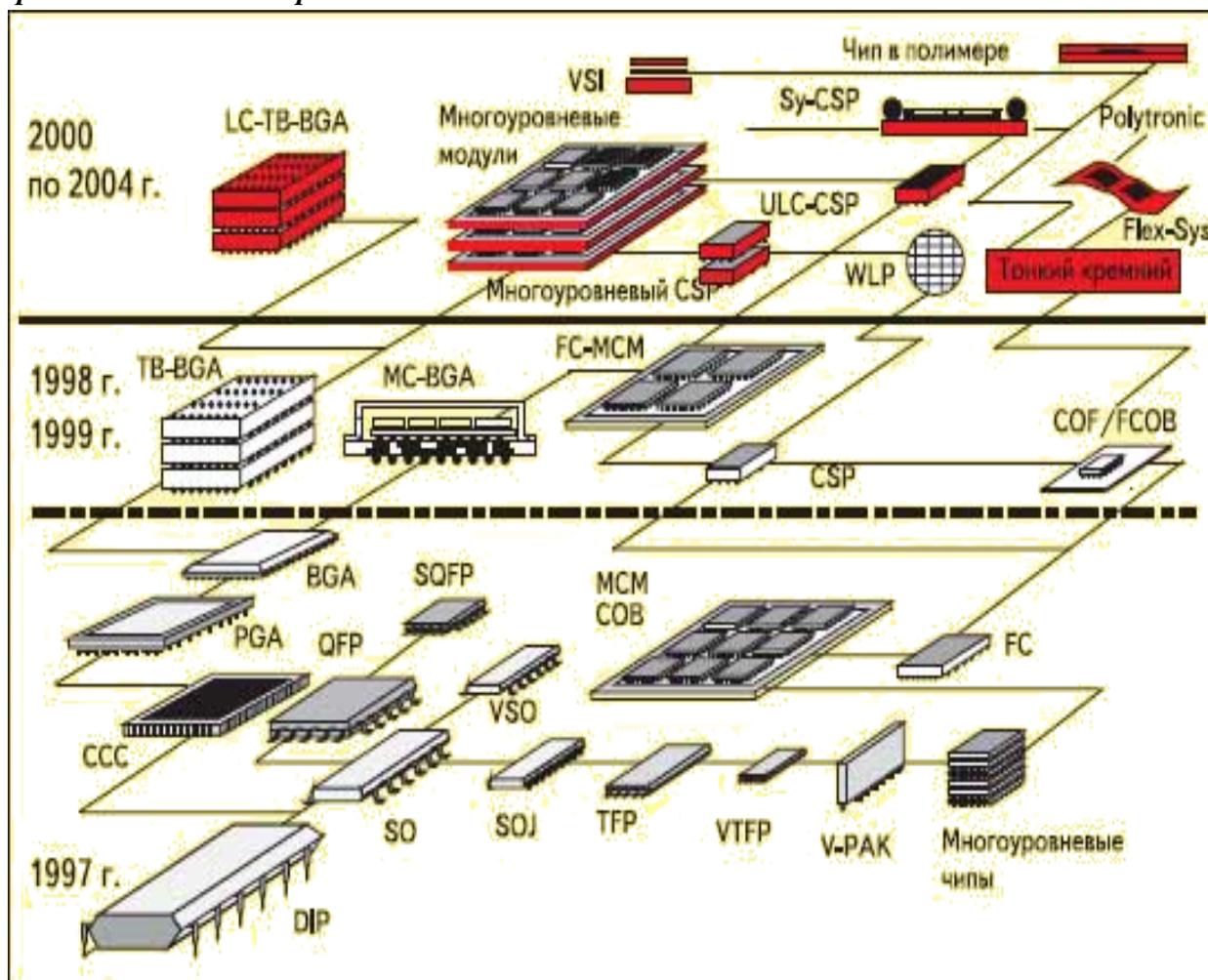


Рис. 9.1.4. Эволюция электронных компонентов печатных плат

Единство технологии и программного обеспечения реализуется в программном обеспечении. Проектировать в САПР изделие можно только такое, которое обеспечивается технологией. В противном случае дорабатывается программа или дополнительно выполняются расчеты вручную или выбирается другая программа.

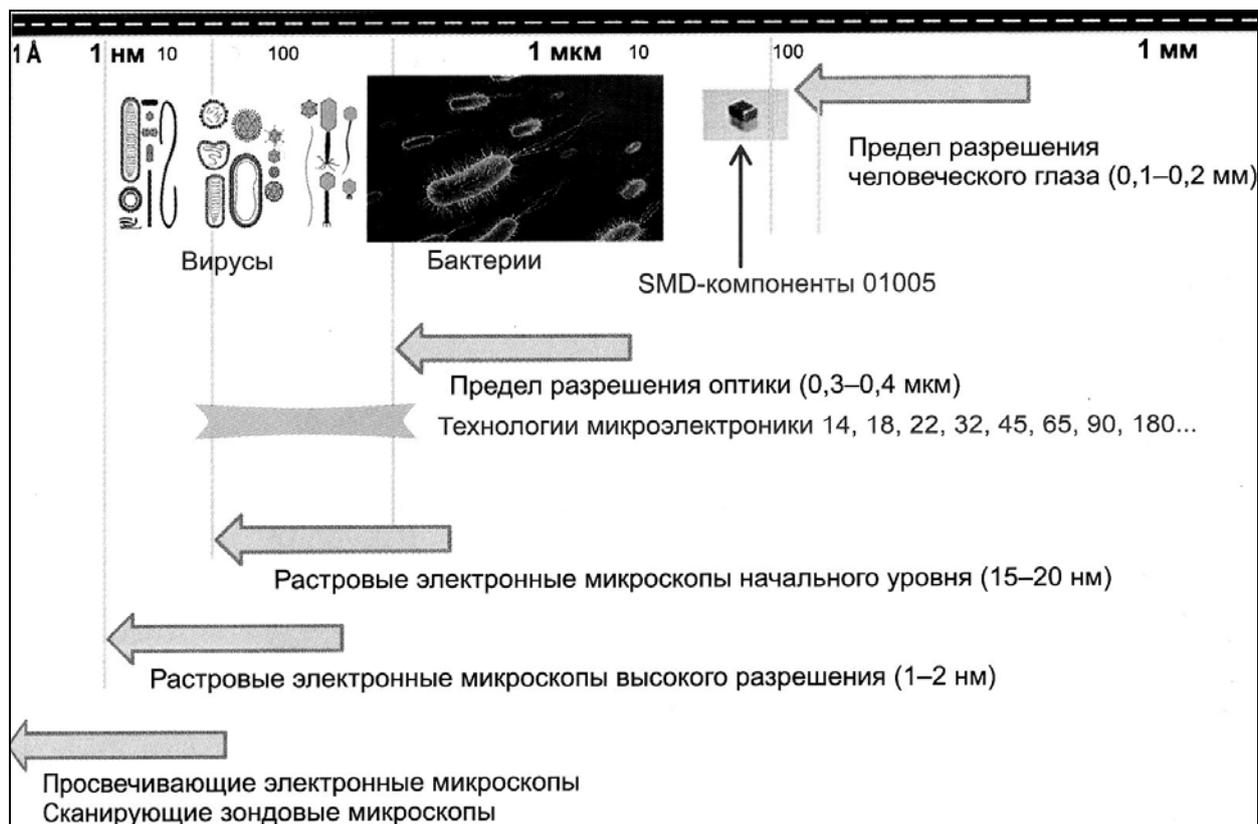


Рис. 9.1.5. Пределы разрешения различных систем визуализации

Стив Джобс продвинул на рынок планшетики, которые помимо идеологии в IT-отрасли эти продукты стали мощным катализатором развития технологии. Специалисты знают, что корпуса «i-устройств» являются техническими шедеврами. Точность исполнения деталей и допуски превышают все самые строгие существующие стандарты. Как известно, большинство современных Hi-End устройств используют один из стандартов плат: 2+2+2 или 3+2+3, где внешние слои (соответственно, 4 или 6) содержат технологические элементы HDI (повышенной плотности). Для iPad 1 была разработана 10-слойная плата 1+8+1, что позволило вместить всю начинку в корпус толщиной 13,4 мм. Но это оказалось не пределом: iPad 2 содержит плату 3+4+3, что позволило уменьшить толщину корпуса до 8,8 мм. И это плата для массового (!) производства. И это не предел.

Органика и печатный монтаж – новая ветвь развития электроники. Печатная электроника - «совокупность печатных методов, используемых для создания электронных приборов». Органическая, или пластиковая, или полимерная электроника - «направление в электронике, основанное на применении проводящих полимеров, пластиков, органических соединений с низкой молекулярной массой. Таким образом, слова «органическая» и «печатная» характеризуют одно и то же направление в электронике, но по разным признакам: первое отражает преимущественный состав используемых материалов, а второе - преимущественную технологию нанесения материалов в процессе производства устройств.

Основные преимущества органической электроники в сравнении с традиционной заключаются в меньшей стоимости изготовления устройств, их гибкости, применении более простых технологий изготовления, а также возможности изготовления изделий большой площади, что особенно актуально для экранов и систем освещения.

Разработка технологии с применением Интернет.

Разработка технологии изготовления электронных изделий должна выполняться в соответствии с новейшими достижениями науки и техники. Техника и технологии непрерывно развиваются, не проходит и месяца, как появляются новые технологии, новое оборудование для производства плат печатного монтажа и новые материалы, применяемые в производстве. Перед разработчиками приборов и микропроцессорных устройств и технологами ежедневно встают вопросы: как лучше спроектировать изделие, какой технологический процесс лучше? Можно применить объемный, печатный, поверхностный или планарный внутренний монтаж. Современное приборостроение все шире применяет микросистемотехнику, и технология электромонтажа там занимает существенное место. Для решения подобных задач необходимо информационное обеспечение и Интернет. Ниже представлена схема использования Интернета в общем случае.



Рис. 9.1.6. Схема использования Интернета

Каждый разработчик платы и каждый технолог конкретно для своих проектов составляет подобную схему для упрощения работы. Конечно, с течением времени в схему вносятся изменения. Перед разработкой нового технологического процесса следует просмотреть все возможные варианты исполнения платы с целью достижения максимальных возможностей и соответствия требованиям заказчика. Схема охватывает основные этапы разработки технологического процесса электромонтажа прибора. Перед окончательным оформлением технологического процесса необходимо вновь обратиться к Интернету, чтобы ответить на все возникшие вопросы и принять наиболее целесообразное решение.

В процессе проектирования платы разработчик выбирает компоненты. Ранее, в соответствии с ГОСТ 2.104-68, составлялся перечень элементов. В настоящее время информационное поле предоставляет широкие возможности по выбору компонентов.

В связи с этим работники не удовлетворяются требованиями ГОСТа и на некоторых предприятиях разработали свою форму перечня элементов, в котором указывается тип корпуса компонента и предприятие-поставщик, а это означает выбор технологии электромонтажа и, соответственно, стоимость работы.

Важнейшими факторами, предопределяющими технологию и организацию производства, являются конструкция изделия и тип производства. Общеизвестны типы производства и способы его оценки. Однако эти понятия были разработаны давно (в 1974г.). Современное приборостроение и особенно технология электромонтажа микропроцессорной техники решают задачу по организации производства различного типа путем автоматизации и механизации выполняемых работ. Для сравнения можно привести один показатель: автомат позволяет устанавливать около 20 тысяч компонентов в час. Кроме того, операция по установке компонентов может быть полностью автоматизирована. Различные фирмы, в том числе и предприятие Остек, предлагают типовые проекты участков и линий с возможностью автоматизации различных технологических операций.

В производстве электроники широко применяется дробление технологического процесса на отдельные, высокоавтоматизированные производства, действующие самостоятельно на основе юридического и финансового обособления в виде контрактных производств. Пример, предприятие по изготовлению оснований плат печатного монтажа, предприятие по сборке платы, предприятие по выполнению влагозащиты, предприятие по установке платы в корпус прибора.

Выбор технологии начинается с выбора оборудования нанесения компонентов поверхностным методом. Одновременно с этим необходимо определить способ изготовления основания плат печатного монтажа. Это отдельная и очень важная задача, решаемая в зависимости от назначения и условий эксплуатации платы. Выбор автомата по установке компонентов, прежде всего, осуществляется по точностным характеристикам. Рассмотрим пример установки компонентов на печатную плату, выполненную по 5 классу точности, ГОСТ 23751-86. Установка компонентов выполняется на автомате Мехатроника М60, обеспечивающем точность размещения компонентов 0,1 мм. Как видно на рисунке, если компонент имеет ширину для электрического соединения тоже равную 0,1 мм, то мы получаем минимальную ширину (поясок) не более 0,05 мм.

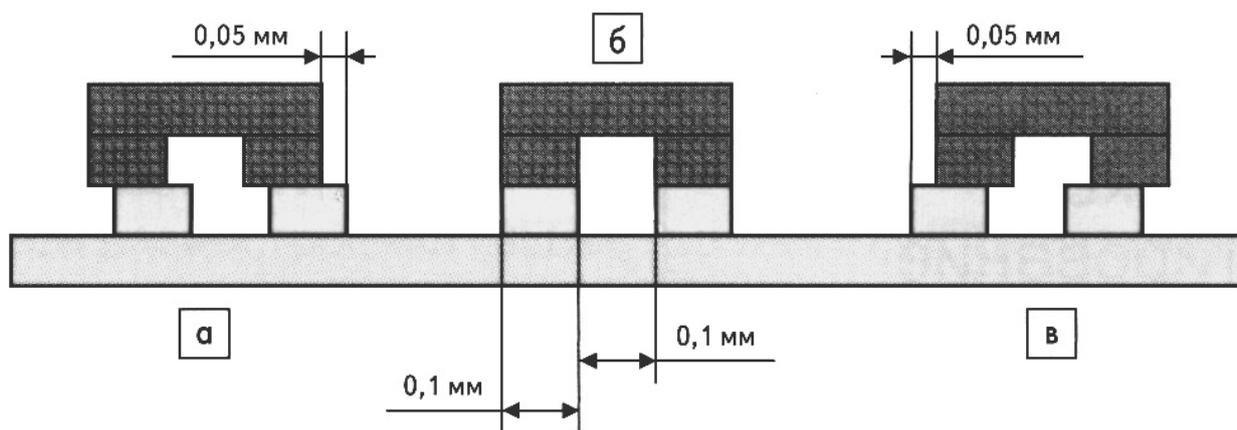


Рис. 9.1.7. Расположение компонентов с учетом допусков: а) отклонение по допуску $-0,05$ мм; б) идеальное расположение компонента; в) отклонение по допуску $+0,05$ мм

Следующий этап — это выбор печи оплавления, обеспечивающей полное расплавление припойной пасты и минимальный нагрев компонентов. После этого рассматривается вопрос о необходимости промывки и способе тестирования платы.

Технологический процесс сопровождается использованием различных материалов. Прежде всего, следует выбрать паяльную пасту. На производстве мало обращают внимание на данный вопрос. Если куплена определенная паста, то стараются ее максимально использовать. В последнее время выпускается большое количество разнообразных паст, и появилась методика их выбора на основании требований документации на плату.

Антистатические требования для производственных помещений обязательны.

В зависимости от типа производства используются и различные способы нанесения пасты на печатную плату. Затем следует выяснить, нужен ли трафарет и какой. А потом определить способ влагозащиты платы. Необходимо обосновать выбор требуемой оснастки для крепления платы, варианты исполнения межоперационной тары, набор инструментов, средства для ремонта и т. п.

Приведем критерии выбора производственного участка: использование имеющегося производства, разработка предложений по модернизации имеющегося производства, использование известного производства выбор контрактного производства микропроцессорной техники. Необходима база данных не только о наличии контрактных производств, но и подробный перечень технических возможностей изготовления плат печатного монтажа на известных разработчику предприятиях. Содержание заявок на изготовление плат существенно отличается у каждого производителя.

9.2. Обзор САПР и способы выбора программного обеспечения

Существующие системы

В настоящее время существует и появляется все больше различных систем программного обеспечения.

Методы проектирования технологических процессов электронных приборов содержат системы САПР различного назначения и различного уровня автоматизации расчетов и параметров проектируемой платы. Каждая система САПР соответствует определенной конструкции и технологии изготовления платы. При несоответствии требований к конструкции и возможностям САПР выбирают другую систему, вручную проводят требуемые расчеты или дорабатывают систему САПР.

Программам фирм Mentor Graphics и Altium уделено достаточно внимание в других разделах и, хотелось бы, хоть немного уделить внимание программам фирмы Cadence. Широкое распространение получила программа OrCAD, которая заменена на поддерживаемую программу Allegro. Этапы работ, выполняемые программой Allegro.

- Схемный ввод;
- Моделирование и анализ схем;
- Размещение компонентов;
- Трассировка печатной платы (ПП);
- Моделирование и анализ ПП или ИМС;
- Передача изделия в производство;
- Передача изделия в САД-системы.

Для верхнего уровня проектирования предлагается пакет PCB Design Studio. В качестве редактора печатных плат здесь используется программа Allegro, позволяющая разрабатывать многослойные и высокоскоростные платы с высокой плотностью размещения компонентов. В качестве штатного модуля авторазмещения и автотрассировки здесь используется программа SPECCTRA, управляемая обширным набором правил проектирования и технологических ограничений.



Рис. 9.2.1. Инструменты Cadence

Анализ электромагнитной совместимости топологии платы выполняется с помощью специального модуля SPECCTRA Quest SI Expert, для предварительного анализа проекта и подготовки наборов правил проектирования используется модуль SigXplorer. Другой продукт компании пакет OrCAD рекомендуется как более легкое и дешевое решение для проектирования печатных плат. В последнее время продукт почти не развивается, о чем косвенно свидетельствуют номера последних версий (9.1, 9.2, 9.22, 9.23). Данный пакет рассматривается фирмой как приоритетная система ввода проектов и моделирования: модули Capture CIS и PSpice сейчас поставляются в составе пакета PCB Design Studio. В самую последнюю версию системы OrCAD вошли новые возможности синтеза и моделирования цифровых логических схем NC Sim. Редактор печатных плат OrCAD Layout имеет три различные конфигурации с разными функциональными возможностями. В проекте платы здесь может присутствовать до 30 слоев, 16 из которых могут быть сигнальными. Имеются встроенные средства авторазмещения и автотрассировки, а также интерфейс с программой SPECCTRA.

Существующие системы проектирования плат печатного монтажа представлены в различных сайтах Интернета. В настоящее время наиболее широко используются программы фирм: Mentor Graphics: PADS u Expedition, Altium: Altium designer, Nano Board. Cadence, KiCad u др. (см. <http://www.olimex.com/pcb/dtools.html>).

Altium (Altium Designer, P-CAD, Nano Board)	EXPERT PCB KICAD CIRCAD LAYOUT	PRO-BOARD, PRO-NET CSIEDA VISUALPCB
Cadence (Allegro, OrCAD)	MCCAD E-CAD POWERPCB	WINBOARD ULTIBOARD EASY PC
Mentor Graphics (PADS Suites)	PCB ASSISTANT PCB DESIGNER QUICK ROUTE TARGET 3001	RANGER EPD AutoTrax Eda Sprint Layout
EAGLE	WIN CIRCUIT 98	CADINT
gEDA	BOARD EDITOR	Merlin PCB Designer
PCE	VUTRAX	WINQCAD
FREE-PCB	CIRCUIT CREATOR	Pulsonix
ZenitPCB	PADPCB	DIPTRACE
TinyCAD	DESIGN WORKS	RIMU PCB
TCI3	LAY01	TopoR
SCORE	GElectronic	TINA
OSMOND PPC	CADSTAR	MINIMAL PCB EDITOR
MINIMAL PCB EDITOR	OSMOND PPC	CIRCUIT MAKER
BPECS32	EDWIN	PCB ELEGANCE
VISUALPC		AUTOENGINEER

Рис. 9.2.2. Программы, используемые при проектировании плат печатного монтажа

Выбор программного обеспечения

Выбор программного обеспечения – всегда сложная задача, которая влечет за собой финансовые затраты и переобучение персонала.

Выбор компонента.

Их большое кол-во множества. Выбор обоснован видом компонента, его размером, а так же номиналом и погрешностью. Но, главное, это тип исполнения корпуса компонента, т.к. это определяет технологию электромонтажа. Один и тот-же тип компонента может быть выполнен с радиатором охлаждения или без радиатора.

Выбор пасты для оплавления.

Все больше и больше на рынок предоставляется паст для оплавления. Имеются пасты свинцовистые, бессвинцовистые, безотмывные и т.п. Это также влияет на технологию электромонтажа и, соответственно, влияет на экономические показатели.

Нет, не будет единой технологии изготовления электронных приборов. Всегда будет все более возрастающее количество разнообразных технологий для решения различных задач при проектировании электронных приборов.

В общем виде график технологической подготовке производства электронных приборов можно представить на нижеследующей схеме.

График ТПП электромонтажа

Разработка принципиальной электрической схемы прибора

Определение количества изготавливаемых приборов

Выбор конструктивного выполнения прибора

Микросистемотехника - Плата печатного монтажа – Применение интеллектуальных материалов – Применение органики – Совместное проектирование механических и электронных компонентов.

Основа выбора: Цена, Качество и Срок изготовления. Конкуренция.

Плата печатного монтажа

Выбор типа корпусов компонентов

(<http://www.parc-centre.spb.ru/firms1.htm> || <http://www.olimex.com/pcb/dtools.html>)

Выбор компонентов или модулей из библиотек и через Интернет.

Выбор типа основания платы печатного монтажа

Выбор класса точности платы (1 – 5 класс)

Выбор исходного материала – основание ППМ

Выбор технологии изготовления оснований ППМ

(Односторонние, двухсторонние, многослойные, гибкие, гибко-жесткие, с нанесением объемных проводников, и т.п.)

Стоимость платы возрастает в квадратичной стоимости от количества слоев.

Выбор диаметра отверстий

Выбор толщины фольги у основания ППМ

Выбор контрактного изготовителя основания ППМ

Выбор программного обеспечения проектирования плат

Возможности программного обеспечения должны полностью совпадать с возможностями производства или дополнять их ручной работой по расчету требуемых параметров.

Рекомендации по проектированию плат в различных программных проектах (Mentor Graphics, Altium, Cadens, Ki-CAD P-CAD, Or-CAD, Protel, NanoBoard и др.)

Экспорт файлов Gerber из программного обеспечения
(Расчет толщины и ширины проводников, анализ топологии, расчет теплоотвода, проверка целостности сигнала, анализ и расчет задержек сигнала, защита платы от внешнего воздействия и т.д.)

Интерактивная и автотрассировка компонентов.

Выбор контрактного производителя

Выбор оборудования по точности нанесения компонентов
(Выбор оборудования электромонтажа поверхностным методом с использованием Интернет. Соболев С.Ф., Сеницов М.А.)

Выбор метода пайки: ручная, оплавлением на автомате, инфракрасная, конвекционная, в парогазовой среде и т.п.

Выбор контрактного производителя по типу производства

Выбор контрактного производителя по другим параметрам.

Контроль изготовленной платы.

Совместное проектирование механических и электронных компонентов

Проектирование электронной части приборов в 3d, передача информации в САПР механических изделий, например, САТИА и обратно для разработки общей конструкции микроприбора.

Основные требования к качеству ППМ – разводка компонентов на плате, размещение компонентов в соответствии со стандартами, расчет толщины печатных проводников, теплоотвод на плате, целостность электросигнала и т.д. Требования проверяются автоматически системой программного обеспечения или рассчитываются вручную.

Для выбора технологии электромонтажа в современных, быстромеменяющихся условиях необходимо использовать информационные ресурсы и, прежде всего, Интернет.

Онлайновый выбор основного оборудования по технологии поверхностного монтажа осуществляется по следующей методике:

- ознакомиться с типовым оборудованием для поверхностного монтажа,
- провести сравнительный анализ моделей оборудования для поверхностного монтажа (установки для нанесения паяльной пасты, установщики компонентов, установки для пайки), которые поставляются фирмами Остек, Диполь, Универсалприбор и др.,
- ознакомиться с техническими возможностями контрактных производителей в Санкт-Петербурге,
- выбрать оборудование, контрактного производителя и заполнить бланк онлайн-заказа на изготовление печатной платы у выбранного производителя в соответствии с документацией для печатной платы.

Важнейшими факторами, предопределяющими формы и методы организации, планирования и управления на предприятии, являются тип производства и конструкция изделия. Типы производства - классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий. Тип производства - важнейшая характеристика, от которой зависит объем подготовки производства для выпуска изделия. Различают три типа производства: массовый, серийный, единичный.

В приборостроении крупносерийным считается производство при объеме выпуска не менее 5 тыс. штук в год. Среднесерийное производство в интервале 1-5 тыс. штук в год. Мелкосерийное - до 1 тыс. штук в год. Эти цифры весьма условны. Более точно категорию серийности устанавливают для того или другого производства /завода, цеха, участка/, пользуясь коэффициентом закрепления операций - Кзо - по ГОСТ 3.1108-74. Кзо - это отношение числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течении месяца к числу рабочих мест: $K_{zo} = O/P$.

При $K_{zo} = 1$ - массовое производство,

при $K_{zo} = 1 - 10$ - крупносерийное производство,

при $K_{zo} = 10 - 20$ - среднесерийное производство,

при $K_{zo} = 20 - 40$ - мелкосерийное производство.

Кзо - характеризует частоту смены технологических операций средним за смену, среднее время выполнения одной операции,

производительность работы. Применяется для расчета: численности рабочих, роста производительности труда, трудоемкости, производственной структуры, длительности переходного периода, занятости обслуживаемого персонала, календарно-плановых нормативов. Как видно, K_{zo} показывает среднее число деталей-операций, выполняемых на одном рабочем месте производственной системы (участка, цеха) в течение месяца. Он характеризует степень стабильности производственных процессов на рабочих местах.

Расчетное число загруженных рабочих мест по участку (цеху) определяется отношением трудоемкости объема производства, потребного на выпуск продукции в плановом периоде (год, квартал, месяц), к эффективному фонду времени работы единицы оборудования.

Приведенные характеристики типов производства были разработаны достаточно давно (1974г.) и применительно к механообработке. Современное приборостроение и, особенно, технология электромонтажа микропроцессорной техники решают задачу по организации производств с различными типами производства путем автоматизации и механизации выполняемых работ. Для сравнения можно привести один показатель – автомат по установке компонентов позволяет устанавливать около 20 тысяч компонентов в час.

Конструкция платы задается разработчиком и возможно неограниченное количество различных плат. Точность установки компонентов на плату можно рассматривать в соответствии с классом точности плат печатного монтажа.

Наименьшие номинальные значения ширины печатного проводника и расстояния между ними в зависимости от класса точности платы в соответствии с ГОСТ 23751 – 86 приведены в таблице.

Таблица 9.2.1

Наименьшие номинальные значения ширины печатного проводника

	1 класс	2 класс	3 класс	4 класс	5 класс
Ширина проводника и расстояние между ними	0,75 мм	0,45 мм	0,25 мм	0,15 мм	0,1 мм

Точность для установщика компонентов может быть установлена простым числом, например: 20 мкм, + - 25 мкм. Иногда добавляют значение 3σ или 4σ . Это означает достигаемую точность на 3 миллиона установок компонентов.

Выполнение данной работы выполняется в соответствии с методическими указаниями, см. литература.

При решении задач разработки, в частности, при проектировании технологического процесса электромонтажа прибора, встает необходимость использования информационных технологий, Internet. Это происходит из-за того, что ежедневно в мире появляются новые компоненты и новое оборудование для электромонтажа. Даже при использовании Internet, не говоря уже о справочниках и каталогах оборудования, успеть за этими переменами очень сложно. Поэтому при разработке технологии, было решено использовать собственную поисковую систему. Поисковая система для интернета - программно-аппаратный комплекс с web-интерфейсом, предоставляющий возможность поиска информации в Интернете. Под поисковой системой обычно подразумевается сайт, на котором размещён интерфейс (фронт-энд) системы. Программной частью поисковой системы является поисковая машина (поисковый движок) - комплекс программ, обеспечивающий функциональность поисковой системы и обычно являющийся коммерческой тайной компании-разработчика поисковой системы.

Метод анализа иерархий

Системы программного обеспечения (ПО) широко применяются в проектировании и в производстве электронных схем с использованием продуктов известных фирм: Mentor Graphics, Altium, Cadence. Разработчики ПО все шире представляют на рынок большое количество различных систем. В начале 1970 года американский математик Томас Саати разработал процедуру поддержки принятия решений, которую назвал "Analytic hierarchy process". Авторы русского издания перевели это название как "Метод анализа иерархий".

Для решения задач по выбору систем ПО и других, подобного рода, в аналитическом планировании широко применяется метод анализа иерархий (далее МАИ), разработанный Т.Саати. Сегодня его используют уже повсеместно от риэлтеров, при оценке недвижимости, до кадровиков, при замещении вакантных должностей. Воспользуемся этим методом для выбора ПО электромонтажа.

Применения МАИ является структурирование проблемы выбора в виде иерархии или сети. В наиболее элементарном виде иерархия строится с вершины (цели), через промежуточные уровни-критерии (технико-экономические параметры) к самому нижнему уровню, который в общем случае является набором альтернатив. После иерархического воспроизведения проблемы устанавливаются приоритеты критериев и оценивается каждая из альтернатив по критериям. В МАИ элементы задачи сравниваются попарно по отношению к их воздействию на общую для них характеристику. Система парных сведений приводит к результату, который может быть представлен в виде обратно симметричной матрицы. Элементом матрицы $a(i,j)$ является интенсивность проявления элемента иерархии i относительно элемента иерархии j , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9, предложенной автором метода, где оценки имеют следующий смысл:

Шкала относительной важности

Интенсивность относительной важности	Определение
1	равная важность
3	умеренное превосходство одного над другим
5	существенное превосходство
7	значительное превосходство
9	очень сильное превосходство
2, 4, 6, 8	промежуточное решение между двумя соседними суждениями

Если при сравнении одного фактора i с другим j получено $a(i,j) = b$, то при сравнении второго фактора с первым получаем $a(j,i) = 1/b$.

Опыт показал, что при проведении попарных сравнений в основном ставятся следующие вопросы:

- какой из них важнее или имеет большее воздействие?
- какой из них более вероятен?
- какой из них предпочтительнее?

Относительная сила, величина или вероятность каждого отдельного объекта в иерархии определяется оценкой соответствующего ему элемента собственного вектора матрицы приоритетов, нормализованного к единице. Процедура определения собственных векторов матриц поддается приближению с помощью вычисления геометрической средней.

Пусть:

$A_1 \dots A_n$ - множество из n элементов;

$W_1 \dots W_n$ - соотносятся следующим образом:

	A_1	...	A_n
A_1	1	...	W_1/W_n
...	...	1	A_n
A_n	W_n/W_1	...	1

Оценка компонент вектора приоритетов производится по схеме:

	A_1	...	A_n		
A_1	1	...	W_1/W_n	$X_1 = (1 * (W_1/W_2) * \dots * (W_1/W_n))^{1/n}$	$BEK(A_1) = X_1 / \text{СУММА}(X_i)$
...	...	1	A_n
A_n	W_n/W_1	...	1	$X_n = ((W_n/W_1) * \dots * (W_n/W_{n-1}) * 1)^{1/n}$	$BEK(A_n) = X_n / \text{СУММА}(X_i)$
				$\text{СУММА}(X_i)$	

Приоритеты синтезируются начиная со второго уровня вниз. Локальные приоритеты перемножаются на приоритет соответствующего критерия на вышестоящем уровне и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями, на которые воздействует элемент. Весьма полезным побочным продуктом теории является так называемый индекс согласованности (ИС), который дает информацию о степени нарушения согласованности. Вместе с матрицей парных сравнений мы имеем меру оценки степени отклонения от согласованности. Если такие отклонения превышают установленные пределы, то тому, кто проводит суждения, следует перепроверить их в матрице.

$$ИС = \frac{I_{\max} - n}{n - 1}$$

Теперь сравним эту величину с той, которая получилась бы при случайном выборе количественных суждений из нашей шкалы, и образовании обратно симметричной матрицы. Ниже даны средние согласованности для случайных матриц разного порядка.

Таблица 9.2.3

Средние согласованности для случайных матриц разного порядка

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Если разделить ИС на число, соответствующее случайной согласованности матрицы того же порядка, получим отношение согласованности (ОС). Величина ОС должна быть порядка 10% или менее, чтобы быть приемлемой. В некоторых случаях допускается ОС до 20%, но не более, иначе надо проверить свои суждения.

В список критериев, по которым мы будем сравнивать ПО по технологии электромонтажа, вошли:

- конструкции и технологии плат печатного монтажа;
- автоматизация расчетов плат в программных продуктах;
- возможность импорта библиотек;
- удобство пользования.

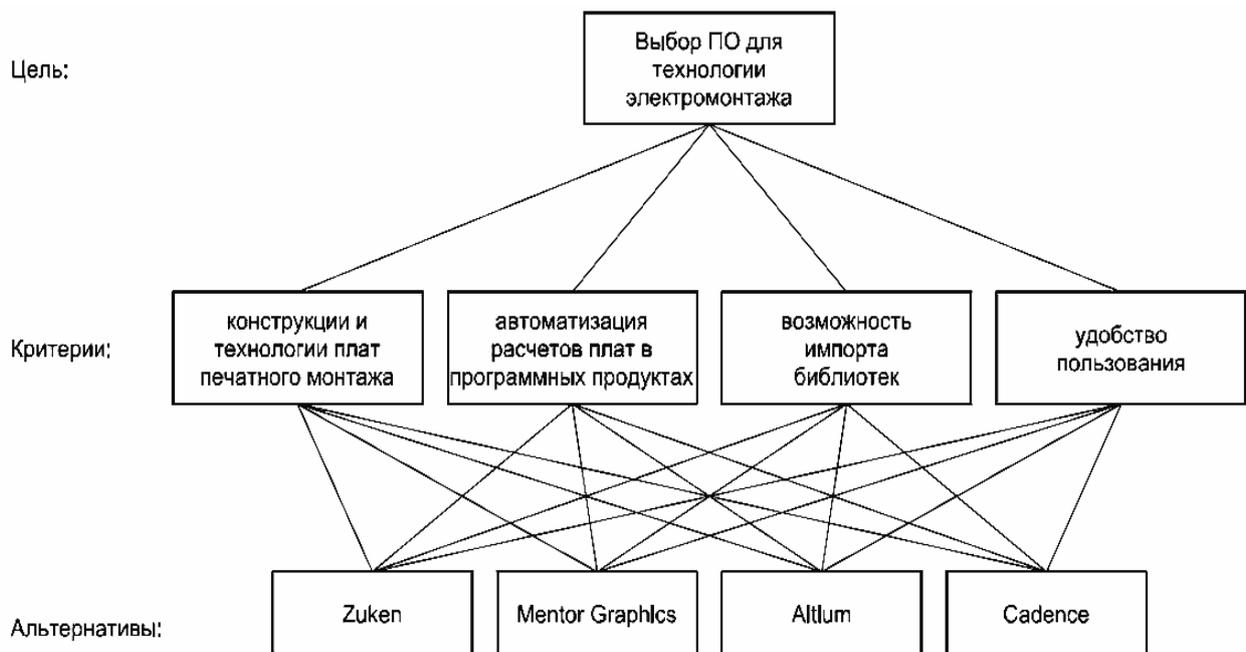


Рис. 9.2.3. Выбор ПО для электромонтажа

Дополнительные критерии, естественно, могут быть и другими. Их количество также может отличаться от выбранного. В любом случае, должна быть возможность собрать информацию по каждому дополнительному критерию для всех систем и количество критериев не должно превышать 7-8, чтобы не увеличить трудоемкость обработки данных до неразумных пределов.

Оценка критериев. Начнем с построения матрицы попарных сравнений для критериев, т.е. со второго уровня иерархии (на первом уровне наша цель - выбор ПО, на третьем - альтернативы). Для этого строим матрицу размерностью 4x4 (по числу критериев) и подпишем строки и столбцы наименованиями сравниваемых критериев.

Заполняем таблицу. Для этого попарно сравниваем критерий из строки с критерием из столбца по отношению к цели. Значения из шкалы относительной важности вписываем в ячейки, образованные пересечением соответствующей строки и столбца.

Таблица 9.2.4

					Оценки компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
конструкции и технологии плат печатного монтажа	1	1/5	1/7	1/8	0,24445	0,039174
автоматизация расчетов плат в програмных продуктах	5	1	1/6	1/5	0,63894	0,102393
возможность импорта библиотек	7	6	1	1/4	1,8001	0,288475
удобство пользования	8	5	4	1	3,55656	0,569957
Сумма:					6,24005	

Сначала определяем оценки компонент собственного вектора. Так для критерия "возможность импорта библиотек" это будет: $(7 \times 6 \times 1 \times 1/4)^{1/4} = 1,8001$.

Получив сумму оценок собственных векторов ($=6,24005$), вычисляем нормализованные оценки вектора приоритета для каждого критерия, разделив значение оценки собственного вектора на эту сумму. Для того же критерия "возможность импорта библиотек" имеем: $1,8001 / 6,24005 = 0,288475$.

Сравнивая нормализованные оценки вектора приоритета можно сделать вывод, что наибольшее значение при выборе ПО придется критерию "удобство пользования".

Далее необходимо проверить, насколько данные предположения были непротиворечивыми при составлении матрицы попарных сравнений критериев. Для этого необходимо рассчитать индекс согласованности для этой матрицы. Разделив его на число, соответствующее случайной согласованности матрицы четвертого порядка, равного 0,9 (таблица 2), получим отношение согласованности (ОС). В данном случае:

ОС = 6,93% < 10%, т.е. пересматривать свои суждения нет нужды. Числовые оценки матрицы попарных сравнений.

Конструкции и технологии плат печатного монтажа

Строим матрицу сравнений, для чего попарно сравниваем альтернативу из строки с альтернативой из столбца по отношению к предоставляемому дисковому пространству. Никакие другие критерии при этом не учитываем. Значения из шкалы относительной важности (таблица 1) вписываем в ячейки, образованные пересечением соответствующей строки и столбца.

Диагональ этой матрицы заполняем значением "1", а ячейки, лежащие ниже диагонали - обратными значениями.

Таблица 9.2.5

	Zuken	Mentor Graphics	Altium	Cadence	Оценки компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
Zuken	1	1/5	1/6	1/5	0,28575	0,05388
Mentor Graphics	5	1	1/3	1/2	0,95544	0,18016
Altium	6	3	1	3	2,71080	0,51116
Cadence	5	2	1/3	1	1,35120	0,25479
Сумма:					5,30319	

Автоматизация расчетов плат в программных продуктах

Таблица 9.2.6

	Zuken	Mentor Graphics	Altium	Cadence	Оценки компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
Zuken	1	1/7	1/5	3	0,54108	0,09975
Mentor Graphics	7	1	3	6	3,35037	0,61767
Altium	5	1/3	1	1/2	0,95544	0,17614
Cadence	1/3	1/6	2	1	0,57734	0,10643
Сумма:					5,42423	

Возможность инпорта библиотек

Таблица 9.2.7

	Zuken	Mentor Graphics	Altium	Cadence	Оценки компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
Zuken	1	3	1/7	1/5	0,54108	0,10357
Mentor Graphics	1/3	1	1/9	1/3	0,59276	0,11346
Altium	7	9	1	2	3,35037	0,64130
Cadence	1/5	3	1/2	1	0,74008	0,14166
Сумма:					5,22429	

Таблица 9.2.8

	Zuken	Mentor Graphics	Altium	Cadence	Оценки компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
Zuken	1	2	1/3	2	1,07457	0,22062
Mentor Graphics	1/2	1	1/5	2	0,66874	0,13730
Altium	3	5	1	3	2,59002	0,53176
Cadence	1/2	1/2	1/3	1	0,53728	0,11031
Сумма:					4,87061	

Результат будет получен с помощью простых арифметических действий.

Заполняем таблицу:

В самую верхнюю строку переносим из таблицы 3 значения вектора приоритета для каждого критерия.

Для каждой из альтернатив заполняем столбцы критериев значениями локальных векторов приоритета, полученных соответственно в таблицах.

Подсчитываем значения глобального приоритета для каждой из альтернатив как сумму произведений значения вектора приоритета для критерия и значения вектора локального приоритета этой альтернативы в отношении данного критерия, т.е. для альтернативы Zuken это будет:

$$0,039174 * 0,28575 + 0,102393 * 0,54108 + 0,288475 * 0,54108 + 0,569957 * 1,07457 = 0,835144$$

Таблица 9.2.9

Альтернативы	Критерии				Глобальные приоритеты
	конструкции и технологии плат печатного монтажа	автоматизация расчетов плат в программных продуктах	возможность импорта библиотек	удобство пользования	
	Численное значение вектора приоритета				
	0,039174	0,102393	0,288475	0,569957	
Zuken	0,28575	0,54108	0,54108	1,07457	0,835144
Mentor Graphics	0,95544	3,35037	0,59276	0,66874	0,932632
Altium	2,71080	0,95544	3,35037	2,59002	2,646721
Cadence	1,35120	0,57734	0,74008	0,53728	0,631769

Выбранной альтернативой считается альтернатива с максимальным значением глобального приоритета. В данном случае это Altium, на котором следует остановить свой выбор. На настоящий момент многие фирмы предлагают свои продукты по технологии электромонтажа. Существуют как платное программное обеспечение, так и бесплатное, с которым пользователь может легко ознакомиться и принять решение в пользу того или иного ПО. Каждая фирма, которая рекламирует свой продукт потенциальному покупателю даёт возможность протестировать его, на так называемых DEMO версиях, либо существуют бесплатные ключи к ПО, дающие право пользоваться программой в течение положенного срока, установленного самой фирмой.

Выше предложен способ оценки ПО, который, прежде всего, зависит от конструкции и технологии платы печатного монтажа. Данные расчеты следует принимать как ориентировочные и служащие для обоснования метода анализа иерархий при выборе ПО. Необходимо в дальнейшем расширить область расчетов по каждому ПО.

Метод анализа иерархий означает определять различные показатели систем программного обеспечения для проектирования конкретной схемы электронного прибора и оценить выбранные показатели по определенным математическим зависимостям.

9.3. Свободное программное обеспечение и программа KiCad

Свободное программное обеспечение.

В настоящее время широко внедряются и используются свободные программные продукты. Однако часто можно слышать не точное, не корректное, определение данных продуктов. Как правило, имеют в виду только свободное как синоним бесплатное программное обеспечение.

Бесплатное программное обеспечение (Freeware) - вид программ, разрешение на воспроизведение и распространение которых предоставляется бесплатно, однако право на их модификацию не предоставляется, декомпиляция таких программ также не разрешается. Такие программы распространяются в скомпилированном виде без исходного кода. Такие программы относятся к разряду «несвободного ПО».

Интероперабельность (совместимость) - способность системы к взаимодействию с другими системами. Обычно термин применяется для информационных систем и форматов документов, подразумевая взаимозаменяемость, совместимость и взаимодействие информационных технологий благодаря единству протоколов взаимодействия, языков программирования, форматов данных, аппаратных интерфейсов ЭВМ.

Использование (программы для ЭВМ или базы данных) - выпуск в свет, воспроизведение, распространение и иные действия по их введению в хозяйственный оборот (Закон «О правовой охране программ для ЭВМ и баз данных», от 23.09.92 № 3523-1, Ст.1).

Лицензионный договор о предоставлении права использования программы для ЭВМ с открытым кодом (лицензия с открытым кодом) - простая (неисключительная) или исключительная лицензия, предоставляющая пользователю доступ к исходным кодам программы.

Наследуемый лицензионный договор о предоставлении права использования программы для ЭВМ (наследуемая лицензия) — простая (неисключительная) лицензия, требующая распространения модифицированной программы на условиях, идентичных тем, на которых предоставлена исходная программа. Лицензионные договора, на основании которых распространяются свободные программы, могут содержать требование распространения модифицированного произведения исключительно на тех же условиях, то есть свободная лицензия наследуется при изменении произведений, или создании новых произведений на базе свободного исходного кода. Такие лицензии называются наследуемыми (копилефтными). Например, свободная лицензия GNU GPL разрешает выпускать производные произведения только на условиях GNU GPL, и является наследуемой. Свободная лицензия BSDL позволяет распространять модифицированную программу для ЭВМ на условиях любой другой лицензии (в том числе закрытой) и не является наследуемой. Наследование свободной лицензии позволяет сохранять свободу программ для ЭВМ при их модификации, а также способствует формированию обширной базы свободных программ.

Несвободное программное обеспечение (Non-free software) - любое программное обеспечение, которое не является свободным, в том числе бесплатное ПО (freeware), «полусвободное» ПО (semi-free software) и проприетарное ПО.

Открытая система - исчерпывающий и согласованный набор международных стандартов информационных технологий и профилей функциональных стандартов, которые специфицируют интерфейсы, службы и форматы, в целях обеспечения переносимости, масштабируемости и взаимодействия приложений, данных и персонала. Основным принцип открытых систем (IEEE Std 1003.0:1995) состоит в формировании среды функционирования приложений, включающей в себя программное и аппаратное обеспечение, средства связи, интерфейсы, форматы данных и протоколы и обеспечивающей переносимость, взаимодействие и масштабируемость приложений и данных. Программа, соответствующая требованиям открытых систем, может быть как свободной, так и закрытой в зависимости от условий авторского договора.

Открытый стандарт (на данные, протоколы обмена, форматы данных) - стандарт (алгоритм, способ представления, кодирование), описание которого публично доступно, для применения (реализации) которого не требуется разрешение или оплата, при этом каждому гарантированы определённые права на его реализацию и использование, и изменение (модификация) которого осуществляется в рамках известных опубликованных процедур.

Полусвободное программное обеспечение (Semi-free software) - программное обеспечение, которое не является свободным, но в отношении которого правообладателем предоставлено разрешение на использование программы (использование программы как технического объекта по ее прямому функциональному назначению), копирование, распространение и модификацию (включая распространение модифицированных версий), но только в некоммерческих целях (как было указано выше, возможность использования ПО в коммерческих целях является обязательной для свободного ПО).

Принцип достаточности прав - принцип выбора заказчиком набора прав, необходимых ему для полноценного использования программ для ЭВМ, включая внедрение, поддержку и развитие, в том числе с привлечением к разработкам третьих лиц. Как правило, для этого лицензионный договор должен разрешать: перерабатывать, переводить или модифицировать произведение; воспроизводить и распространять произведение в неизменном, переработанном или модифицированном виде, возмездно или безвозмездно; передавать перечисленные выше права третьим лицам.

Программное обеспечение с открытым исходным кодом (Open Source software) - те программы, в отношении которых разработчиком (правообладателем) принято решение о предоставлении (открытии) исходного кода этих программ для некоего круга лиц (как неопределенного, так и определяемого по каким-либо признакам). При этом условия использования этого исходного кода могут сильно отличаться в зависимости от лицензии. Одна лишь доступность кода, тем или иным способом, не даёт оснований считать его свободным, поскольку не влечет передачи права свободного (неограниченного) распространения, модификации и права распространения модифицированного кода

Проприетарное программное обеспечение (Proprietary software) - любое программное обеспечение, лицензия на которое содержит условие о выплате правообладателю вознаграждения за предоставляемое по лицензии право использования программы, независимо от того, распространяется ли такое ПО

вместе с исходным кодом или без него. Т.е. проприетарной лицензией является любой возмездный лицензионный договор. Понятие «проприетарное ПО» не равнозначно понятию «несвободное ПО», а составляет лишь часть его объема.

Свободный лицензионный договор о предоставлении права использования программы для ЭВМ (свободная лицензия) - простая (неисключительная) лицензия, на основании которой пользователь получает право осуществлять следующие действия:

- использовать программу для ЭВМ в любых, не запрещенных законом целях;
- получать доступ к исходным текстам (кодам) программы как в целях изучения и адаптации, так и в целях переработки программы для ЭВМ;
- распространять программу (бесплатно или за плату, по своему усмотрению);
- вносить изменения в программу для ЭВМ (перерабатывать) и распространять экземпляры измененной программы с учетом возможных требований наследования лицензии.

Свободный лицензионный договор может содержать положения, обязывающие пользователя соблюдать определенные условия при использовании программы для ЭВМ,

однако такие условия не должны лишать пользователя перечисленных прав.

Примерами

свободных программ являются программы, распространяющиеся на условиях лицензий

GNU, GPL, GNU LGPL, BSD, GNU FDL, а также соответствующие определению Open Source Definition, данному Open Source Initiative см. (<http://www.opensource.org/docs/definition.php>).

Свободное программное обеспечение (Free software, СПО, FOSS, FLOSS) - программное обеспечение (программы для ЭВМ), распространяемое на условиях свободного, в отдельных случаях также наследуемого, лицензионного договора. Т.е. такая разновидность программ для ЭВМ, которые пользователи могут свободно запускать, копировать, распространять, изучать, изменять и улучшать. Более точно это выражается в наличии у пользователей четырех видов свободы.

1. Свободы запускать программу для любых целей.
2. Свободы изучать, как программа работает, и адаптировать ее для своих нужд (доступ к исходному коду - необходимое для этого условие).
3. Свободы повторно распространять копии программы.
4. Свободы улучшать программу и опубликовывать результаты работы по улучшению программы для пользы всего общества (доступ к исходному коду - необходимое для этого условие).

Условно-бесплатное программное обеспечение (Shareware) - программное обеспечение, распространяемое в скомпилированном виде, без исходного кода, в форме бесплатной тестовой версии, имеющей функциональные, временные или иные подобные ограничения, для снятия которых требуется ввести ключ активации (произвести иные

подобные операции), предоставляемый пользователю после выплаты им вознаграждения. Shareware-программы не являются свободными и не могут быть отнесены даже к полусвободным программам. Подавляющее большинство Shareware -программ распространяются без исходного кода, и во всех без исключения случаях право на модификацию этих программ не предоставляется. Также в большинстве случаев пользователю (лицензиату) не предоставляется право копировать и осуществлять распространение таких программ без выплаты правообладателю вознаграждения, даже если такие действия осуществляются в некоммерческих целях.

Частное программное обеспечение / программное обеспечение, разрабатываемое по индивидуальному заказу (Private software/Custom software) -вид ПО, представляющее собой custom-разработку, т.е. разработанное (доработанное) программное обеспечение, предназначенное для решения конкретных задач, стоящих перед заказчиком (как правило, организацией). Данное ПО используется заказчиком для внутренних нужд и в большинстве случаев не доступно для широкой общественности. Вопрос о возможности обнародования и (или) последующей продажи custom-ПО иным лицам помимо заказчика, решается в рамках договора на разработку ПО, заключаемого между заказчиком и разработчиком данного ПО, который представляет собой договор подряда. Договор на разработку может сопровождаться, и, как правило сопровождается, условиями о последующей технической поддержке программного продукта и предоставлении консультаций по вопросам его использования. Частное ПО, безусловно, являясь коммерческим, может быть как свободным, так и проприетарным.

GNU/Linux - общее название UNIX-подобных операционных систем на основе свободного ядра Linux и собранных для него библиотек и системных программ, разработанных в рамках проекта GNU (см. www.raspo.ru/files/files/glossary.rtf).

Программа KiCad

Программа KiCad – это свободное и бесплатное программное обеспечение проектирование плат печатного монтажа. Программа установлена на кафедре и используется для знакомства с системами проектирования.

KiCad — распространяемый по лицензии GNU General Public License программный комплекс класса EDA с открытыми исходными текстами, предназначенный для разработки электрических схем и печатных плат. Кроссплатформенность компонентов KiCad обеспечивается использованием библиотеки wxWidgets. Поддерживаются операционные системы Linux, Windows NT 5.x, FreeBSD и Solaris. Разработчик — Жан-Пьер Шарра (фр. *Jean-Pierre Charras*), исследователь в LIS (фр. *Laboratoire des Images et des Signaux* — Лаборатория Изображений и Сигналов) и преподаватель электроники и обработки изображений в фр. *IUT de Saint Martin d'Hères* (Франция).

Инструкции по инсталляции доступны на web-сайте в разделе Infos: Install.

(<http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/cao/>)

Программы, входящие в KiCad

- kicad — менеджер проектов;
- eeschema — редактор электрических схем;
 - встроенный редактор символов схем (библиотечных компонентов);

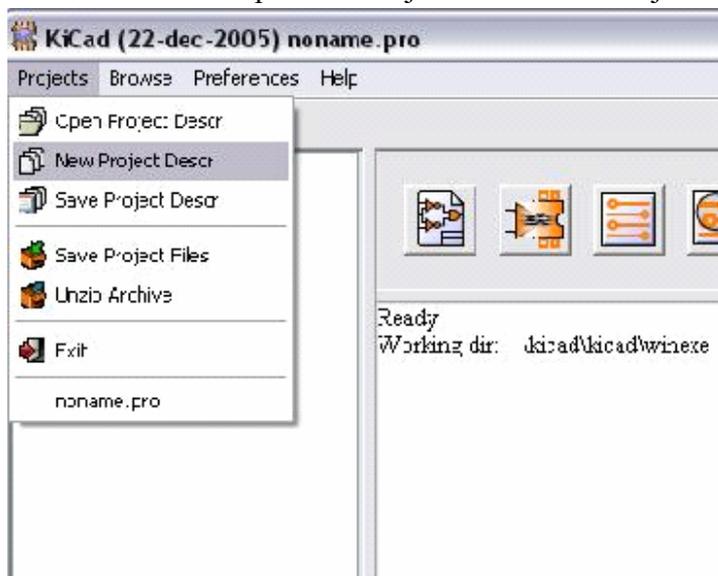
- pcbnew — редактор печатных плат;
 - встроенный редактор образов посадочных мест (библиотечных компонентов);
 - 3D Viewer — 3D-просмотрщик печатных плат на базе OpenGL (часть pcbnew);
- gerbview — просмотрщик файлов Gerber (фотошаблонов);
- svrpcb — программа для выбора посадочных мест, соответствующих компонентам на схеме;
- wyoeditor — текстовый редактор для просмотра отчетов.

В составе KiCad поставляются библиотеки электронных компонентов (обычных и поверхностно монтируемых SMD). Для многих библиотечных компонентов есть 3D-модели, созданные в Wings3D.

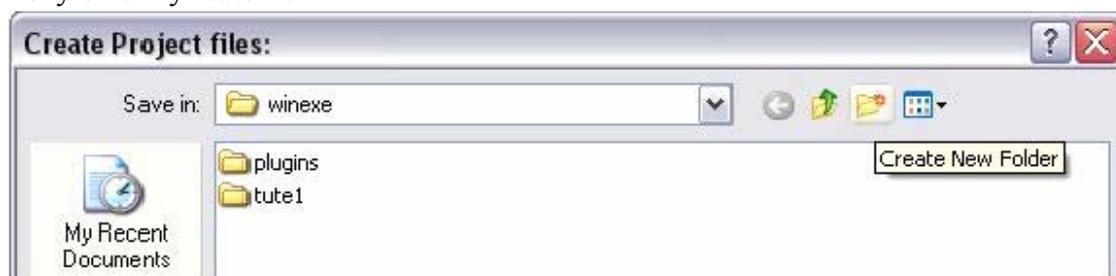
Компоненты и посадочные места корпусов можно ассоциировать с документацией, ключевыми словами и осуществлять быстрый поиск компонента по функциональному назначению

KiCad. Пошаговое руководство

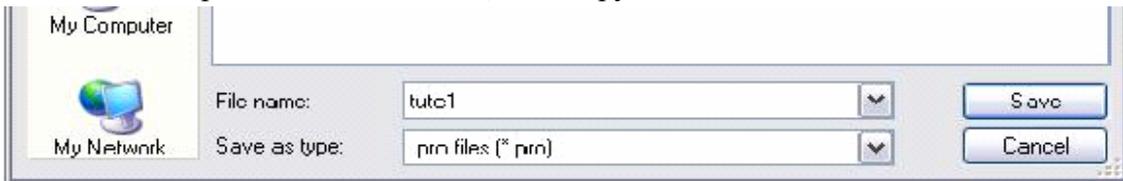
- Запустите “KiCad.exe”.
- Теперь вы в основном окне (Main Window).
- Создайте новый проект: “Projects” -> “New Project Descr”.



- Щелкните по клавише “Create New Folder (создать новую папку)” и назовите новую папку “tute1”.



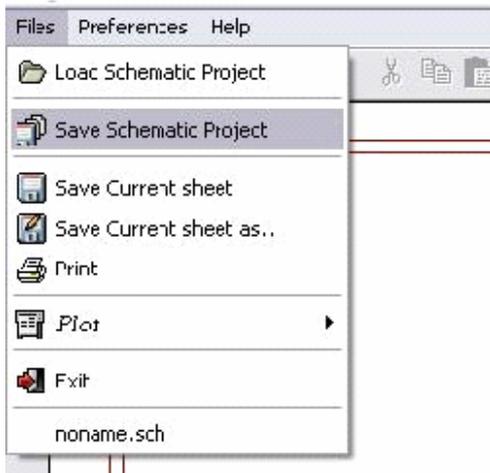
- Откройте новую папку двойным щелчком по ней.
- Введите имя проекта в “File Name”, в этом руководстве мы назовем его “tute1”.



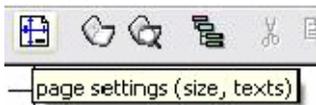
- Щелкните по “Save”. Вы увидите, что имя проекта изменилось на “tute1”.



- Дважды щелкните по “tute1.sch”.
- Появится окно “Infos”, показывая вам, что это новый проект. Щелкните по “OK”.
- Теперь вы в окне “EESchema”. Это окно используется для ввода схемы.
- Вначале следует сохранить проект схемы: “Files” -> “Save Schematic Project”.

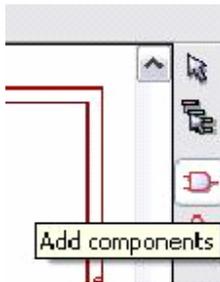


- Щелкните по клавише “page settings (установки страницы)” в верхней части инструментальной панели.



- Выберите “page size (размер страницы)” как “A4” и “Title” как “Tute 1”.

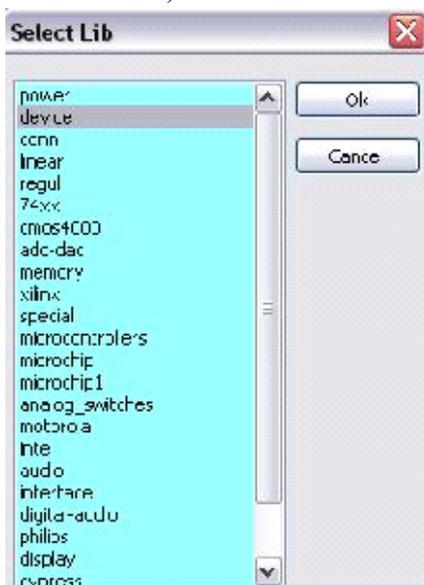
- Щелкните по клавише “Add components (добавить компоненты)”, которая находится на правой инструментальной панели.



- Щелкните в том месте экрана, где вы хотели бы разместить ваш первый компонент.
- Появится окно “Component selection (выбор компонент)”.



- Щелкните по “List All (весь список)”. Появится окно “Select Lib (выбор библиотеки)”.

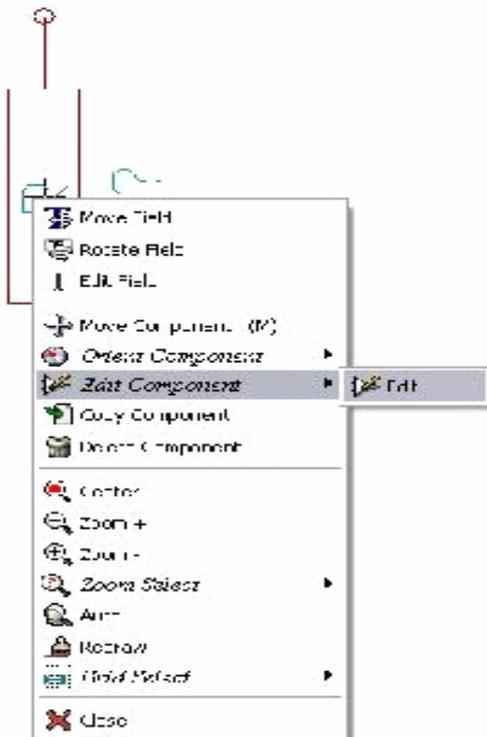


- Дважды щелкните по “device (устройство)”.
- Появится окно “Select Part (выбор элемента)”.
- Переместитесь вниз и дважды щелкните по “R”.
- Нажмите 'r' на клавиатуре. Заметьте, как поворачивается компонент.
- Поместите компонент в рабочем пространстве, щелкнув левой клавишей мышки, в месте его желаемого расположения.

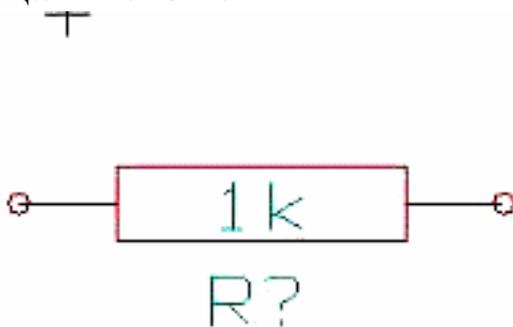
- Щелкните по увеличительному стеклу дважды, чтобы увеличить компонент.



- Щелкните правой клавишей мышки в середине компонента.



- Выберите: “Edit Component” -> “Edit”.
- Появится окно “Component properties (свойства компонента)”.
- Выберите закладку “Value (значение)”.
- Замените текущее значение “Value” “R” на “1k”.
- Щелкните “ОК”.

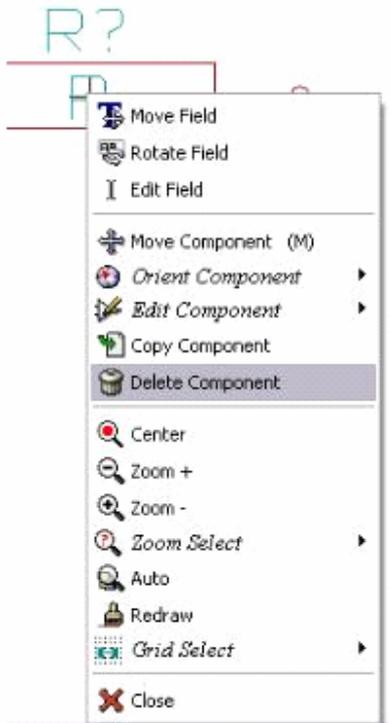


- Значение внутри резистора будет теперь “1k” .
- Поместите другой резистор, щелкнув в месте, где вы хотели бы его расположить.

- Появится окно “Component selection:”.



- Резистор, который вы выбрали в прошлый раз, теперь появился в списке истории разработки, как “R”.
- Щелкните по “R”.
- Поместите резистор на страницу.
- Повторите и поместите третий резистор на странице.
- Щелкните правой клавишей мышки по второму резистору.



- Щелкните по “Delete Component (удалить компонент)”. Этим компонент будет удален из схемы.
- Щелкните правой клавишей мышки по третьему резистору. Выберите “Move Component (передвинуть компонент)”.
- Верните компонент на место щелчком левой клавиши.
- Повторите шаги с 24 по 27 для третьего резистора, чтобы заменить “R” на “100”

- Повторите шаги с 14 по 20, однако в этот раз выберите “microcontrollers” вместо “device” и “PIC12C508A” вместо “R”.
- Нажмите 'y' и 'x' на клавиатуре. Отметьте, как компонент отражается по его x и y осям. Нажмите 'y' и 'x' вновь, чтобы вернуть его к первоначальной ориентации.
- Разместите компонент на странице.
- Повторите шаги с 14 по 20, однако в этот раз выбрав “device” и “LED”.
- Организуйте расположение компонент на странице следующим образом:

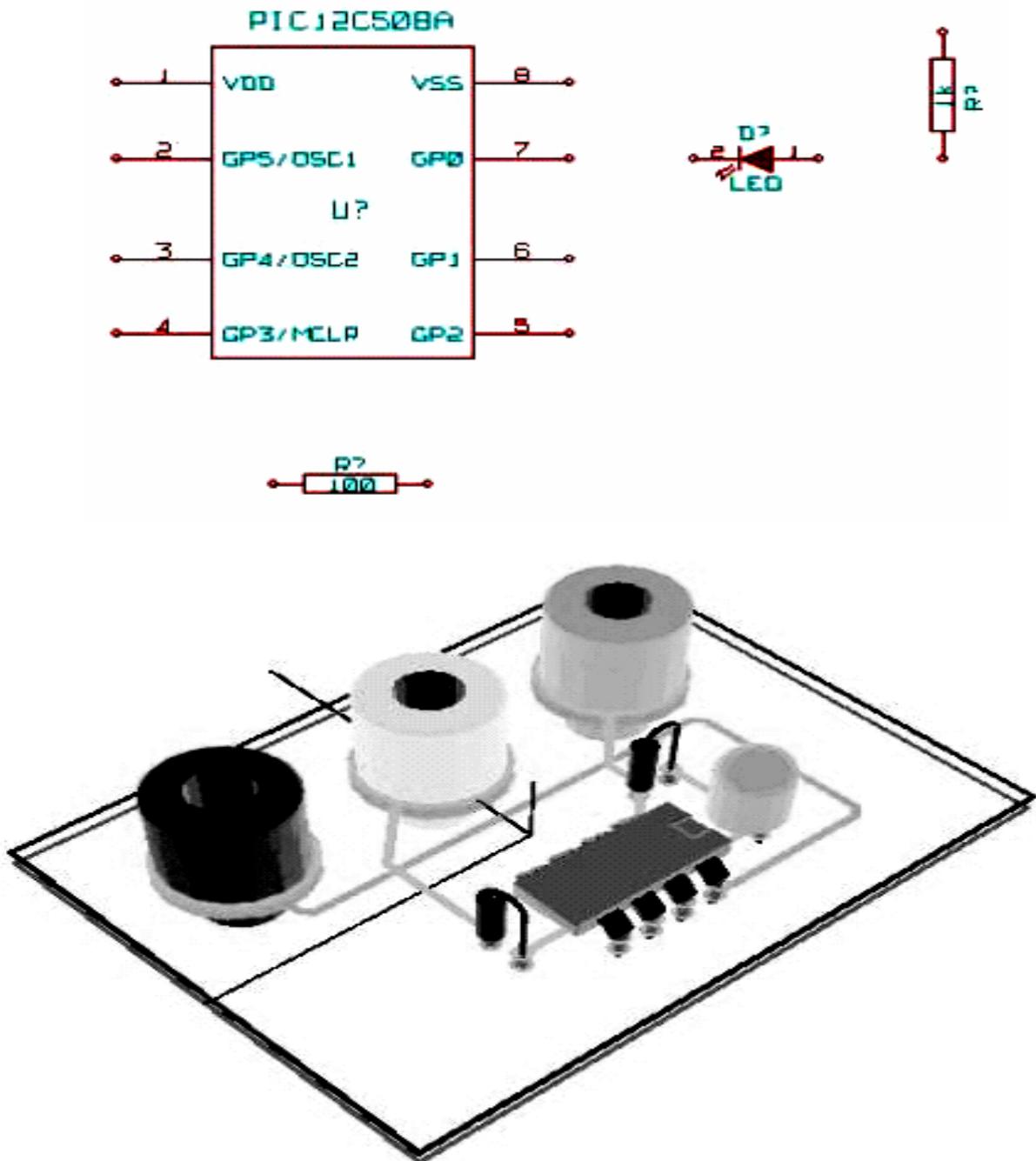


Рис. 9.3.1. На рисунке представлена плата с компонентами.

В дальнейшем необходимо следовать инструкции по использованию программы.

Проектирование плат печатного монтажа традиционно осуществлялось по прямоугольным координатам. Это шло еще от бумажных носителей шаблонов и учитывалось влияние взаимонаводок. Но представлена и новая программа – ТороR, которая может разводить проводники по любой траектории.

ТороR - это высокопроизводительный, не имеющий аналогов *топологический* трассировщик печатных плат. Отличительными особенностями данного продукта являются: высокая скорость и великолепное качество трассировки, сравнимое, а зачастую и превосходящее квалифицированную ручную разводку, гладкие без изломов проводники и превосходный набор инструментов, дающий возможность сократить сроки разработки электронных устройств в десятки раз. Всё это достигается благодаря использованию уникальных алгоритмов и нетрадиционных подходов к решению сложных задач.

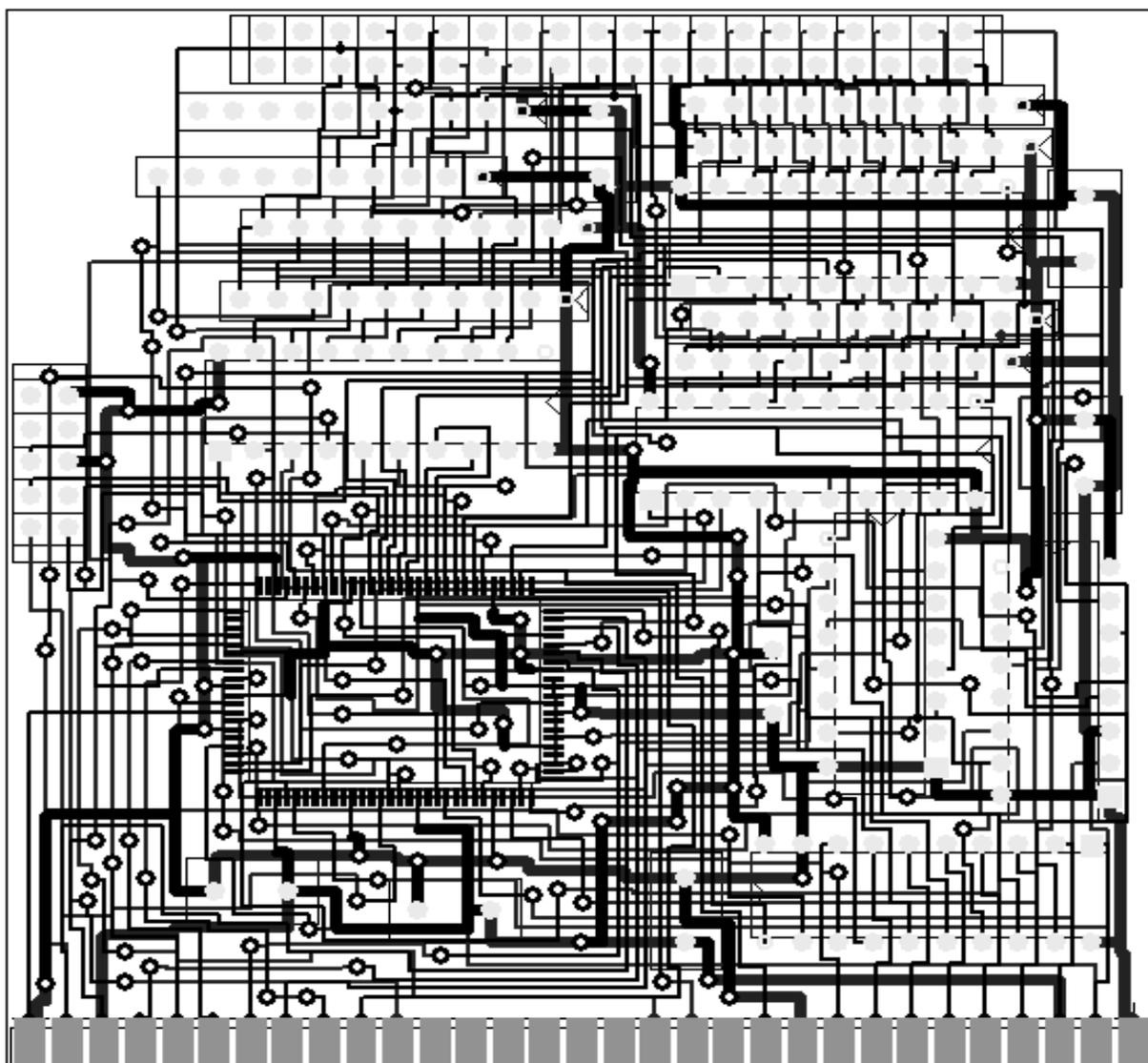


Рис. 9.3.2. Плата, разведенная Shape-based трассировщиком.

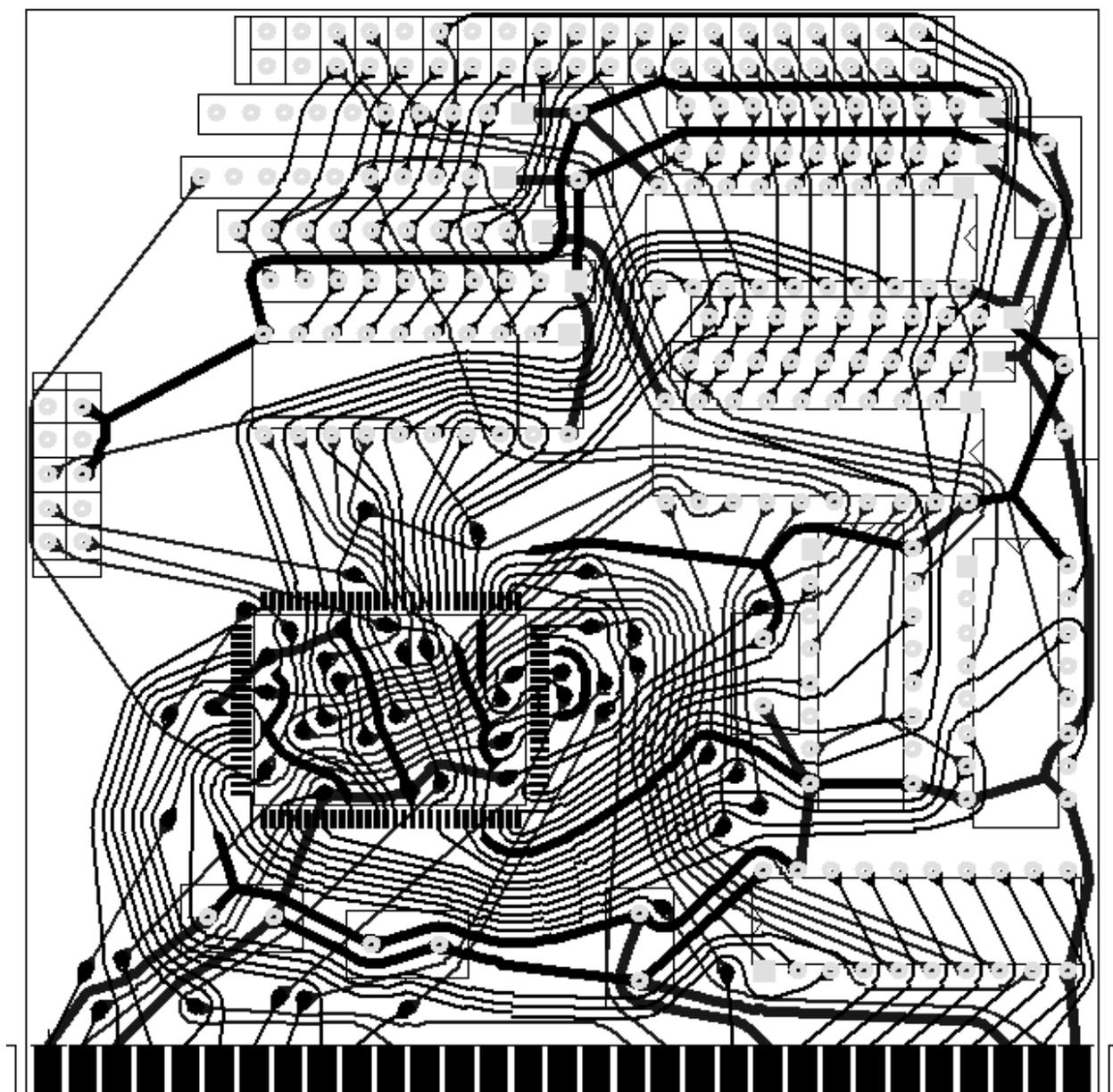


Рис. 9.3.3. Плата, разведенная трассировщиком "ТОРОР"

Отсутствие преимущественных направлений трассировки в слоях существенно снижает уровень параллельности трасс, что, в свою очередь, уменьшает уровень перекрестных электромагнитных помех. Большинство САПР используют простейшие способы уменьшения числа межслойных переходов. Огромное количество избыточных переходов ухудшает параметры изделия, существенно увеличивая трудоемкость изготовления и снижая надежность. Завышенное число межслойных переходов приводит к неэкономному использованию площади платы. При повышении рабочей частоты переходные отверстия становятся источником неоднородностей в линии передачи, что отражается на работоспособности высокоскоростных плат (сотни МГц).

9.4. Программы фирмы Mentor Graphics: PADS и Expedition

Компания Mentor Graphics

Компания Mentor Graphics является одним из мировых лидеров в области САПР электроники. Диапазон средств, предлагаемых Mentor Graphics, охватывает проектирование заказных, полузаказных, программируемых интегральных схем, систем на кристалле и систем на печатных платах в широком диапазоне приложений – цифровых, аналоговых, смешанных, ВЧ, СВЧ – от архитектурного уровня до подготовки производства и пост-производственного тестирования. В области проектирования систем на печатных платах Mentor Graphics давно и стабильно занимает первое место в мире с существенным отрывом от ближайших преследователей (52% против 20%). Компания продолжает инвестировать средства в исследования и разработки в области печатных плат с тем, чтобы удовлетворить всем требованиям пользователей, как с точки зрения функциональных возможностей пакетов, так и с точки зрения оптимизации бизнес-процессов пользователей. В прошлом году Российские компании впервые приняли участие в конкурсе на лучший проект, выполненный с помощью средств проектирования Mentor Graphics (TLA). И сразу в одной из номинаций Российская компания получила первый приз. Это показывает, что совершенное владение инструментом проектирования позволяет в кратчайший срок выйти на выполнение проектов на мировом уровне. Рассмотрены вопросы разработки схемы проекта, размещения и трассировки, DFM-подготовки производства, а также вопросы функционального и электрического моделирования по сигнальным цепям и цепям питания, 3D-электромагнитного анализа, интеграции с САПР механики и многое другое.

Большинство систем *проектирования печатных плат* представляет собой сложный комплекс программ, обеспечивающий сквозной цикл, начиная с прорисовки принципиальной схемы и заканчивая генерацией управляющих файлов для оборудования изготовления фотошаблонов, сверления отверстий, сборки и электроконтроля.

Expedition.

Пакет Expedition PCB (компания Mentor Graphics) представляет сейчас наиболее мощное и дорогое решение в области проектирования плат. Основу системы составляет среда AutoActive, позволяющая реализовать такие функции, как предтопологический анализ целостности сигналов, интерактивная и автоматическая трассировка с учетом требований высокочастотных плат и специальных технологических ограничений, накладываемых использованием современной элементной базы (BGA). Единая среда позволяет с помощью модуля ICX моделировать наводки в проводниках непосредственно при прокладке трассы или шины и контролировать превышение ими заданного уровня.

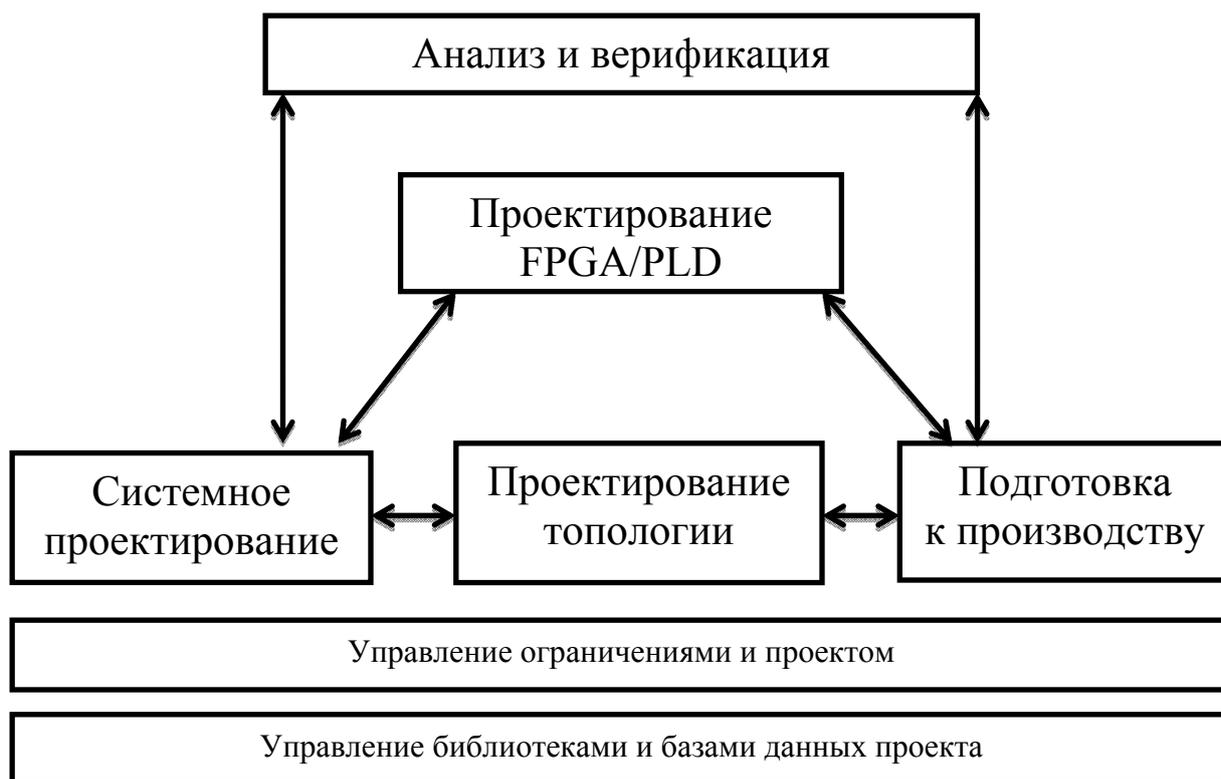


Рис. 9.4.1. Интегрированный маршрут проектирования

Пакет Expedition выгодно отличается от конкурентов глубоко интегрированным окружением, уникальными технологиями и возможностью удовлетворить требования как средних, так и крупных компаний. Общая база данных, общие правила и интерфейс пользователя, позволяют устранить дополнительную нагрузку на управление взаимодействием модулей при сквозном проектировании. Система управления данными проекта и библиотекой, а также электрическими и топологическими ограничениями, обеспечивает поддержку коллективного проектирования, как для локальных, так и для глобально-распределенных групп инженеров, усиливая их ресурсы и сокращая время проектирования. Целостность данных поддерживается на всем протяжении – от разработки концепции проекта до изготовления печатной платы. Expedition интегрирован с системами DMS (Data Management System) и CES. Constraint Editor System), обеспечивающими централизованную инфраструктуру для управления библиотеками компонентов, данными и версиями проектов, повторным использованием, вводом и редактированием высокоскоростных и технологических правил и интеграцией с корпоративными системами PLM. Интеграция с инструментами подготовки производства гарантирует поддержание целостности проекта.

Обеспечивая инженера глубоко интегрированным окружением, пакет Expedition, в дополнение к классическим решениям в области проектирования печатных плат, содержит множество уникальных технологий. Эти технологии нацелены на эффективное решение задач компании, позволяя группе инженеров выпускать на рынок продукт с меньшими затратами. Эти технологии делятся на три категории: коллективное (параллельное) проектирование системы; использование и анализ наиболее совершенных технологий изготовления интегральных схем и печатных плат; и взаимодействие базовых

функций проектирования печатных плат с другими дисциплинами в процессе проектирования.

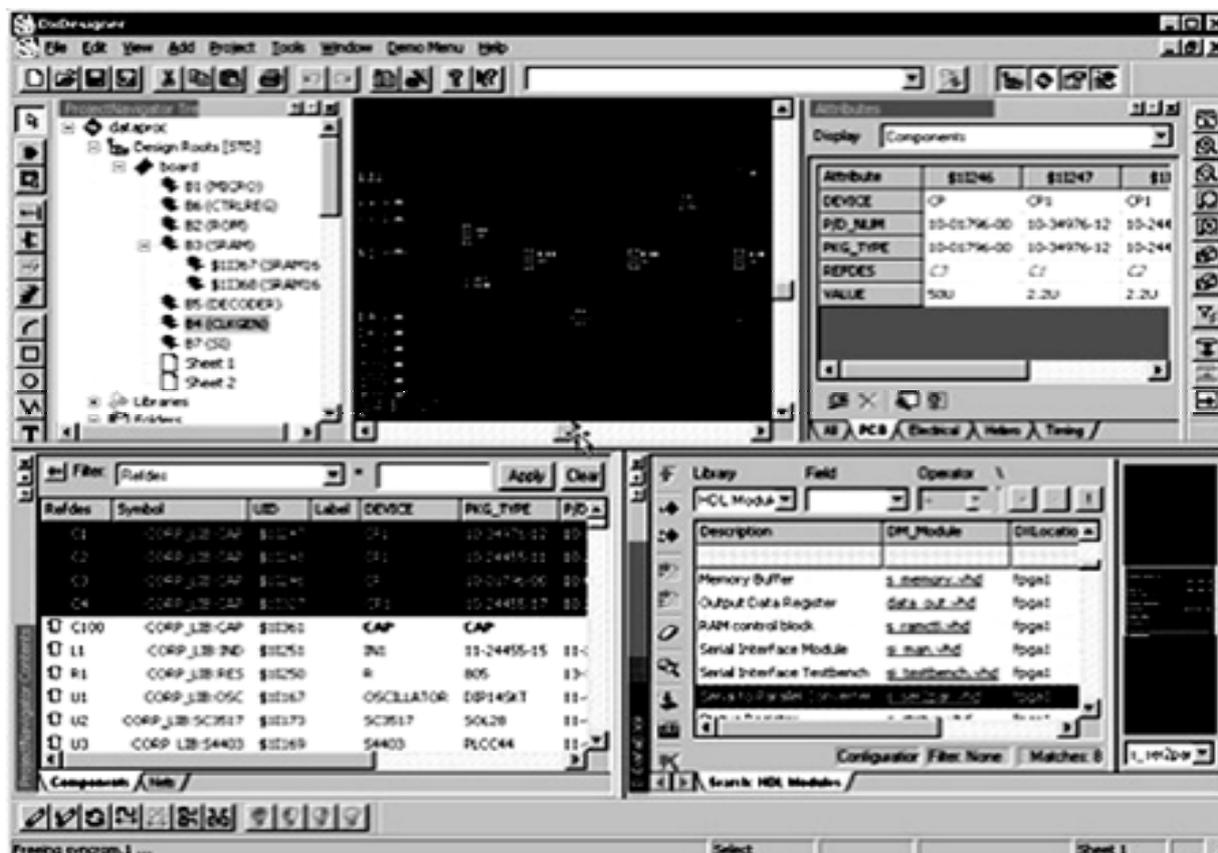


Рис. 9.4.2. DxDesigner обеспечивает законченное решение для создания проекта, описания, и повторного использования

Схемотехнический редактор DxDesigner предлагает законченное решение для создания проекта, его описания и повторного использования. Он содержит все необходимое для проектирования схем и моделирования, выбора компонентов и управления библиотеками, предварительной планировки целостности сигналов, управления проектами и коллективного проектирования. Несколько инженеров могут одновременно работать в редакторе DxDesigner над одним проектом, без использования классической процедуры разбиения-слияния. Сделанные одним инженером изменения, немедленно отображаются в главной базе данных и видны всем членам рабочей группы, обеспечивая, таким образом, синхронизацию интерфейсов между отдельными листами схемы. В дополнение к классическим символам схем, DxDesigner поддерживает табличный ввод компонентов

Для просмотра демонстрации возможностей пакета Expedition откройте ссылку: (<http://www.mentor.com/products/pcb-system-design/multimedia/>)

Пакет *Expedition* обеспечивает совместное проектирование ИС - ПЛИС - печатная плата. Модуль I/O Designer является быстрым и эффективным инструментом назначения выводов ПЛИС/ИС с учетом топологии печатной платы и помогает решить сложные задачи, возникающие при совместной разработке ПЛИС, ИС и печатных плат. I/O Designer интегрирует маршруты проектирования ПЛИС/ИС и печатных плат, обеспечивая

одновременное проектирование сверху-вниз, сокращая время проектирования и оптимизируя производительность системного уровня.

Пакет Expedition позволяет создавать и отслеживать исчерпывающий набор высокоскоростных и технологических ограничений (правил). Эти ограничения или вводятся инженерами или передаются из модуля пред-топологического высокоскоростного анализа, и соблюдаются в процессе создания топологии и последующей верификации, что позволяет получить корректный проект с первого выпуска. Пакет Expedition это наиболее мощное в индустрии решение в области проектирования топологии печатных плат. Комбинируя легкость использования с расширенной функциональностью, Expedition предлагает разработчикам передовую технологию для создания наиболее сложных проектов, включая интерактивную и многошаговую автотрассировку, настраиваемую пользователем под конкретные задачи проекта, такие как трассировка дифференциальных пар, выравнивание проводников, оптимизация для производства, технологии изготовления.

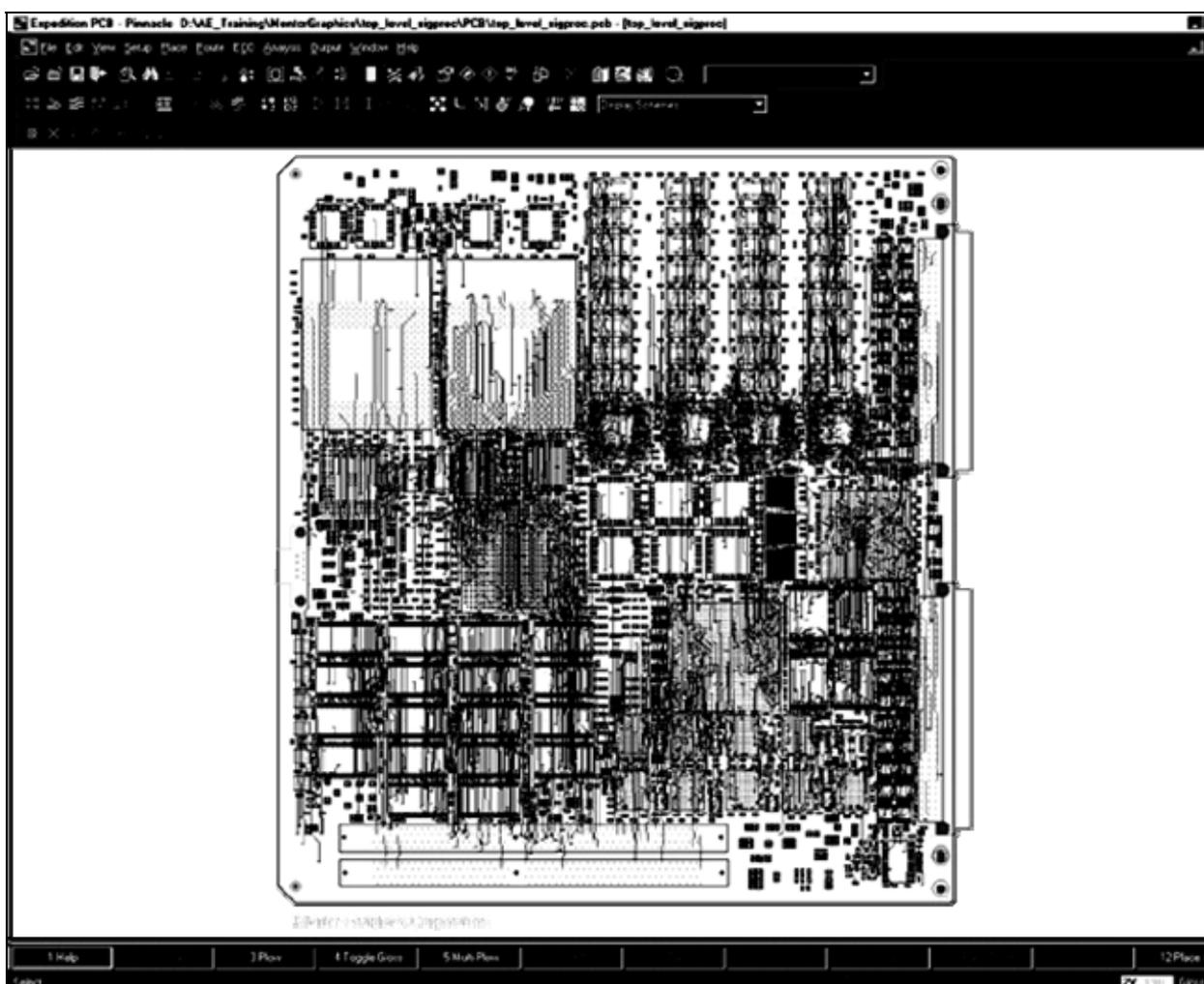


Рис. 9.4.3. Expedition это наиболее продуктивное решение для создания высокоплотных, сложных, высокотехнологичных печатных плат

Назначение системы Expedition - это набор средств, ориентированный на разработку сложных высокоскоростных плат, и предназначенный для рабочих групп и организаций. Средства, входящие в этот маршрут, основаны на использовании

самых передовых технологий в области проектирования печатных плат и высокочастотного анализа. Эти средства тесно интегрированы между собой и предоставляют наиболее полный спектр возможностей, включая сквозную систему редактирования и управления ограничениями, систему редактирования и управления библиотеками компонентов и проектными данными.

Задачи, решаемые в системе Expedition: проектирование на системном уровне, моделирование на системном уровне, проектирование цифровых систем, проектирование систем на печатных платах, функциональное проектирование и верификация систем на кристалле, тестирование и диагностика, подготовка к производству и интеграция с САПР механики.

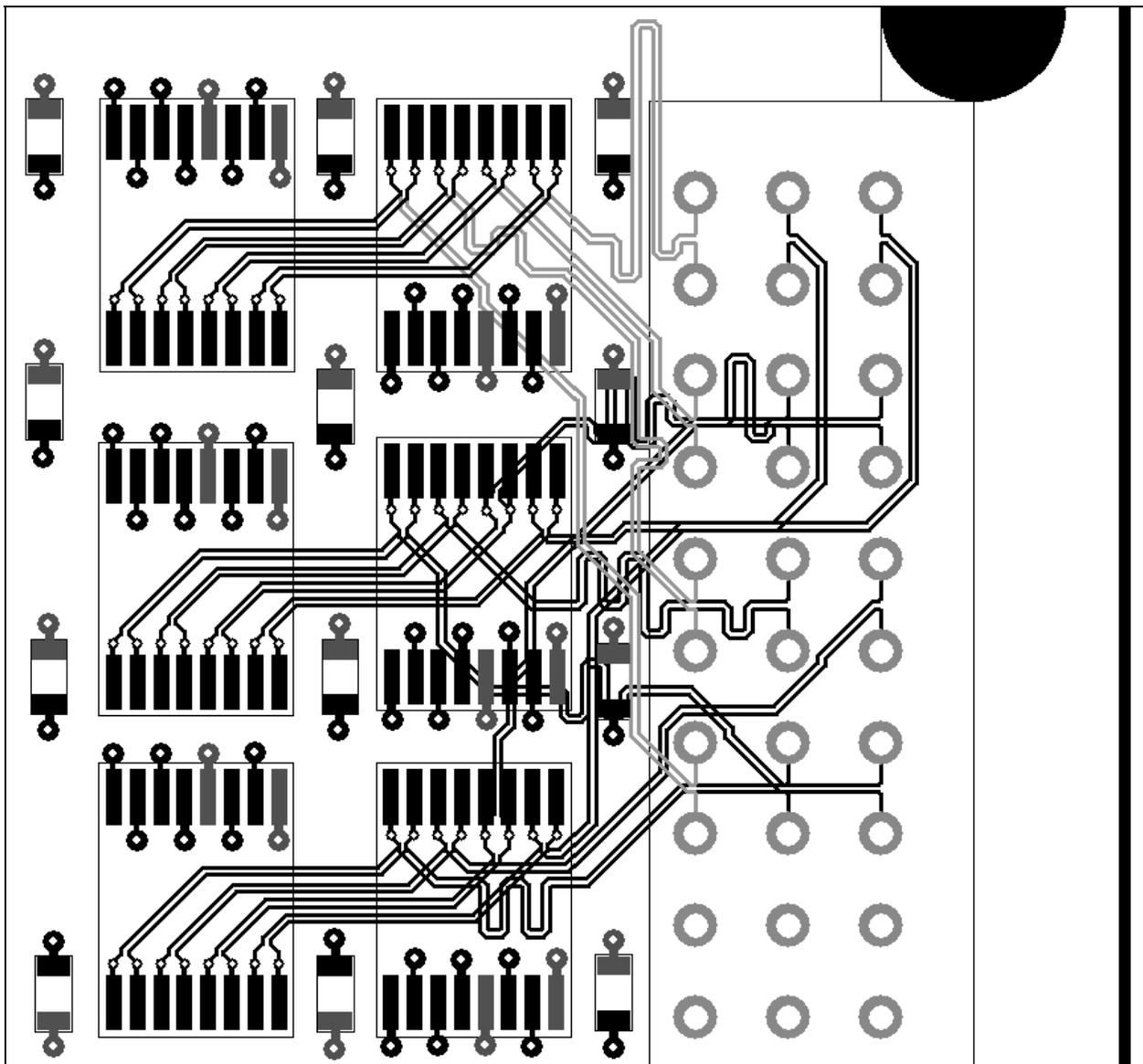


Рис. 9.4.4. Трассировка и редактирование дифференциальных пар в Expedition выполняются настолько быстро и просто, что это полностью меняет представление о сложности разработки высокоскоростных плат

PADS

Другой продукт компании Mentor, система PADS предлагает более дешевое решение. Эта система может похвастаться лучшим автотрассировщиком BlaseRouter, поддерживающим все необходимые при трассировке высокочастотных плат функции. Пакет имеет модули предтопологического (HyperLinks LineSim) и посттопологического (HyperLinks BoardSim) анализа, тесно взаимодействующих с системой контроля ограничений. Сейчас эти модули значительно улучшены за счет внедрения в них оригинальных алгоритмов моделирования, ранее применявшихся в продукте ХТК компании Innoveda.

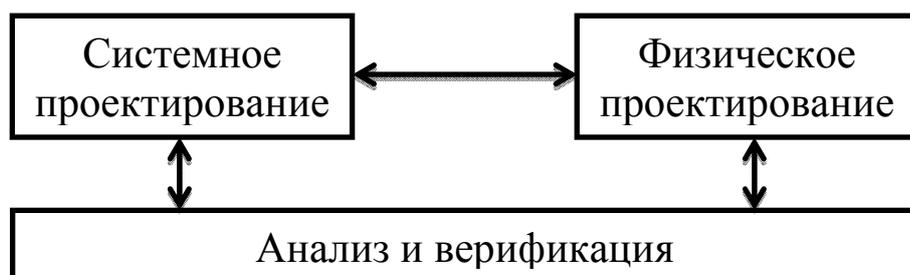


Рис. 9.4.5. Конфигурационная матрица на русском языке.

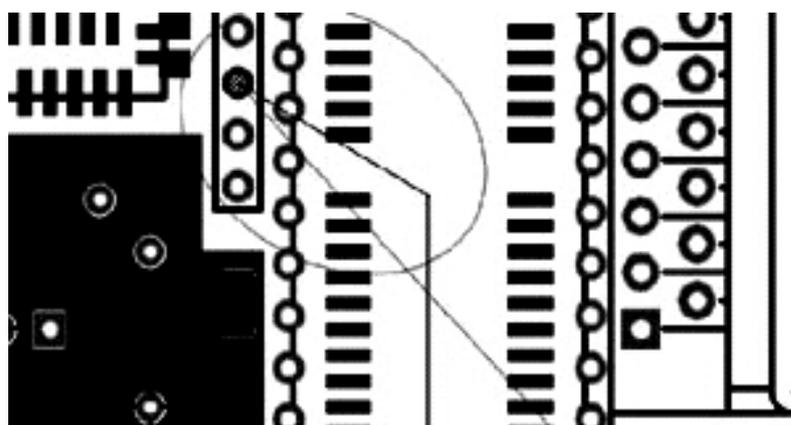


Рис. 9.4.6. Анализ наводок в соседних проводниках при прокладке трассы в пакете Expedition PCB.

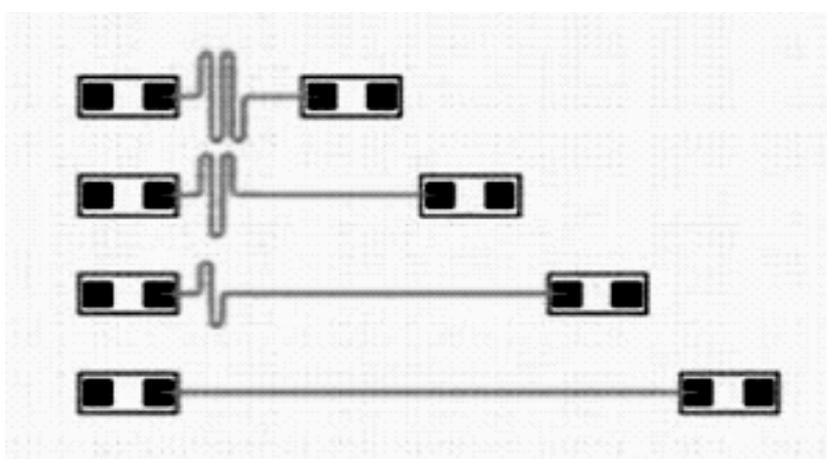


Рис. 9.4.7. Автоматическое изменение формы проводника с контролируемой длиной при перемещении конденсатора в пакете PADS PowerPCB.

Назначение системы PADS - это комплексный маршрут проектирования систем на печатных платах, предназначенный для рабочих групп и индивидуальных рабочих мест инженеров. Он включает все необходимые инструменты, начиная с уровня создания схемы и заканчивая средствами размещения, трассировки, функционального моделирования, анализа целостности сигналов, наводок, электро-магнитной совместимости и подготовки производства. PADS создан инженерами по проектированию печатных плат, что обеспечивает простоту использования и позволяет приступить к проектированию после минимального обучения.

Задачи, решаемые в системе PADS: системное проектирование, анализ и верификация, физическое проектирование.

Авто- и интерактивная трассировка. Многие разработчики в высокоскоростных или очень плотных проектах используют ручную трассировку для разводки критических цепей, но также не пренебрегают и возможностями автотрассировки для ускорения процесса. PADS Router предоставляет продвинутые возможности ручной трассировки, а также автотрассировщик с возможностью разводки высокоскоростных сигналов.

При трассировке под прямым углом, 45 градусов или под произвольным углом, а также при разводке дифференциальных пар с уникальными правилами или ограничениями по длине, трассировщик обеспечивает жесткий контроль соблюдения всех правил. Интуитивно-понятные средства визуального контроля обеспечивают контроль в реальном времени чтобы не допустить возможности появления ошибок в проекте. Проверенные алгоритмы трассировки поддерживают быстрое задание правил и ограничений между объектами и группами объектов, такими как компоненты, слои, цепи и межслойные переходы.

Продвинутый автотрассировщик значительно упрощает такие операции как создание фанатов и трассировка для отдельных компонентов и групп компонентов.

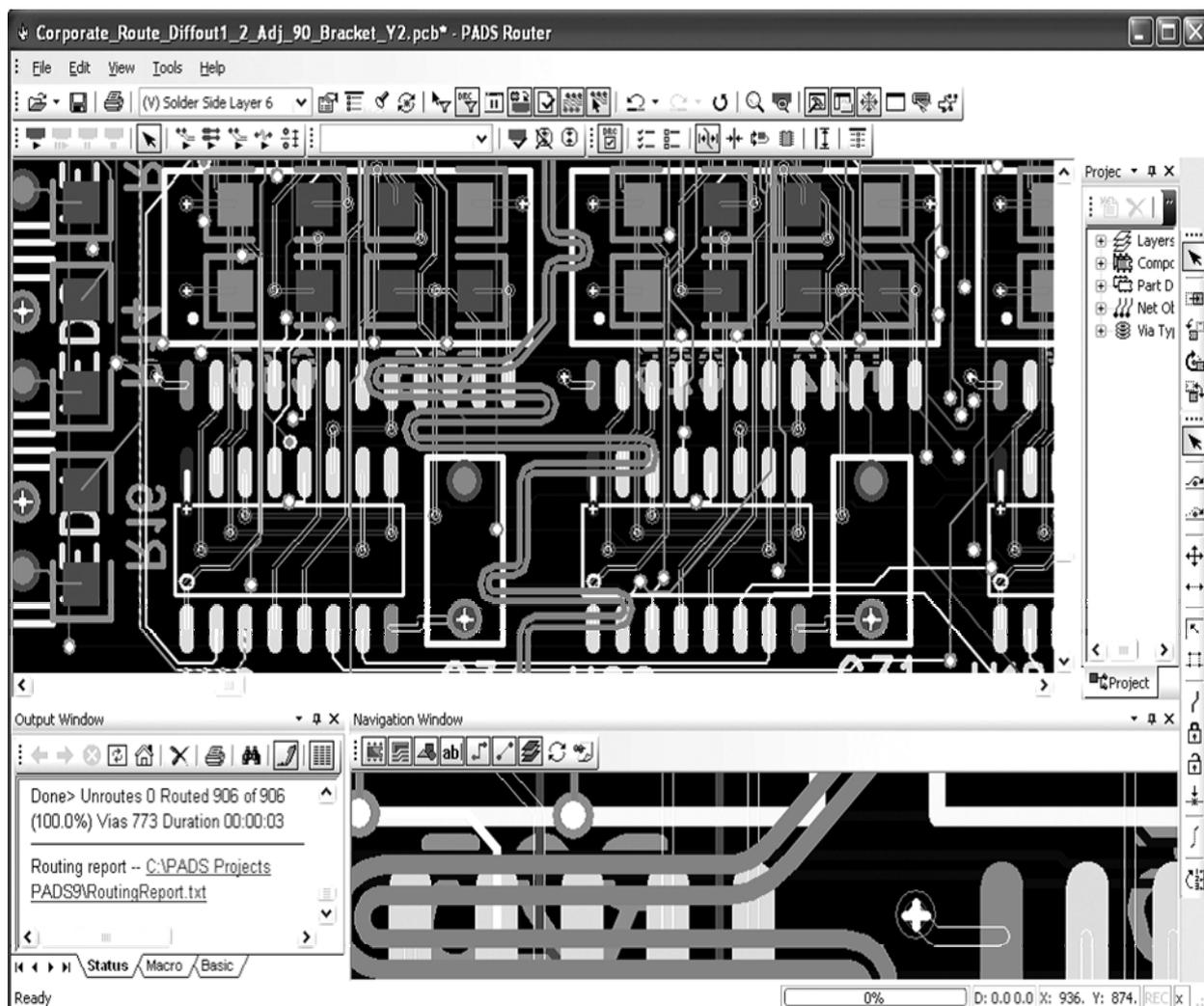


Рис. 9.4.8. Интерактивная и автоматическая трассировка позволяют сделать работу быстро и в соответствии с правилами для зазоров и высокоскоростных цепей. И при ручной, и при автоматической трассировке соблюдаются все правила проектирования, включая высокоскоростные.

Разработка топологии.

Являясь стандартом среди настольных решений для проектирования печатных плат, PADS обеспечивает лучшее соотношение цена/качество для проектирования и разводки сложных, в том числе и высокоскоростных печатных плат.

PADS позволяет задавать расширенные правила проектирования и осуществлять их проверку в реальном времени, создавать ВЧ платы, разделенные слои питания, автоматически проставлять размеры и импортировать DXF, просматривать плату в 3D, а также содержит средства для расширенной проверки технологичности платы.

Также можно создавать варианты сборки, отслеживать тестовое покрытие, повторно использовать готовые блоки из старых проектов, использовать технологии chip-on-board/advanced packaging и IDF интерфейс с CAD/

Верификация

Предтопологический анализ

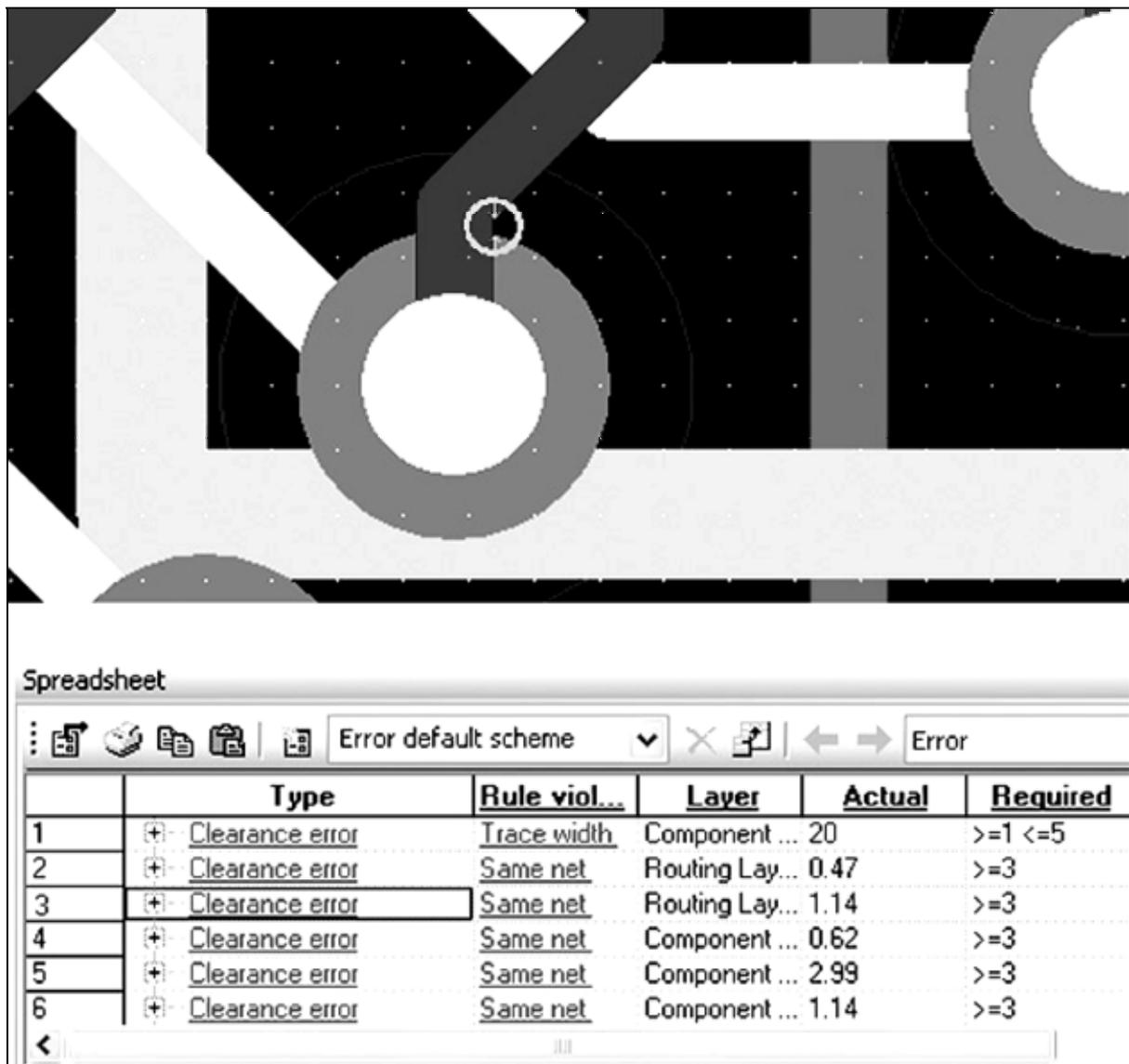


Рис. 9.4.9. Это табличное представление перемещает вид к отдельным ошибкам и дает четкое описание проблемы.

Благодаря интеграции PADS с visECADTM, средой для просмотра и совместной работы, пользователи PADS могут легко передавать проекты для просмотра, делать в них пометки и получать обратную связь.

PADS содержит интерфейс, передающий в visECAD полный набор данных о проекте, необходимый для эффективного просмотра и коллективной работы над проектом - для схемы и печатной платы. Заметки по проекту, созданные в visECAD, можно передать обратно в PADS, где разработчик сможет их просмотреть и внести необходимые поправки или изменения, и задокументировать свои действия, таким образом сохраняется полная история изменений в проекте для последующих ревизий.

Эта возможность есть только в PADS. Она значительно улучшает процесс корректировки проекта, что в свою очередь улучшает производительность разработчика и уменьшает количество циклов проектирования.

visECAD также содержит несколько опций, представляющих для пользователей дополнительный интерес. Есть опции для создания собственных отчетов, позволяющие

создавать произвольные детализированные отчеты, включающие любые данные, содержащиеся в проекте, сравнивать проекты графически, электрически и/или по различным атрибутам, используя данные о схеме и топологии в любой произвольной комбинации и, наконец, отчет DRC, где пользователи могут просматривать и совместно работать над данными DRC в CCZ файле.

Анализ технологичности сборки и тестопригодности

Пользователи PADS могут выполнять расширенный анализ тестопригодности (DFT) и технологичности сборки (DFA), базируясь на реальных правилах производства в любой момент разработки топологии.

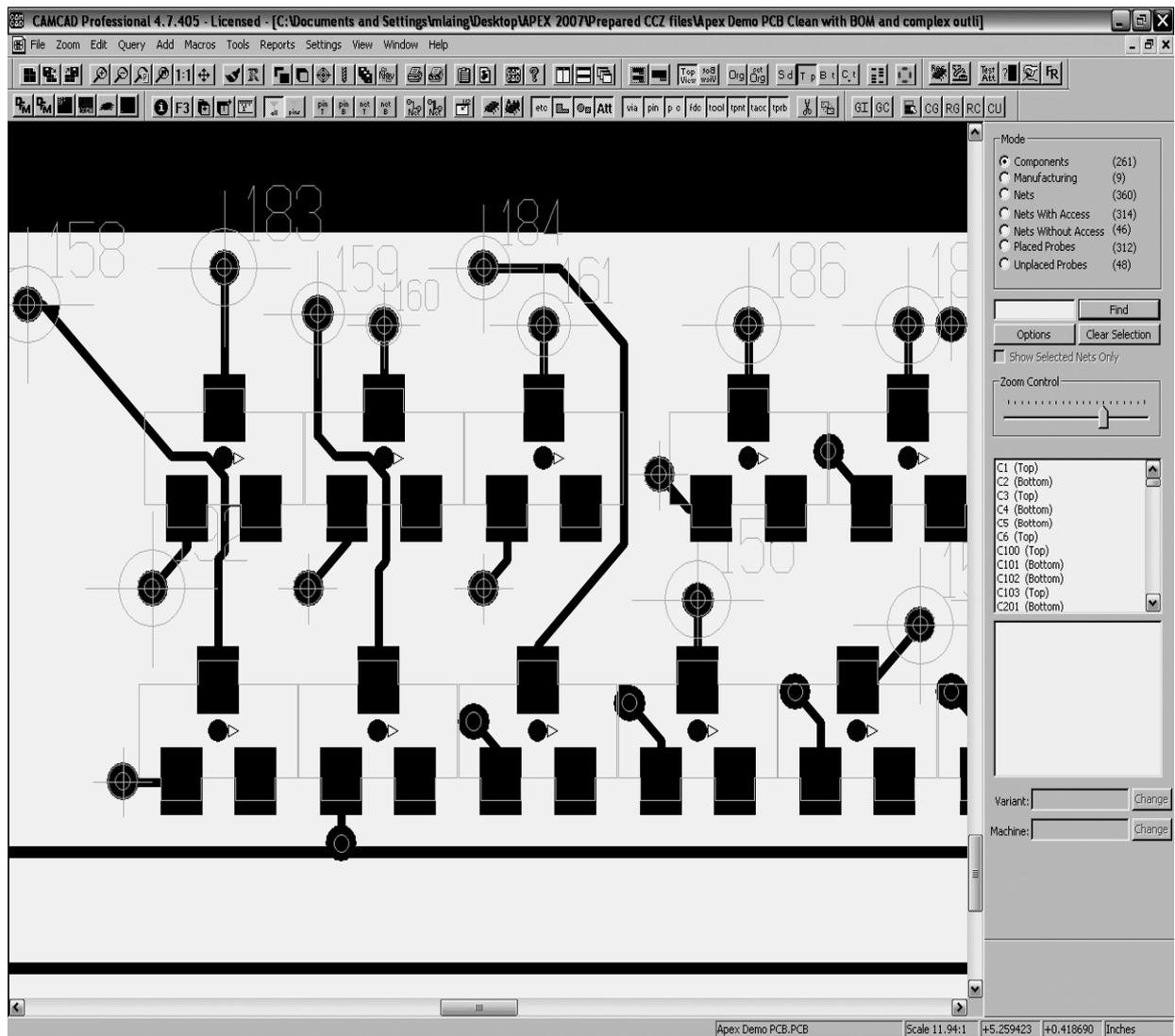


Рис. 9.4.10. Во время анализа данных PADS Layout в CAMCAD были добавлены тестовые пробы

Интеграция PADS и Менторовского маршрута CAMCAD Manufacturing Flow дает пользователям уникальную возможность быстро выполнить DFT и DFA и получить результаты для дальнейшего использования в процессе проектирования. С этой возможностью инженеры могут верифицировать проект и проверить выполнение технологических правил непосредственно в процессе разработки, устраняя возможные

проблемы даже до того, как проект будет просмотрен на фабрике-изготовителе. Это позволяет ускорить выпуск продукта, так как повышается производительность как разработчиков, так и изготовителей.

Таким элегантным и простым в использовании это решение делает то, что фирма-изготовитель предоставляет тестовый план для анализа DFT и набор правил для анализа DFA. При данном подходе в процессе разработки используется опыт изготовителя, однако разработчикам вовсе не требуется разбираться в тонкостях процесса изготовления печатных плат. В дополнение к анализу DFT и DFA, CAMCAD позволяет просматривать, дополнять и генерировать данные для изготовителя непосредственно из проекта PADS.

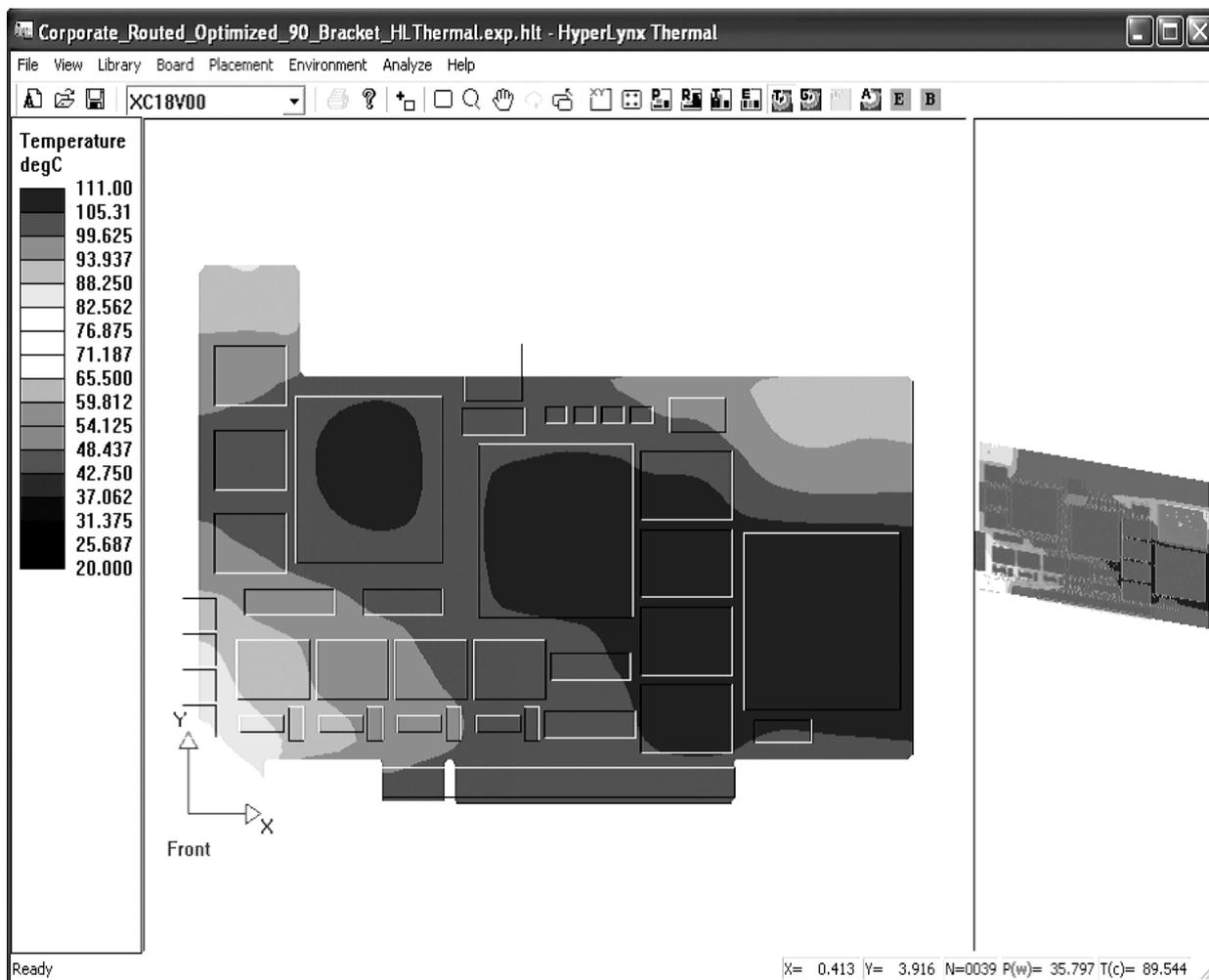


Рис. 9.4.11. HyperLynx Thermal это очень легкое в использовании решение для понимания и устранения тепловых проблем на вашей плате.

Тепловой Анализ

HyperLynx Thermal позволяет разработчикам и конструкторам анализировать на уровне платы тепловые проблемы на размещенной, частично или полностью разведенной плате из всех основных сред разработки. Температурные профили, градиенты и карты позволяют инженерам решать проблемы перегрева платы и компонентов на ранних стадиях процесса проектирования.

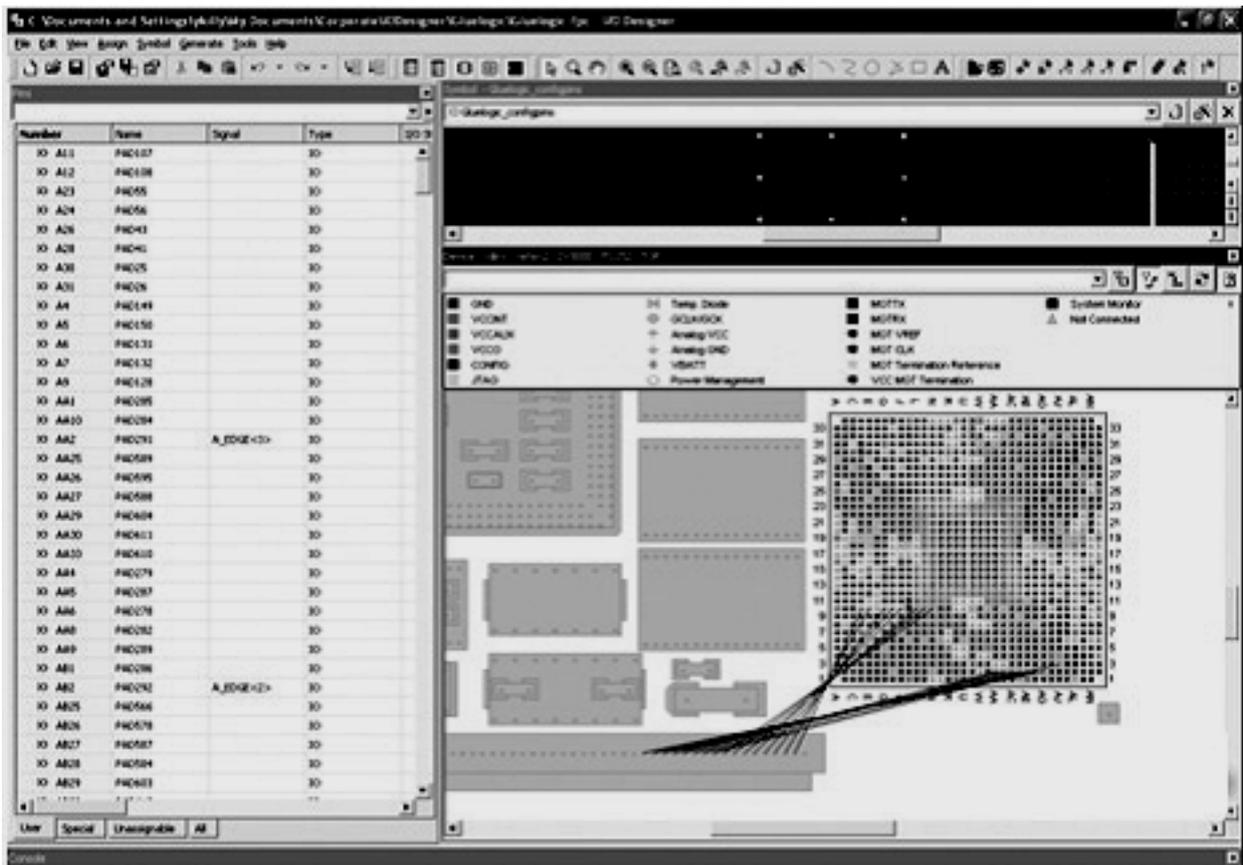


Рис. 9.4.12. Упростить и автоматизировать параллельную разработку ПЛИС и печатной платы.

9.5. Программы фирмы Altium: Altium designer, Nano Board

Фирма Altium

Altium Limited основана в 1985 году, её штаб-квартира расположена в городе Сидней, Австралия. Компания имеет свои филиалы в Европе, США, Японии и Китае, а также партнёров во всех основных регионах мира.

Компания Altium (до 2001 года известная как Protel) предоставляет лучшие программные средства для проектировщиков электронного оборудования. В 1985 году, когда Altium представила первый продукт, она была одной из первых компаний, которая использовала IBM-совместимые компьютеры для проектирования электроники. В 1991 году, до того как Microsoft Windows стала стандартом операционных систем, Altium выпустила первое в мире программное обеспечение для проектирования печатных плат (PCB) на основе Windows. В 1998 году Altium представила Protel-98 — первый пакет программного обеспечения, позволяющий решать все основные задачи проектироваться электронных устройств в едином приложении. В 2005 году компания представила Altium Designer, в котором были реализованы новые, принципиально иные средства проектирования электронных устройств. В дополнение к этому, он поддерживал проектирование печатных плат, а также включал интегрированные средства проектирования для быстро появляющихся программируемых аппаратных средств в системах электроники. С тех пор было предложено много новаторских решений, например, первые трехмерные элементы проектирования для осуществления динамической связи проектов, включающих электронную и механическую части.

Такие продукты компании, как Altium Designer, P-CAD, Tasking и др. широко известны в мире и зарекомендовали себя как удобные и надёжные инструменты для разработчиков электроники. Компания Altium объявила о продлении срока действия амнистии нелегальных пользователей P-CAD, с тем чтобы заинтересованные организации успели перейти на Altium Designer по старым ценам. Амнистия также распространяется на пользователей нелегальных копий Protel. Обе эти САПР уже не поддерживаются компанией Altium. Кампания амнистии пользователей нелегальных копий P-CAD, осуществляемая при поддержке организации Business Software Alliance (BSA), идет с ноября 2009 года. Первые же рейды на предприятиях, на которых предполагалось незаконное использование программного обеспечения Altium, показали наличие у пользователей большого числа нелегальных копий этого популярного в России продукта.

Система автоматизированного проектирования электроники Altium Designer призвана заменить своих предшественников - широко распространенные САПР под марками P-CAD и Protel. Хотя многие функции P-CAD и Protel перенесены в Altium Designer, идеология нового продукта подразумевает совершенно новый, инновационный подход к проектированию электроники. Новая система представляет собой комплексное решение, позволяющее в рамках единой модели данных вести разработку электронных устройств во всех трех аспектах: печатные платы, программируемая аппаратная часть и программная часть. В одном и том же приложении можно разрабатывать принципиальные схемы, проектировать печатные платы и создавать прототипы будущих устройств. Над одним проектом могут работать специалисты разных отделов. В результате инженеры

получают возможность сосредоточиться на интеллектуальной составляющей изделия, на совершенстве его электронной начинки, что во многом определяет конкурентные преимущества выпускаемой продукции.

Опираясь на новую партнерскую сеть, компания Altium намерена активно расширять бизнес в России и СНГ, продвигая Altium Designer как комплексное универсальное решение. «Новая партнерская сеть во главе с компанией «Нанософт», которая будет организовывать продажи и маркетинг на всей территории России и стран СНГ – это очередной важный шаг в нашей стратегии проникновения на перспективные рынки, – заявил Мартин Харрис (Martin Harris), вице-президент Altium по территории EMEA.

Altium designer



Рис. 9.5.1. ПО Altium designer

Система сквозного автоматизированного проектирования электронных средств (РЭС) на базе печатных плат и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Altium Designer Winter 09 - комплексный пакет разработки электронных устройств на базе печатных плат и ПЛИС, позволяющий разработчикам вести совместный проект, начиная с создания принципиальной схемы, до подготовки проектов к производству. Пользователям пакета предлагается крайне простая единая методология описания РСВ- и FPGA- проектов в виде принципиальных схем. Выбор данного пакета будет действительно наиболее оптимальным для пользователей программы P-CAD, самой известной и распространенной программы для проектирования печатных плат на территории бывшего СССР. Данный пакет состоит из двух продуктов, базирующихся на

единой интегрированной платформе DXF. Возможность работы с тем или иным из них зависит от типа приобретенной лицензии.

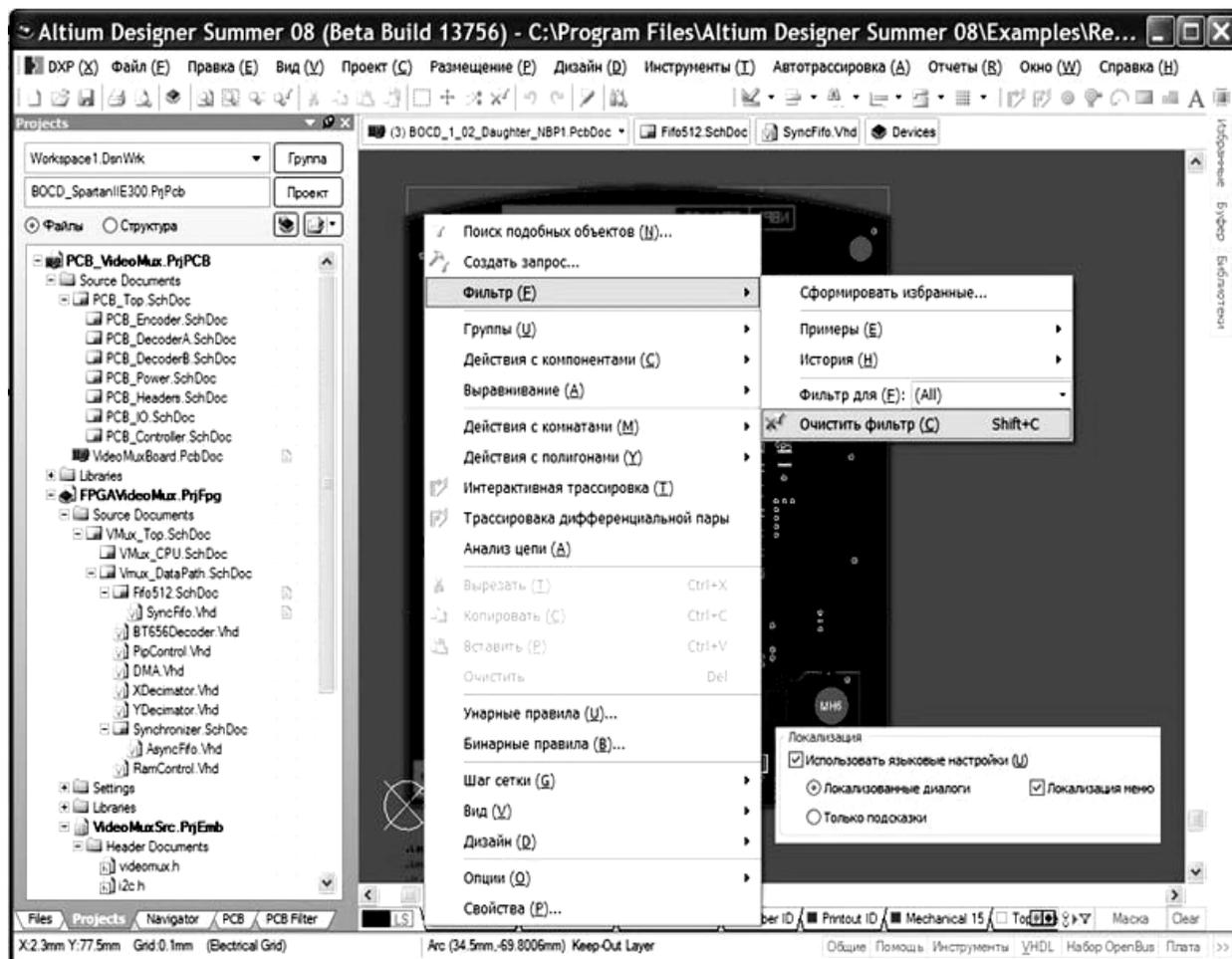


Рис. 9.5.2. Общий вид меню программы

Назначение системы Altium designer. Среди российских разработчиков печатных плат наиболее популярной является линейка программ P_CAD, о приостановке разработки которой было объявлено в 2007 г. Взамен P_CAD фирма Altium предлагает полный пакет сквозного проектирования Altium Designer 6, более известный под названием Protel. Сегодня Altium Designer 10 — это система, позволяющая реализовывать проекты электронных средств на уровне схемы или программного кода с последующей передачей информации в ПЛИС или печатную плату. Отличительной особенностью программы является проектная структура и сквозная целостность ведения разработки на разных уровнях проектирования. Иными словами изменения в разработке на уровне платы могут мгновенно быть переданы на уровень ПЛИС или схемы и так же обратно. Так же в качестве приоритетного направления разработчиков данной программы стоит отметить интеграцию ECAD и MCAD систем. Теперь разработка печатной платы возможна в трёхмерном виде с двунаправленной передачей информации в механические САПР (Solid Works, Pro/ENGINEER и др.).

Altium Designer позволяет избавиться от проблем, связанных с устаревшими принципами разработки, представляя современный программно-аппаратный комплекс и выстраивая качественно новую технологию проектирования электронных средств (РЭС) на базе печатных плат и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Это решение позволяет вести проектные работы в сквозной согласованной среде и тестировать проектируемую систему еще на этапе моделирования: прототип устройства появляется задолго до его физического воплощения — отлаженный, согласованный и полностью предсказуемый.

Принцип сквозного проектирования подразумевает передачу результатов одного этапа проектирования на следующий этап в единой проектной среде. При этом изменения, вносимые на любом этапе, должны отображаться во всех частях проекта. Такой принцип позволяет разработчику контролировать целостность проекта, отслеживать изменения и синхронизировать их.

Впервые этот принцип реализован в системе Altium Designer. Также можно отметить следующие ее достоинства:

- простой и интуитивно понятный пользовательский интерфейс системы: его настройка согласно требованиям конкретного пользователя, а также использование меню с командами на русском языке и множества «горячих» клавиш позволяют научиться эффективно работать с программой менее чем за две недели;
- возможность коллективной работы над проектом;
- поддержка совместимости с многими старыми и современными популярными САПР РЭС (ECAD) и механическими САПР (MCAD);
- все действия, выполняемые пользователем вручную, могут быть описаны с помощью макросов и выполнены автоматически, что открывает широкие возможности для автоматизации рутинных операций процесса создания принципиальных схем и проектирования печатных плат;
- программа имеет набор документации на русском языке, разработаны специальные методические указания для начинающих. Базовая программа обучения рассчитана на пять дней и позволяет пользователям выработать правильные навыки работы в этой системе;
- позволяет хранить все настройки пользователя в «облаке», а при переносе и открытии проекта на другом ПК система автоматически извлекает эти настройки и создает пользователю подобное рабочее место;
- это программно-аппаратный комплекс для создания большинства современных РЭС при достаточно небольшой стоимости.



Рис. 9.5.3. DXP - программная платформа для решения всех задач в Altium Designer

Особенности Редактора схем системы Altium Designer:

- возможность переключения в проекте систем измерения (дюймовая/метрическая) снимает все ограничения для оформления схем согласно требованиям ЕСКД;
- возможность создания в Altium Designer сложноиерархических проектов, где проект изначально строится сверху вниз: РЭС — блок — субблок — модуль — ячейка — печатная плата — электронный компонент (ПЛИС), в отличие от системы P-CAD, где ввод проекта ограничен лишь вводом схемы (пусть даже многолистовой) и др.

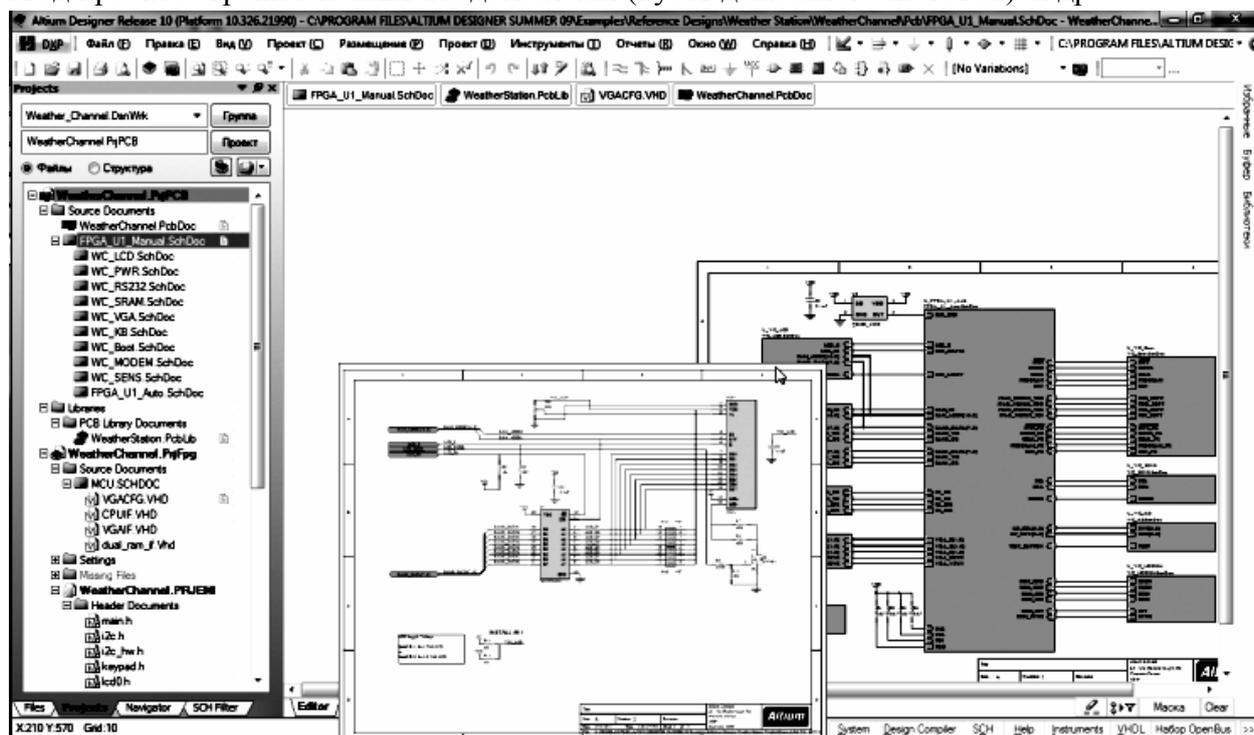


Рис. 9.5.4. Пример многолистового проекта в Редакторе схем

Особенности разработки библиотек в Altium Designer:

- 4 типа библиотек: символов (*.SchLib), посадочных мест (*.PcbLib), интегрированная (*.IntLib), база библиотек данных (*.DBLib). Текстовые описания SPICE-моделей и IBIS-моделей в отдельных файлах (*.MDL, *.CKT);
- в среде DXF отображаются связи между различным представлением компонента;

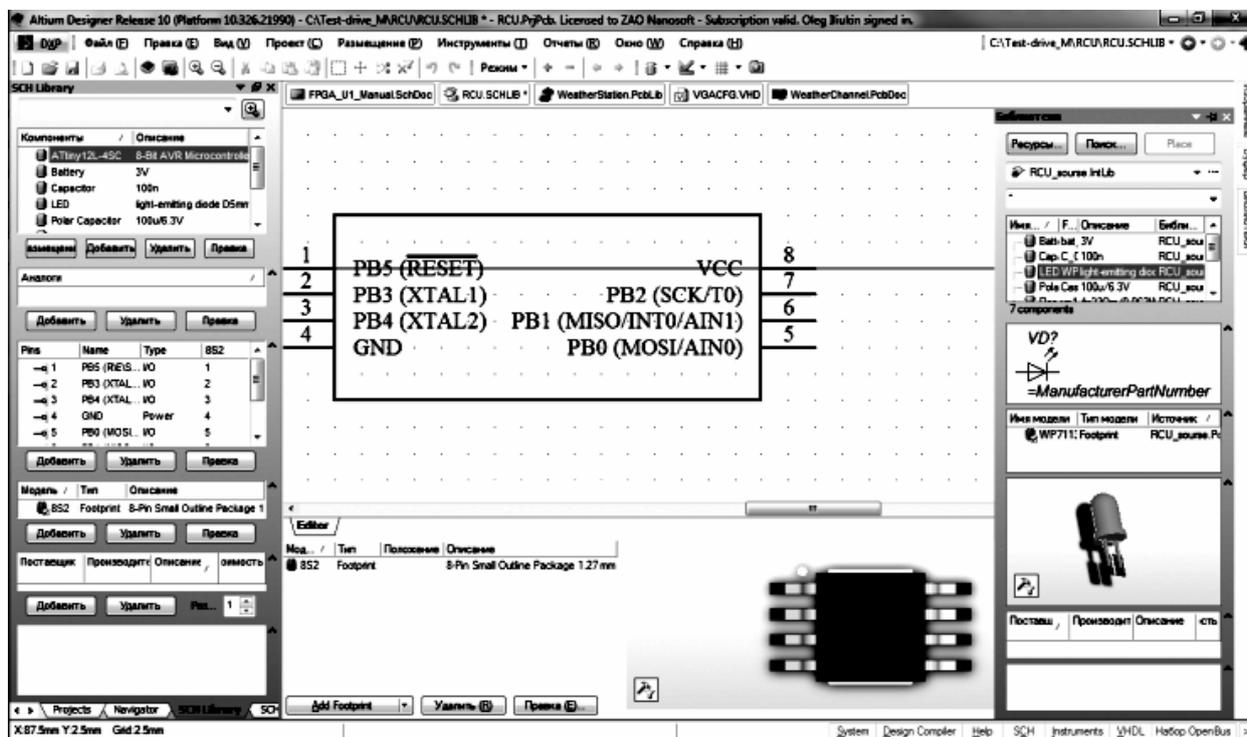


Рис. 9.5.5. Пример просмотра компонентов библиотек

Задачи, решаемые в системе Altium Designer охватывают весь необходимый инструментарий для разработки, редактирования и отладки проектов на базе электрических схем и ПЛИС. Редактор схем позволяет вводить многоиерархические и многоканальные схемы любой сложности, а также проводить смешанное цифро-аналоговое моделирование. Библиотеки программы содержат более 90 тысяч готовых компонентов, у многих из которых имеются модели посадочных мест, SPICE и IBIS-модели, а также трёхмерные модели. Любую из вышеперечисленных моделей можно создать внутренними средствами программы.

Моделирование устройств

Важным шагом в достижении нужного результата при создании проекта РЭС является процесс отладки работы схемы устройства еще до его воплощения «в железо», поэтому в состав Altium Designer включена программа моделирования, которая позволяет разработчику сразу по окончании создания принципиальной схемы начать ее анализ, изменять параметры и проводить статистический анализ.

Altium Designer поддерживает большое количество типов анализа, в том числе:

- частотный анализ в режиме малого сигнала;
- анализ переходных процессов;
- расчет спектральной плотности внутреннего шума;
- анализ передаточных функций по постоянному току;
- статистический анализ выходных электрических параметров схемы методом Monte-Carlo;
- анализ влияния изменений значений параметров элементов схемы и температуры на работу схемы;
- спектральный анализ Фурье;
- возможности математической обработки рассчитанных сигналов: их сложения, вычитания, применения к ним различных математических функций.

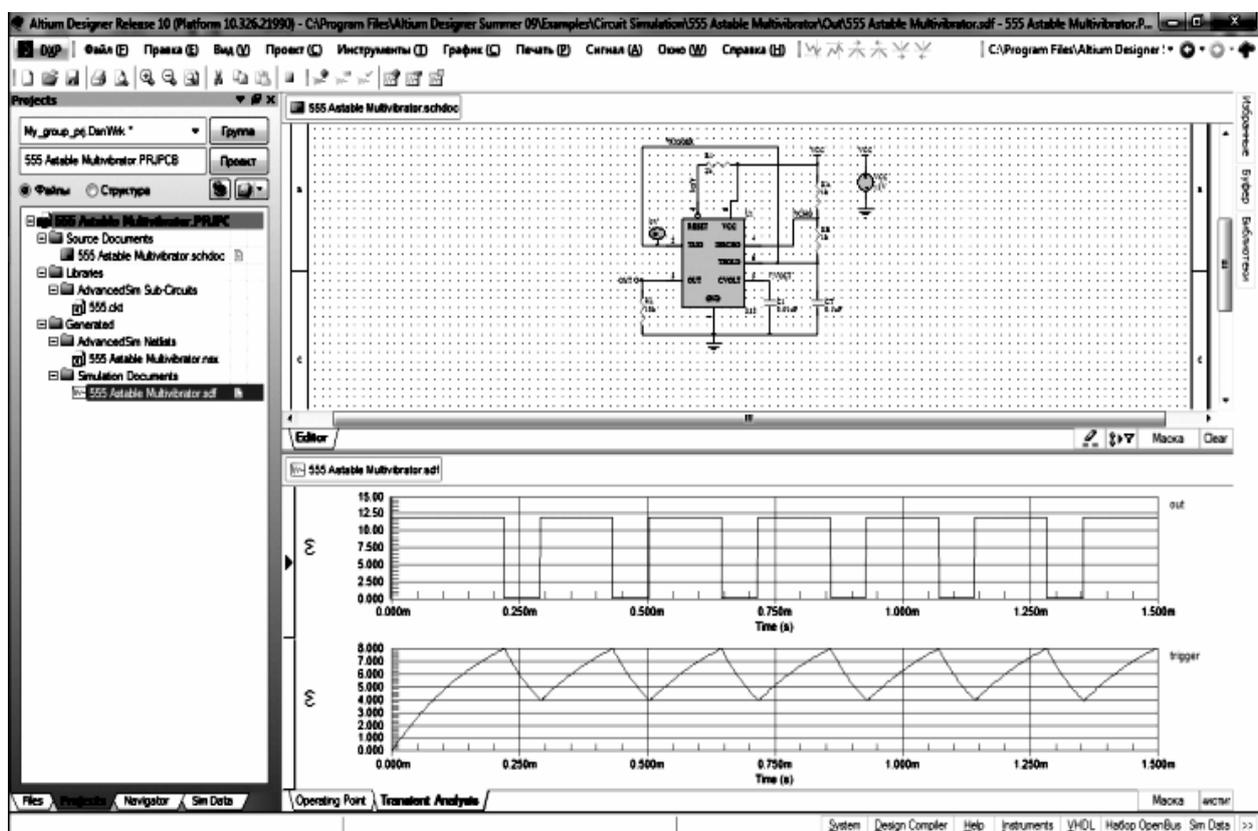


Рис. 9.5.6. Пример анализа сигналов на схеме

Самую свежую версию библиотек всегда можно найти по адресу www.protel.com.

Редактор печатных плат

Главное назначение любого Редактора печатных плат — это размещение компонентов и трассировка проводников на сигнальных слоях платы, соединяющих выходы компонентов согласно списку соединений. Система Altium Designer предлагает пользователю достаточный набор инструментов для автоматизации этих и других действий.

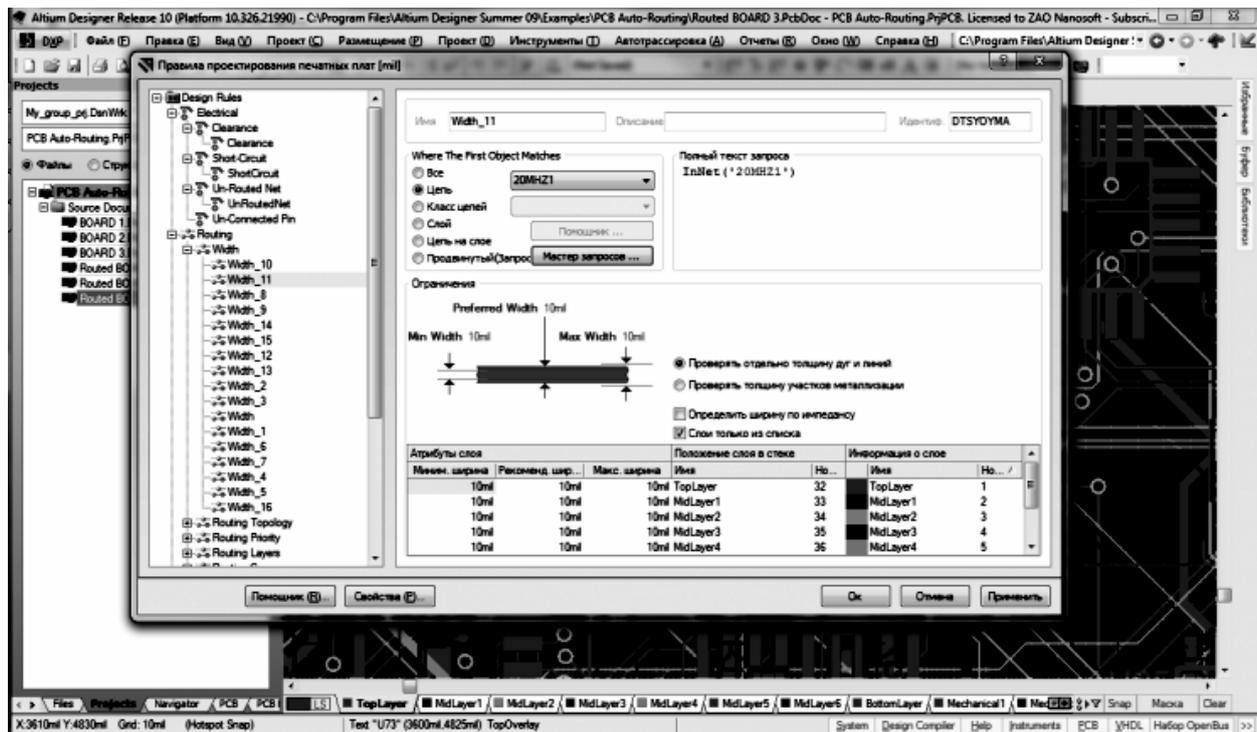


Рис. 9.5.7. Вид окна настройки правил проектирования DRC

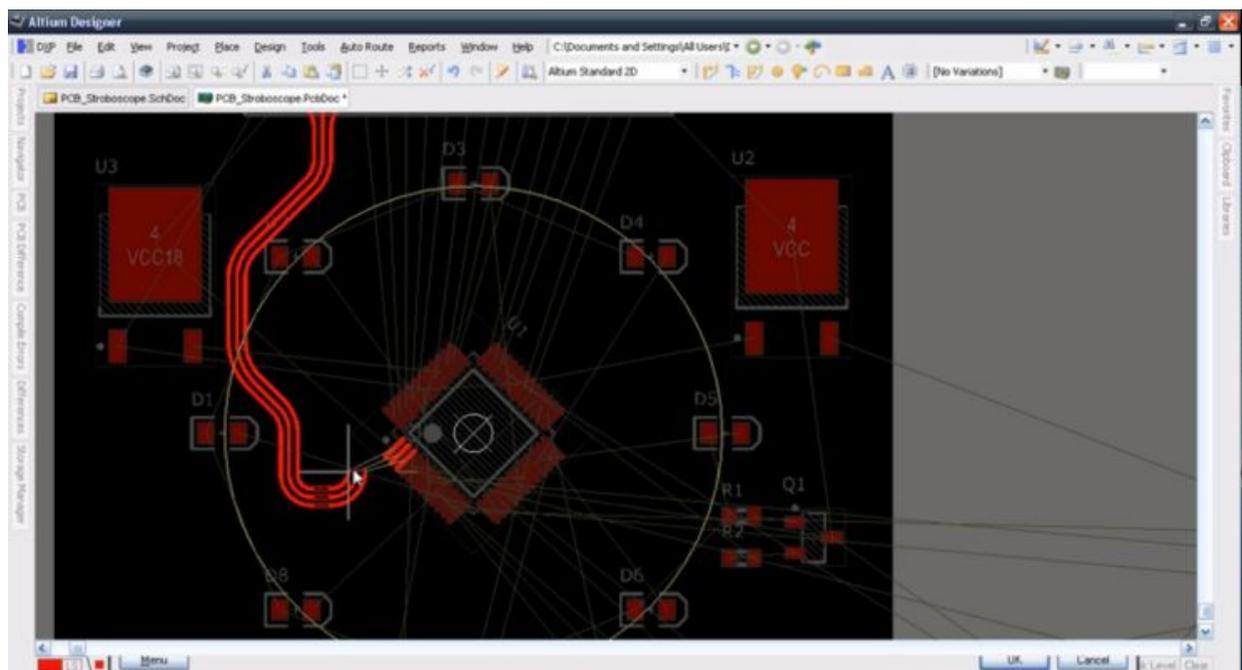


Рис. 9.5.8. Расширены возможности трассировки

Анализ целостности сигналов (Signal Integrity)

Сложность и плотность компоновки современных печатных плат постоянно повышается, поэтому для правильной работы разрабатываемого устройства необходимо провести дополнительный анализ поведения сигналов с учетом особенностей реальной топологии (искажения форм сигналов за счет паразитных эффектов отражений и перекрестных искажений (взаимных наводок) в печатном монтаже) и избежать возможных проблем в будущем. Для решения этой задачи:

- в Altium Designer имеются модули пред- и посттопологического анализа целостности сигналов;
- критерии оценки качества сигналов задаются специальными правилами проектирования из категории Signal Integrity;
- модуль предтопологического анализа позволяет разработчику выполнять предварительный расчет и проводить оценку проекта еще на этапе создания принципиальной схемы, то есть еще до начала компоновки и трассировки печатной платы рассчитать основные параметры системы, смоделировать ее возможное поведение при воздействии критических сигналов, оценить устойчивость проекта и выработать набор рекомендаций, в дальнейшем оформленных разработчиком в виде топологических директив, которые при передаче на плату будут автоматически преобразованы в соответствующие наборы правил проектирования;
- модули посттопологического анализа имеются почти во всех системах проектирования печатных плат, но в системе Altium Designer этот модуль интегрирован непосредственно в Редактор плат и позволяет выполнять первичный анализ на уровне DRC. Эта функция отсутствует в стандартном наборе инструментов всех остальных систем проектирования печатных плат «среднего» уровня;
- при пакетной проверке запускается система моделирования сигналов в проводниках платы и, если паразитный сигнал превышает определенный уровень, генерируется и заносится в отчет информация о нарушении. В дальнейшем выявленное нарушение служит подсказкой при более подробном анализе электромагнитной совместимости;
- в этом модуле анализа целостности сигналов все сегменты проводников на печатных платах представляются в виде отрезков линий передачи, после чего выполняется расчет переходных процессов при воздействии на них импульсных сигналов. При этом подключаются модели компонентов, учитывающие входные и выходные импедансы (сопротивления и емкости) выводов компонентов (буферов интегральных микросхем, других электрических выводов), прохождение сигналов через ИС не моделируется, они заменяются IBIS-моделями (Input/Output Buffer Information Specification), а дискретные компоненты заменяются соответствующими SPICE-моделями;
- особенностью этого модуля является то, что здесь не учитываются физические эффекты, связанные с распределением токов в проводниках земли и питания. Эти цепи считаются идеальными;
- модели зависят от типа, схемотехники и технологии изготовления компонентов;
- модели бывают внешние и поставляются производителями компонентов или задаются непосредственно в среде Редактора библиотек;
- импедансы, отражения и возможные перекрестные отражения могут быть уточнены и на заключительных этапах разработки, при контроле топологии.

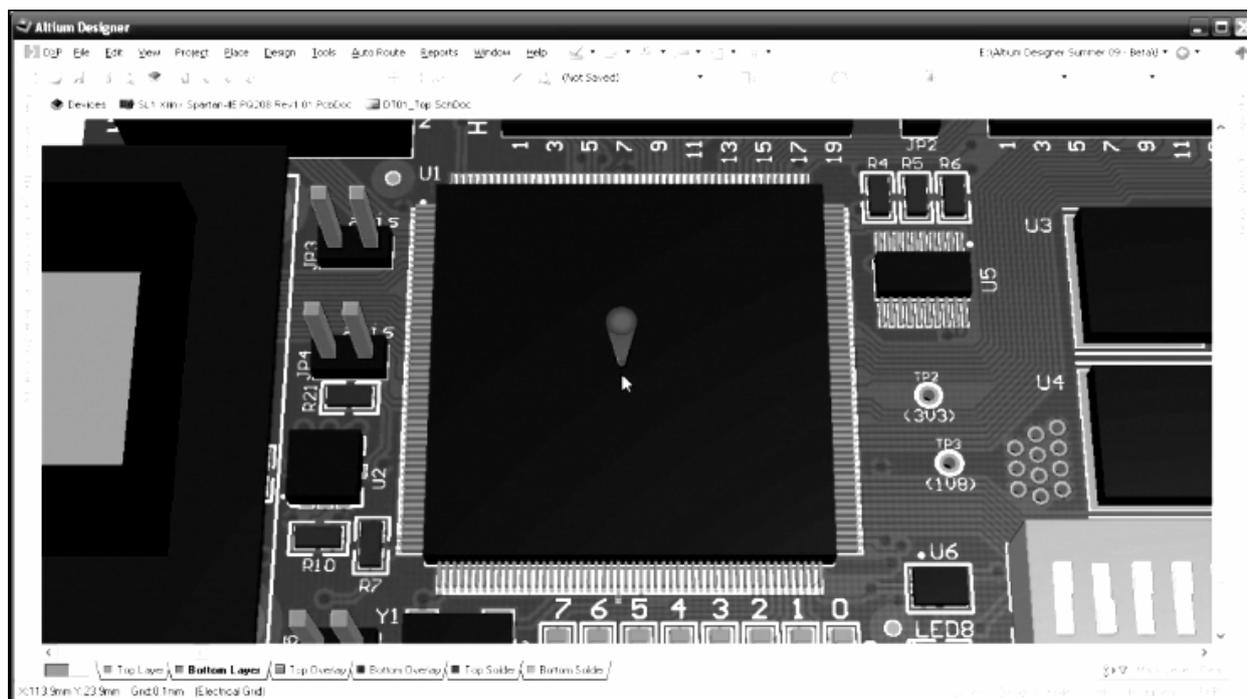


Рис. 9.5.9. Пример 3D-просмотра элементов на плате

В Altium Designer существует возможность просмотра внутри системы трехмерного вида проектируемой платы по технологии OpenGL. Разработчик может:

- вывести на монитор реальный вид платы с компонентами;
- оценить сопряжение платы с механическими деталями конструкции и тут же внести необходимые изменения;
- отключать отображение компонентов или участков металлизации и тем самым наблюдать вид платы на промежуточных этапах изготовления;
- выключение текстур заливки объектов позволяет просматривать многослойную структуру платы на просвет, как на рентгеновском снимке;
- контролировать на уровне DRC превышение компонентами максимально допустимой для данной «комнаты» высоты с наглядным отображением выявленных нарушений.

Импорт и экспорт файлов

Перенос проекта электронного изделия из одной среды проектирования в другую всегда был одной из сложнейших задач. Если разработчик одновременно работает с другой САПР либо получает проект от сторонних разработчиков, ему просто необходима возможность импорта схемы или проекта платы в систему Altium Designer. Встроенный помощник импорта (Import Wizard) позволяет импортировать схемы, платы, библиотеки, выполненные с помощью систем P-CAD, OrCAD, PADs, DxDesigner, Allegro PCB, и преобразует их в проекты Altium Designer.

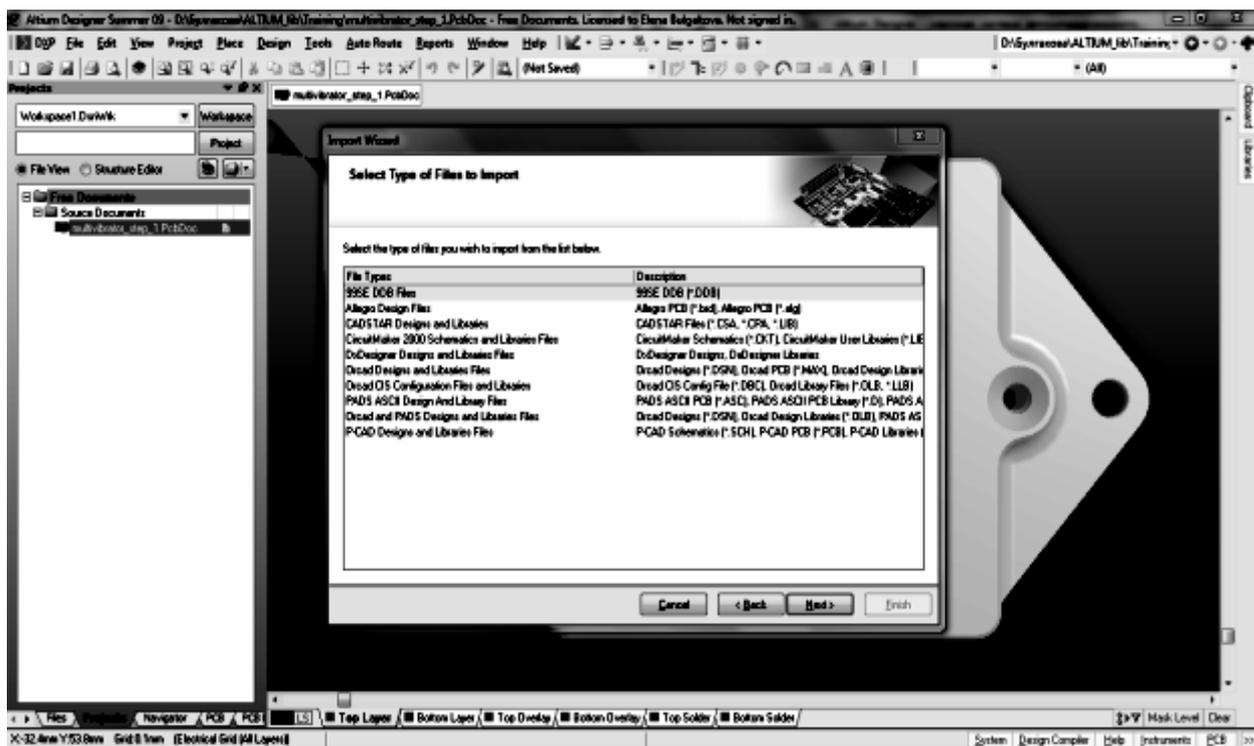


Рис. 9.5.10. Встроенный помощник для импорта проектов

Nano Board

NanoBoard - единственная на сегодняшний день универсальная плата, предназначенная для отладки и макетирования ПЛИС-проектов.



Рис. 9.5.11. NanoBoard

NanoBoard - это составная часть технологии LiveDesign. Технология LiveDesign увязывает воедино программную и аппаратную части проекта, превращая рабочее место проектировщика в программно-аппаратный комплекс. Этот комплекс состоит из собственно системы проектирования Nexa и платы отладки NanoBoard. Таким образом, разработчик может постоянно взаимодействовать с реальным проектом, который "крутится" внутри реальной ПЛИС, а не с некоторой виртуальной моделью. При этом используется следующая концепция ведения проекта: "собираем" схему, загружаем ее в ПЛИС, проверяем работоспособность, отлаживаем. В рамках концепции LiveDesign

активно использует виртуальный инструментарий (генераторы частот, счетчики частот, логические анализаторы, периферийное сканирование и т.д.), что позволяет видеть на экране компьютера реальные процессы, протекающие в ПЛИС. Замена дочерней платы, на которой размещен тот или иной кристалл, позволяет разработчику быстро и просто переориентировать проект на другого ПЛИС-производителя с возможностью отладки проекта на реальной ПЛИС. Перечень поддерживаемых кристаллов:

- Altera (MAX(r) 3000/7000, Cyclone)
- Xilinx (CoolRunner-II, Coolrunner(r)XPLA3, XC9500XL, Spartan-II, Spartan(r)-IIE, XC9500XV, Spartan-3)
- Actel ProASIC Plus Для большей гибкости отладки проекта несколько NanoBoard могут быть объединены и использоваться совместно. "Совместный" вариант работы будет востребован в том случае, если проект содержит несколько кристаллов и разработчику требуется смаскетировать его работу.

Назначение системы Nano Board – это система увязывает воедино программную и аппаратную части проекта, превращая рабочее место проектировщика в программно-аппаратный комплекс. Этот комплекс состоит из собственно системы проектирования Nexar и платы отладки NanoBoard с возможностью замены ПЛИС для моделирования происходящих процессов.

Задачи, решаемые в системе Nano Board распространяются на проектирование, моделирование и тестирование печатных плат с использованием ПЛИС. Разработчик может постоянно взаимодействовать с реальным проектом, который "крутится" внутри реальной ПЛИС, а не с некоторой виртуальной моделью. Активно используется виртуальный инструментарий (генераторы частот, счетчики частот, логические анализаторы, периферийное сканирование и т.д.), что позволяет видеть на экране компьютера реальные процессы, протекающие в ПЛИС. Программа предполагает использование определенных типов ПЛИС.

Многоцелевая периферия:

1. 8-разрядный светодиодный массив
2. 8-разрядный DIP-переключатель
3. 16-кнопочная клавиатура
4. 36-разрядный разъем пользовательских входных/выходных выводов ПЛИС
5. 2х16 символьный LCD-экран
6. Зуммер
7. 8-разрядный аудио-кодек
8. 8-разрядный АЦП, 4 канала
9. 10-разрядный ЦАП, 4 канала
10. 256Кх8 RAM (возможна переконфигурация на 128Кх16)
11. 2 модуля последовательной flash-памяти по 4Мбит. (могут использоваться для конфигурирования ПЛИС)



NanoBoard содержит программируемый синтезатор частот, работающий в диапазоне от 6 до 200 МГц. Частота синтезатора может из управляющей оболочки DXP или непосредственно из проекта, запускаемом в ПЛИС.



Параллельно можно использовать несколько плат отладки NanoBoard. Для этого используется два разъема NanoTalk (Master и Slave). Контроллеры NanoTalk управляют маршрутизацией сигналов и обеспечивают непрерывность JTAG-связи для нескольких плат. Одновременное использование объединенных плат отладки позволяет использовать ПЛИС разных производителей, при этом для каждого кристалла полностью доступен виртуальный инструментарий периферийного сканирования.



NanoBoard позволяет использовать для тестирования и отладки пользовательские платы, для чего существует два JTAG-интерфейса. Подключение пользовательского устройства "интегрирует" его с технологией LiveDesign и делает его доступным для периферийного сканирования. Встроенный в ПЛИС виртуальный инструментарий становится доступным через интерфейс Nexar. К каждой плате отладки можно одновременно подключать до 2 пользовательских плат, а при параллельном подключении нескольких NanoBoard, каждая из них может иметь 2 таких подключения.



Перечень поддерживаемых ПЛИС:

1. Altera:

1.1. Cyclone: EP1C12, EP1C20, EP1C3, EP1C4, EP1C6

1.2. MAX3000A: EPM3032A, EPM3064A, EPM3128A, EPM3256A, EPM3512A

1.3. MAX7000AE: EPM7032AE, EPM7064AE, EPM7128AE, EPM7256AE, EPM7512AE,
и др.

9.6. Современные микроприборы и программы MEMS Pro и другие

Микроприборы

Перспективы современного приборостроения связаны с созданием приборов, обладающих малыми массой, габаритными размерами, энергопотреблением и себестоимостью при безусловном выполнении целевой функции с заданной точностью.

С 60-х годов XX столетия начались научно-технические разработки в области миниатюрных датчиков и исполнительных устройств различного назначения на базе кремния - основного материала микроэлектроники. К настоящему времени перечень применяемых материалов значительно расширился, но основным остается кремний. Единство материала и технологии микроэлектроники позволило создавать миниатюрные конструкции на одном кристалле, объединяющем чувствительные элементы, преобразующие и электронные компоненты, которые принято называть микроэлектромеханическими системами (МЭМС).

МЭМС - это система не только конструкций, но и технологических процессов (технологий), используемых для создания миниатюрных устройств. МЭМС определяет одно из перспективных направлений развития приборостроения XXI века, которое влечет за собой коренное изменение промышленных и потребительских изделий с беспрецедентным диапазоном применения.

Наряду с термином "МЭМС", появившимся в США, в Европе бытует термин "микросистемная техника", а в Японии - "микромашин". В отечественной научно-технической литературе для обозначения микросистем, в составе чувствительных и (или) исполнительных устройств которых имеются механически подвижные элементы, применяется термин "микромеханические приборы". Отличительным признаком этих приборов является их применение в области измерения механических величин.

Измерение давления лежит в основе работы многих приборов: датчиков давления в различных магистралях (топливных, масляных, водяных и др.), датчиков внутривенного и артериального давления, высотомеров, вариометров, датчиков воздушной скорости и др. Акселерометры и гироскопы относятся к классу инерциальных датчиков, диапазон применения которых весьма широк: от подушек безопасности и антиблокировочных автомобильных устройств до интегрированных со спутниковыми навигационными системами малогабаритных инерциальных навигационных систем, обеспечивающих определение параметров ориентации и координат летательных аппаратов, надводных и подводных аппаратов, наземных транспортных средств, роботов и др.

В отечественной литературе принята следующая иерархия (по восходящей) определений: датчик - прибор - система.

Измерительный датчик - устройство, которое вырабатывает информацию об изменении измеряемой физической величины, как правило в виде электрического сигнала. Устройство, вырабатывающее силу (момент), называется датчиком силы (момента) и может входить в состав измерительного датчика. В иностранной, а теперь и в отечественной литературе устройство, которое преобразует электрический сигнал в движение, именуется актюатором. Актюатор может создать силу (момент), чтобы исполнить некоторую полезную функцию. Таким образом, датчик силы (момента) и актюатор - синонимы.

Процесс выработки информации или силы (момента) представляет собой преобразование одной формы сигнала или энергии в другую, осуществляемое преобразователями. Таким образом, датчик состоит из преобразователей, образующих измерительную или (и) силовую цепи. В то же время и сам датчик можно рассматривать и определять как преобразователь. Измерительным прибором обычно называют устройство, которое помимо функции измерения может исполнять (все или частично) функции регистрации, отображения, хранения, передачи информации об измеренной физической величине. Современная схемотехника и элементная база наделяют датчики возможностями, переводящими их в понятие "приборы". По сути, измерительный датчик и измерительный прибор, вырабатывающие информацию об измерении одной и той же физической величины и имеющие одинаковые функциональные возможности, являются понятиями-синонимами. Поэтому вполне допустимо называть приборы для измерения: давления - датчиками давления, влажности (гигрометры) - датчиками влажности, температуры (термометры) - датчиками температуры, ускорений (акселерометры) - датчиками ускорения, угловых перемещений в инерциальном пространстве (гироскопы) — гироскопическими датчиками углов и т.д.

В единую конструкцию могут быть объединены несколько измерительных датчиков, например температуры, влажности, давления. Очевидно, что название такой конструкции должно начинаться со слова "прибор".

Понятие "система" может относиться не только к совокупности приборов (датчиков), не связанных либо объединенных между собой информационными каналами, но и к совокупности отдельных компонентов, имеющих различную физическую природу (механическую, электронную и пр.), однако вместе выполняющих единую функциональную (измерительную) задачу. Таким образом, с позиций объединения (интегрирования) разнородных компонентов любой измерительный прибор (датчик) является системой.

Рассмотрим определения, относящиеся к микроприборам (микродатчикам), первые исследования по которым были начаты в США; там же возникла аббревиатура МЭМС - микроэлектромеханические системы.

МЭМС - это интегрированные системы с размерами от нескольких микрометров до миллиметров, которые объединяют в себе механические и электрические электронные компоненты.

МЭМС состоит из механических микроструктур, микродатчиков, микроактуаторов и микроэлектроники, объединяемых на одном кремниевом чипе. Изготовление микроструктур возможно также из других материалов.

Микродатчики обнаруживают изменения в окружающей систему среде, измеряя механические, тепловые, магнитные, химические или электромагнитные величины.

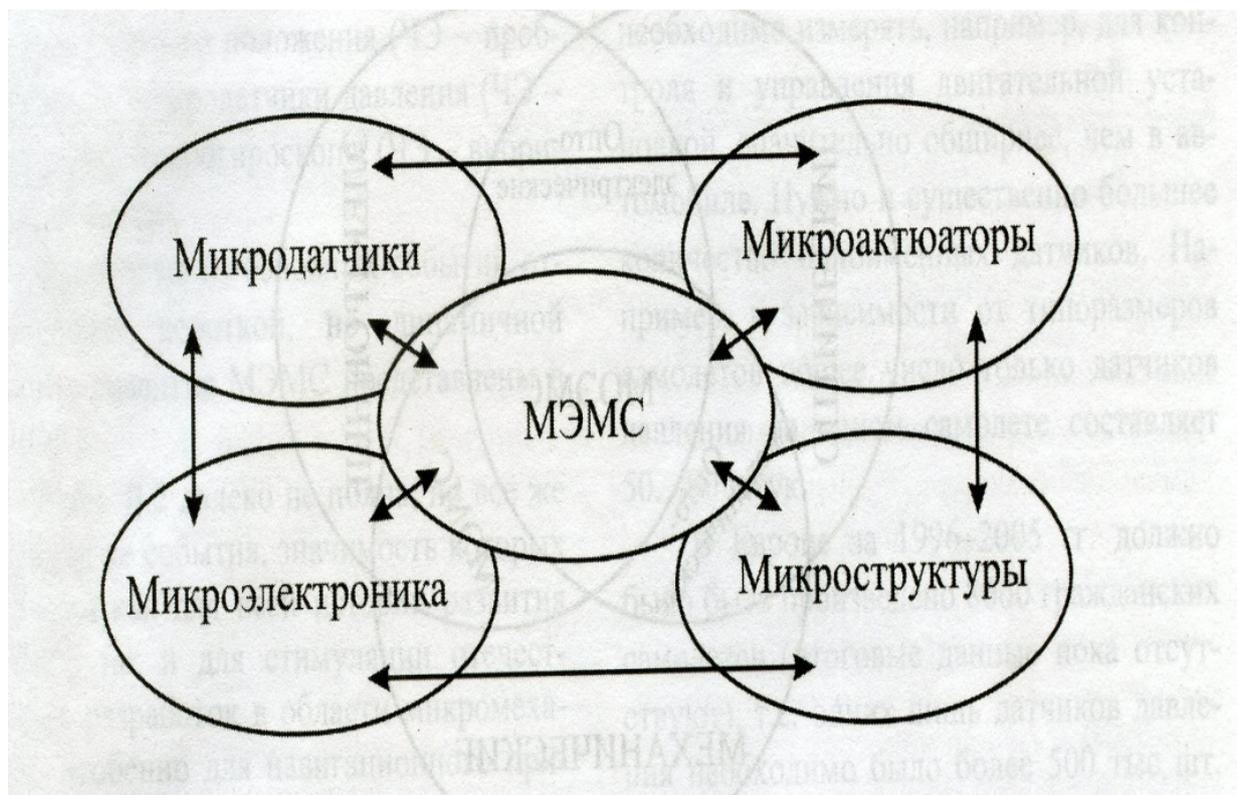


Рис. 9.6.1. Структура МЭМС

Микроэлектроника обрабатывает эту информацию и сигнализирует микроактюаторам, чтобы они создали некоторую форму изменений по отношению к окружающей среде либо в самой системе.

В то время как электронные (электрические) устройства изготавливаются по технологии интегральных схем (ИС), механические компоненты для изготовления требуют сложных манипуляций с кремнием и другими подложками, в том числе микромеханической обработки. Если ИС предназначены для эксплуатации электрических свойств кремния, то в МЭМС используются или механические свойства кремния, или его электрические и механические свойства.

МЭМС - это не столько миниатюрные микросистемы, сколько промышленная технология. Комбинации компонентов электроники, механики и оптики позволяют создавать МЭМС, оптомеханические и оптоэлектрические микросхемы, а также микрооптоэлектромеханические системы (МОЭМС), которые формируют новые области технологии.

Существуют значительные совпадения, но имеются и различия в терминах, относящихся к областям технологии и применения. В отечественной литературе, например, аббревиатура МСТ расшифровывается как "микросистемная техника". Для микросистем различного применения широко используется термин "интегральные датчики". Общим термином для микросистем различного применения является "преобразователь", совокупность которых, объединенных в измерительные цепи, образует измерительные микроприборы, относящиеся к подмножеству МЭМС. Микроприбор (микродатчик) может использоваться в различных энергетических областях, которые характеризуются определенными физическими величинами. Можно выделить группы

микроприборов (микродатчиков) для измерения механических, тепловых и т.д. величин. Элемент (компонент микроструктуры), реагирующий на изменение измеряемой физической величины, можно определить как первичный преобразователь, или чувствительный элемент (ЧЭ). Можно выделить три группы ЧЭ: механические, электронные и оптические - и определить микроприборы (микродатчики, интегральные датчики), выполненные по технологиям МЭМС, как микромеханические, микроэлектронные или микрооптические приборы. Существенным в этих определениях является принадлежность ЧЭ к одной из энергетических областей.

Таким образом, микромеханические приборы - это микроструктуры с сервисной электроникой, выполненные по технологии МЭМС с механически подвижным ЧЭ. К микромеханическим приборам относятся: микроакселерометры, включая датчики углового положения (ЧЭ - пробная масса); микродатчики давления (ЧЭ - мембрана); микрогироскопы (ЧЭ - вибрирующая масса).

Некоторые из областей использования микромеханических приборов (микроакселерометров - МА, микрогироскопов - МГ и микродатчиков давления -МДД) приведены в нижеприведенной таблице.

Из-за высокой интеграции и междисциплинарной природы МЭМС трудно отделить проектирование устройства от его изготовления. Следовательно, высокий уровень знания производства необходим для проектирования МЭМС-устройства. Кроме того, значительные время и средства затрачиваются на создание опытного образца. Поскольку успешная разработка устройства требует физического и имитационного моделирования, важно, чтобы МЭМС-проектировщики имели доступ к соответствующим аналитическим инструментам. Поэтому более мощные инструменты имитационного и физического моделирования необходимы для точного прогнозирования поведения МЭМС-устройства.

Областей использования микромеханических приборов

Отрасль	Область применения
Медицина	1. Оперативные и имплантируемые МДД. 2. Электрокардиостимуляторы с встроенными МА. 3. Интеллектуальные системы протезирования с функциями контроля (МА и МГ) за пространственным положением и перемещением исполнительных органов. 4. "Сенсорная" перчатка (пять МА на кончиках пальцев перчатки и один МА с обратной стороны руки) с программой обработки данных, позволяющая контролировать положение руки и каждого пальца
Энергетика	1. Системы контроля давления, расхода (МДД) и температуры теплоносителей и хладагентов. 2. Системы контроля за допустимыми уровнями вибрации и сейсмической активности на базе МА (особенно актуально для атомной энергетики). 3. Технологические роботы в атомной энергетике. Контроль за положением и скоростями перемещаемых объектов (МА и МГ), а также самодиагностика систем управления робота
Нефтяная и газовая промышленность	1. Навигационное обеспечение (МА и МГ, комплексированные с другими источниками информации) инклинометрии (контроль и управление бурением глубоких и сверхглубоких скважин; каротаж скважин). 2. Навигационное обеспечение систем контроля за состоянием геометрии трубопроводов на больших, в том числе трансконтинентальных расстояниях. 3. МДД и расходомеры на их основе, работающие в агрессивных средах 4. Вибродиагностика на базе МА состояния компрессоров на станциях перекачки нефтепродуктов
Автомобилестроение	1. Системы навигации на базе МА и МГ, комплексированных с другими источниками информации. 2. Системы безопасности на базе МА и МГ, исключающие занос автомобиля при торможении и обеспечивающие срабатывание подушек безопасности. 3. Контроль давления (МДД) в системах: топливной, смазочной, кондиционирования, в "интеллектуальных" шинах
Оборона	1. Системы пешеходной навигации (МА и МГ, комплексированные с другими источниками информации). 2. Системы навигации и стабилизации беспилотных управляемых малоразмерных летательных аппаратов на базе МА, МГ и МДД (высотометров и датчиков скорости на их базе) и магнитных указателей курса (разведка, постановка электронных помех). 3. Системы управления и навигации боевыми наземными и подводными роботами. 4. Системы управления боеприпасами на базе МА и МГ, комплексированных с другими датчиками

Магистранты кафедры Воробьев А.С., Смирнов П.В. и Захаров А.В. работая по НИР в «ОАО Авангард» выполняют разработку технологического процесса изготовления микроприборов. Примерные габариты устройств можно оценить по нижеприведенному рисунку.

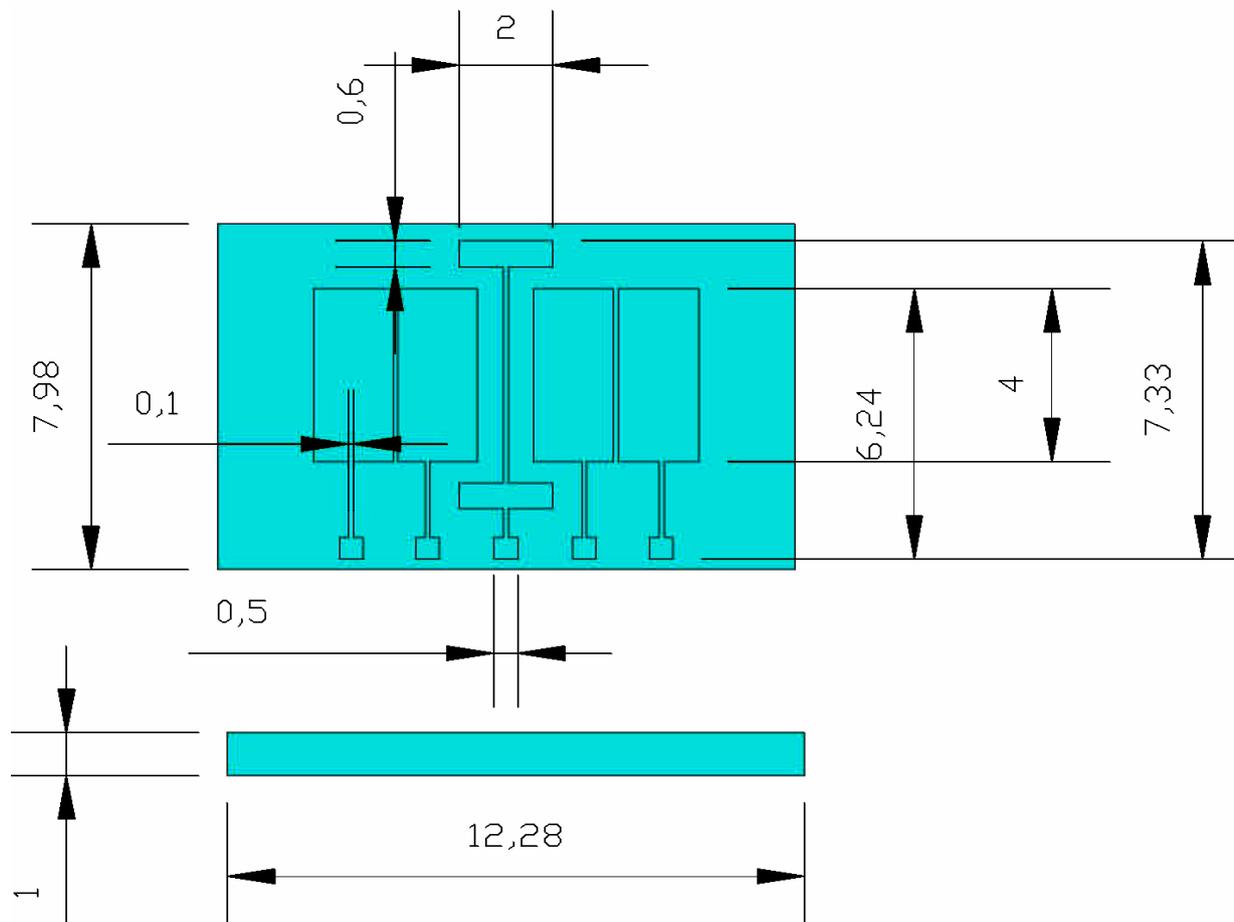


Рис. 9.6.2. Элемент микроприбора

Интеллектуальные материалы и конструкции приборов

Интеллектуальные материалы и конструкции приборов из таких материалов появляются на рынке приборов и все шире применяются в промышленности. «Интеллектуальный» — это слово часто можно услышать в рекламе новых товаров. Но зачастую данный термин используют в рекламных целях, неверно называя «интеллектуальным» любое сложное высокотехнологичное изделие.

Устройство является действительно интеллектуальным, лишь если оно способно реагировать на изменение внешних условий. Под изменением внешних условий мы понимаем изменение природных условий, условий эксплуатации или, скажем, перемещение конструкции в пространстве. А реакцией является изменение функциональных характеристик устройства.

Устройства, «чувствующие» внешние условия и способные изменять свои характеристики, имеют множество преимуществ по сравнению с обычными устройствами: они эффективнее, медленнее изнашиваются и имеют меньшие эксплуатационные затраты. Область применения интеллектуальных изделий поистине безгранична. Они разрабатываются по-разному, но проектировщик обязательно сталкивается с одной и той же проблемой — как «научить» изделие реагировать, не слишком усложняя

конструкцию и не увеличивая ее стоимость. Для решения этой задачи приходится применять методы нескольких смежных наук.

Интеллектуальное изделие должно иметь систему измерительных датчиков (сенсоров) и механических приводов (преобразователей), реагирующих в зависимости от полученных данных. При этом действия системы могут быть весьма сложными. Если есть несколько вариантов реакции, структура должна выбрать наиболее эффективный способ реагирования. Поэтому во многих системах используются достаточно сложные способы проверки и обработки получаемого сигнала.

Датчики (сенсоры) измеряют деформацию, температуру или напряжение в разных точках изделия. Измерительная система должна быть не слишком сложной; ее необходимо связать с системой обработки данных, не нарушая при этом целостности структуры.

Снижение веса, что особенно актуально для космической техники, сопровождается увеличением амплитуды колебаний. Были случаи, когда спутники выходили из строя из-за колебаний, возникавших вследствие тепловых нагрузок. Эту проблему можно решить, вводя в структуру датчики и механические преобразователи (обычно пьезоэлектрические).

Обработка данных имеет огромное значение при создании и эксплуатации интеллектуальных структур. Датчики могут дать обширную информацию о системе, но эти данные бесполезны, если нет алгоритма выделения действительно необходимой информации.

Существует два типа сплавов с эффектом памяти формы: одни способны к большой обратимой деформации при неизменной температуре (эффект сверхэластичности), другие восстанавливают свою форму при увеличении температуры (эффект тепловой памяти формы). Открытие сплава, названного нитинолом, в 1960-х годах вызвало большой интерес к таким материалам. В последующие годы область применений сплавов с этим необычным свойством сильно расширилась. Как правило, материалы с памятью формы используются в качестве механических приводов. Иногда они преобразуют тепловую энергию в движение или механическую работу.

Природные пьезоэлектрические кристаллы (такие как диоксид кремния) известны уже более ста лет. Они имеют большую жесткость и могут использоваться при высоких рабочих частотах. Благодаря прямому пьезоэлектрическому эффекту они успешно применяются в качестве тензодатчиков.

Позже появились искусственные керамические пьезоэлектрики; их используют как механические преобразователи. При этом обычно применяется обратный пьезоэлектрический эффект, состоящий в изменении размеров при приложении электрического поля. Возникающая в таких керамиках сила очень велика, а характерное время реагирования мало. Их недостатком является малая величина смещения.

Интерес к магнестрикционным материалам появился сразу после открытия эффекта магнитоупругости — изменения формы и размеров тела при намагничивании — в редкоземельных элементах тербии (Ть), самарии (8т) и диспрозии (Оу). Сначала их недостатком считалась малая величина эффекта. Интерес к ним усилился после открытия компаунда, известного как терфенол и обладающего сильным магнестрикционным эффектом. Этот компаунд обладает огромным потенциалом использования в различных изделиях.

Интеллектуальные структуры реагируют на внешнее воздействие благодаря способности изменять свое движение «по команде» электрического сигнала, не меняя при этом конфигурацию аппаратуры. Аналогично источникам электрического напряжения, величина которого зависит от продолжительности импульса на входе, умный механизм должен вызывать появление сил, скоростей и (что наиболее важно) смещений. Необходимость получения больших ускорений и смещений, сопровождаемых значительным выделением тепла, ограничивает возможности интеллектуальных материалов.

Интеллектуальные конструкции могут иметь различный вид. К ним относятся и самонаводящиеся бомбы, и ткацкий станок, производящий ткани с изменяющимся рисунком (без его остановки), и приборы, оперирующие материалами различной формы. Управление интеллектуальной структурой может осуществляться электромагнитными, гидравлическими или пьезоэлектрическими силами.

Имплантация материала в биологическую ткань обычно вызывает реакцию отторжения. Если не проявлять особую осторожность при выборе материала и технологии его производства, имплантант может быть чрезвычайно опасен для организма. Защитные свойства организма ориентированы на выявление и реагирование на инородные тела. Хорошо, если инородным телом является бактерия, которая окружается и уничтожается, но плохо, если это искусственный медицинский имплантат. Реакция организма на инородное тело зависит от особенностей материала и места его имплантации. Она может состоять в отторжении, капсулировании, свертывании крови и т.д. Рассмотрены способы избежать такую реакцию организма. Описаны последние достижения в разработке имплантируемых материалов, помогающих выращиванию новых тканей или вживлению имплантированного материала. Такие материалы особенно актуальны при заживлении ожогов и восстановлении нервных окончаний.

Окружающий нас биологический мир содержит огромное количество готовых решений самых разных задач. Работа биолога, видящего такое решение, зачастую состоит в выяснении, какой же была задача. Если по имеющемуся ответу удалось установить заданный Природой вопрос и выяснить способы оптимизации ответа на него, найденные ею решения можно применить и к техническим задачам. Использование в интеллектуальных системах идей, основанных на изучении биологических объектов, требует отхода от традиционных методов проектирования.

Прежде всего, интеллектуальная структура должна получить информацию. Возможно, дальнейшее развитие сенсорных систем будет ориентировано не на использование компьютеров, а на копирование принципов действия биологических объектов.

Сейчас трудно или даже невозможно определить, какое направление развития будет преобладать. Однако, независимо от особенностей конкретной контролируемой структуры, датчики желательны рассматривать как ее составную часть, а не дополнение к ней. Комплексный подход важен при проектировании любой структуры, будь то интеллектуальный трикотажный костюм или подвесной мост. При этом считывание информации, принятие решения и действия должны подчиняться некоторому набору простых эксплуатационных критериев.

MEMS Pro

MEMS Pro v6.0 -гибкий, мощный, легкий в использовании CAD набор инструментов для проектирования и анализа микро-электро-механических систем (MEMS). Она предлагает интегрированные решения в процессе проектирования, что значительно сокращает время разработки, обеспечивая дизайнеров надежный анализ для производства. Функциональные возможности включают в себя смешанные MEMS/IC схема захвата и моделирования, полная пользовательская маска обстановка возможности и проверки, 3D модели поколения и визуализации, модели поведения, создание и ссылки на 3D-пакеты анализа.

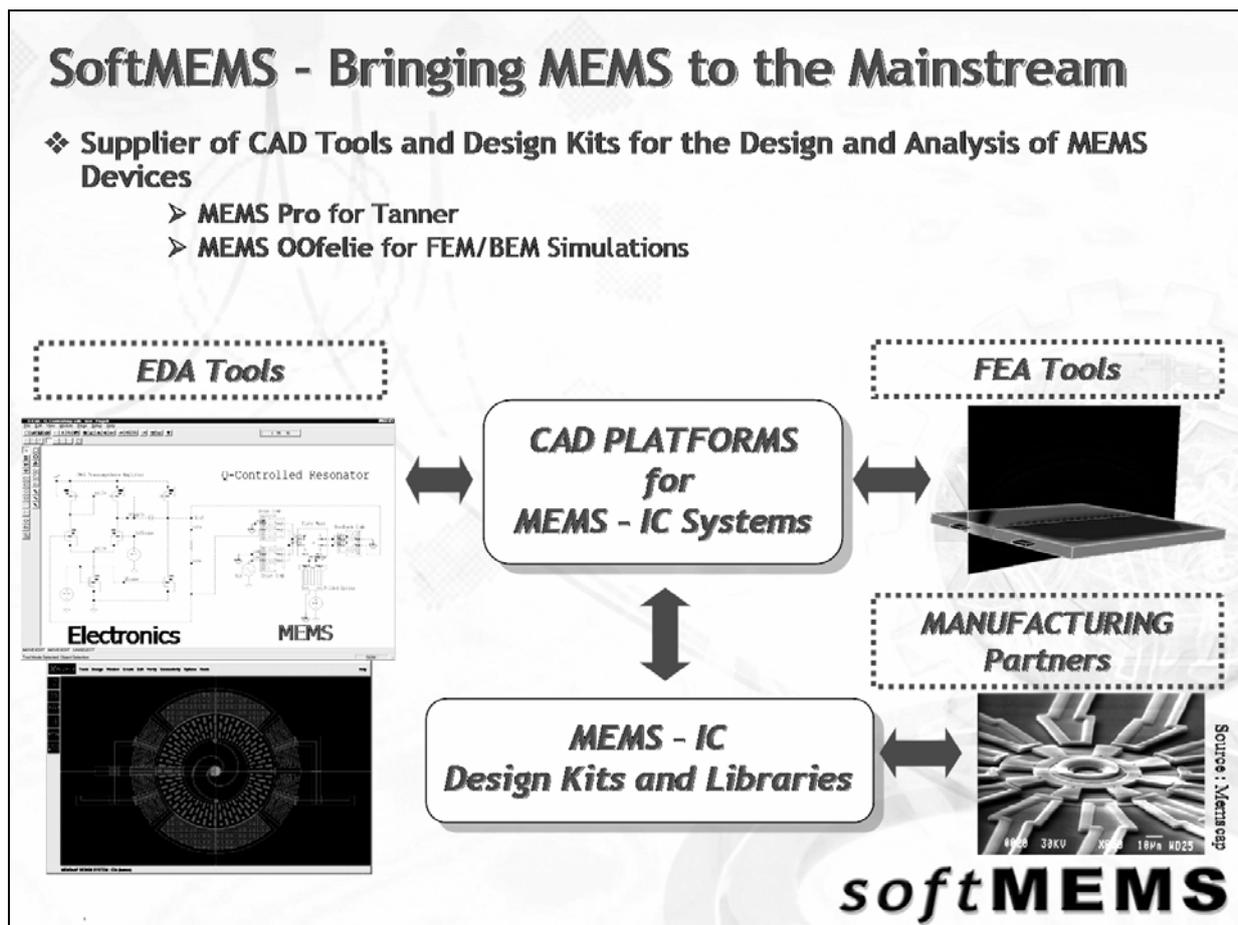


Рис. 9.6.3. Возможности MEMS Pro

На уровне системы Инструменты: MEMS Pro v6.0 обеспечивает системного уровня проектирования, благодаря полностью иерархической схеме захвата и поведенческих уровне моделирования MEMS устройств с электроника и упаковки. MEMS устройств представлены с multi-физики сигналы в механических, тепловых, магнитных, жидкого, оптический, и электро-статического доменов. MEMS модели представлены в высокий уровень поведенческих языков, SPICE, C-код, или таблицы данных. Моделирование режимов включает AC, DC точки, DC передачи развертки, Фурье, Шум, Переходные, передаточные функции, и Parametric Sweep. Кроме Того, мощные алгоритмы оптимизации определить устройство или параметров процесса, что позволит оптимизировать MEMS дизайн производительности. Статистический анализ позволяет дизайнеры, чтобы имитировать процесс углы, запустите Монте-Карло с статистические

распределения процесса и геометрические параметры, создать ответ моделей поверхности, а также выполнять анализ чувствительности, чтобы понять, что геометрических и технологических параметров наибольшее влияние производительность устройства и оценка доходности.

MEMS Pro v6.0 позволяет легко создавать и модифицировать схемы, и генерирует netlists для моделирования, оптимизации, статистический анализ, и обстановка проверка объединение MEMS и проектирования ис. Библиотеку компонентов включает символы и параметризованные модели поведения для различных MEMS-компонентов. Интегрированная среда моделирования позволяет пользователям датчик сигналов процентов по схеме и результаты моделирования и сигналы отображаются. Пользователи также могут легко выполнять сигнала арифметические действия и вычисления.

Моделирование Инструменты: MEMS Modeler автоматически формирует поведенческие модели готова для моделирования системы с электроника и упаковки от 3D-данные из анализа пакетов. Комплекс, конечно-элементных моделей, включающих большое количество степеней свободы уменьшаются в несколько мастер-степеней свободы. Пользователи могут также создавать свои модели из аналитических уравнений и инструмент генерирует моделирование-готово описания в различных популярных форматах.

Макет Редактирование: MEMS Pro v6.0's физическая среда разработки включает в себя полностью иерархической и полное пользовательские редактор разработан для MEMS и проектирования ис. Программа использует интуитивно понятный интерфейс и обеспечивает конкретные MEMS потенциала в области, что значительно уменьшить макет время. Он предоставляет все угол поддержки. Кривой генератор позволяет дизайнерам создавать MEMS примитивов, таких как тории, сплайнов, филе и общего уравнения основе кривых. В EasyMEMS инструмент помогает автоматизировать задачи, которые требуют много времени для создания MEMS маска обстановка такие, как создание полярного массивы. Полезные макросы включают поколения отверстия и ямочками на щеках, чтобы правильно релиз MEMS-структур. - мощный интерфейс включен для автоматизации, настройка и расширение layout editor команды и настройки функций, С помощью язык. Популярные форматы поддерживаются, поэтому маска конструкций "литейный завод готов".

MEMS Проверки обеспечивает настраиваемый дизайн правила проверки, проверяющий MEMS обстановка против изготовления требования, чтобы избежать дорогостоящих ошибок проектирования, вызывая дополнительные изготовление работает и обеспечивает технологичность. Кроме того, приложения и устройства контекстно-зависимая правило проверка включена. Прибор генерирует соединений SPICE от MEMS обстановка в том числе MEMS устройств, их параметры и multi-domain связь. LVS (Верстка против Схема) инструмент принимает извлеченные данные и сравнивает ее с пряностями из списка соединений схема редактор, чтобы убедиться, что маска обстановка захватывает дизайнера намерениях.

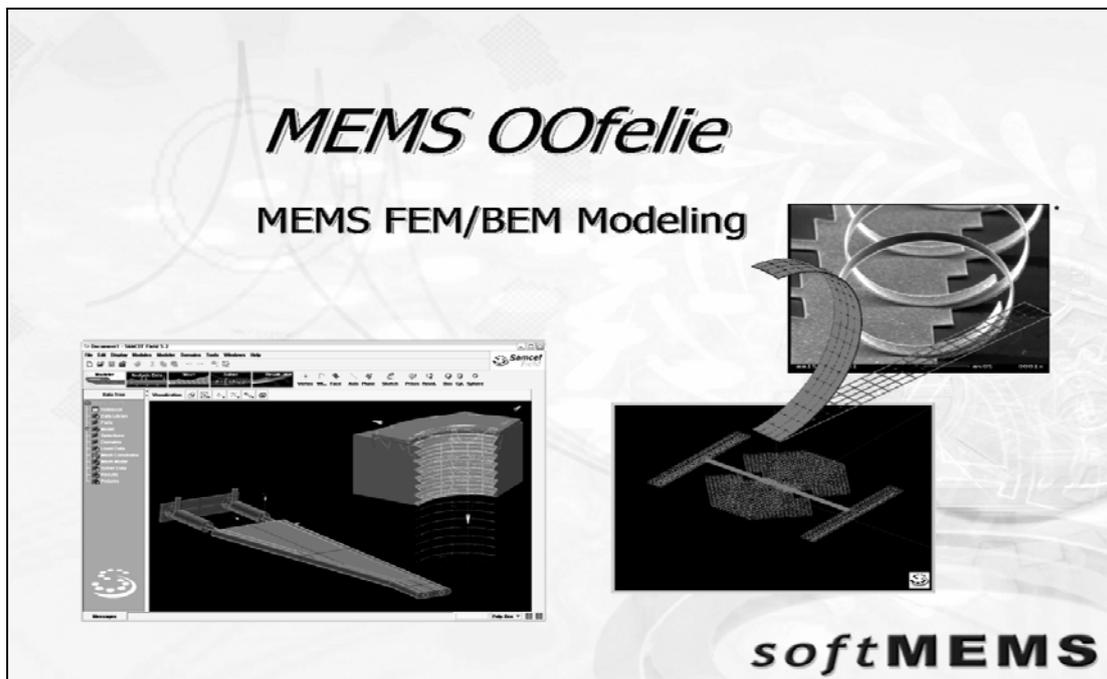


Рис. 9.6.4. Демонстрация MEMS

В 3D Твердых Modeler создает 3D вид MEMS устройств с макет устройства и изготовление описание процесса. Простой в использовании ГРАФИЧЕСКИЙ интерфейс позволяет дизайнерам для ввода изготовления шага процесса и последовательности. Поверхностной и объемной micromachining процесс действия, такие как материал, депозит, травления, механической польский, диффузии, рост, гальванических и вафельных шагов работы поддерживаются. 3D модели могут быть расширены и подмножество маски слоя могут быть выбраны для просмотра. Модели могут быть просмотрены с повороты, масштабирование, и заданных мнения. В Крест Раздел Просмотра отображает вид в разрезе в z-измерение на основе указанных пользователем линии реза. Как MEMS по своей сути 3D структуры использования этих инструментов необходимо понимать, в результате сфабрикованным устройства в 3D размеры. 3D-Макета преобразует 3D твердотельных моделей в 2D маска макеты использованием указанных пользователем изготовления процесс описания, возможность захвата устройства маска модификаций сделано в 3D анализа программ.

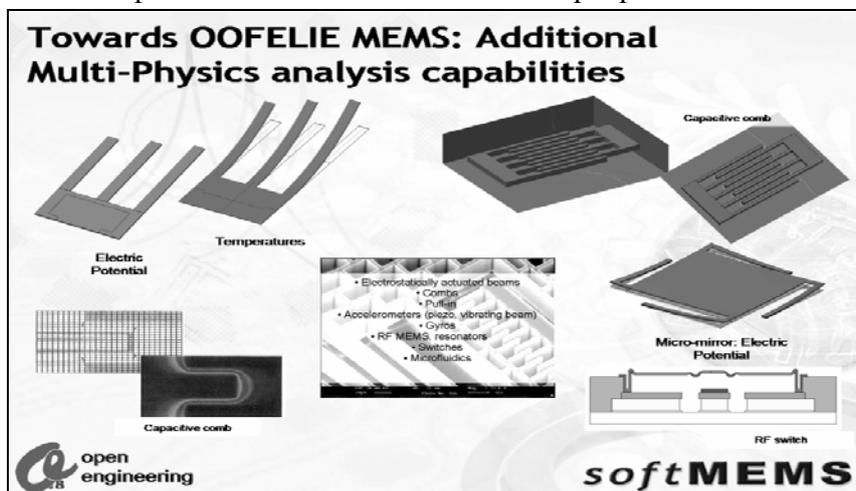


Рис. 9.6.5. Работа MEMS

Список литературы

1. Сабунин А.Е. Altium desiner: новое поколение в проектировании электронных устройств. Издательство:Солон-пресс, 2009, 432с.
2. Медведев А.И. Печатные платы. Конструкции и материалы. Серия «мир электроники», Изд-во ФИЗМАТЛИТ, 2005.
3. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. Учебник для вузов. Под общ. Ред. В. А. Шахнова. М. Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005, 568с.
4. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств. Под ред. Мироненко И.Г. Изд-во Академия, 2007,368с.
5. Тупик В.А. Технология и организация производства радиоэлектрон-ной аппаратуры: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004.144 с.
6. Сускин В.В. Основы технологии поверхностного монтажа. – Рязань, Изд-во Узоречье, 2001.- 160с.
7. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие.- М.: Машиностроение, 2007. – 400с.
8. К.Улрден. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. –М. Техносфера, 2006. -224с.
9. Соболев С.Ф. Разработка технологических процессов сборки приборов оптоэлектромехатроники. Учебное пособие. - Л.: ЛИТМО, 1992, с. 71.
10. Соболев С.Ф. Технология электромонтажа. – СПб СПбГУ ИТМО – 2008 – 76с.
11. Соболев С.Ф., Федосов Ю.В. Компьютерные технологии производства электронных блоков приборов - СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. - 86 с.
12. Соболев С.Ф., Синицов М.А. Выбор оборудования электромонтажа поверхностным методом с использованием Интернет.-СПб: СПбГУ ИТМО, 2011.-21с.
13. Соболев С.Ф. Методические указания по выполнению лабораторных работ поверхностного монтажа. - СПб СПбГУ ИТМО – 2009. – 72с.
14. Соболев С.Ф. Разработка технологии электромонтажа с применением Интернет. Журнал «Технологии в электронной промышленности», 2011, №2.
15. Соболев С.Ф., Ряскин А. С. Метод анализа иерархий при выборе программного обеспечения проектирования и производства электронных схем. Журнал «Технологии в электронной промышленности», 2012, №2.
16. Соболев С.Ф., Власенко А. Выбор программного обеспечения для разработки устройств на основе печатных плат. Журнал «Технологии в электронной промышленности», 2010, №8.

Internet – источники

1. Сайт журнала "Силовая Электроника" www.power-e.ru
2. Сайт журнала "Технологии в Электронной промышленности" www.tech-e.ru
3. Сайт журнала "Компоненты и Технологии" www.kit-e.ru
4. Сайт журнала "Беспроводные Технологии" www.wireless-e.ru
5. Сайт журнала "Полупроводниковая Светотехника" www.led-e.ru

Список контрольных вопросов

1. Методы проектирования технологических процессов электронных приборов.
2. Технологии электромонтажа.
3. Объемный монтаж.
4. Поверхностный монтаж.
5. Наплавляемый, внутренний монтаж.
6. Новые технологии электромонтажа.
7. Единство технологии и программного обеспечения.
8. Существующие системы проектирования плат печатного монтажа.
9. Свободное программное обеспечение.
10. Программное обеспечение при выполнении электромонтажа объемными проводами.
11. Метод анализа иерархий при выборе программного обеспечения.
12. Основные требования к качеству ППМ – разводка, расчет толщины и т.п.
13. График ТПП электронных приборов.
14. Назначение систем PADS и Expedition.
15. Задачи, решаемые в системах PADS и Expedition.
16. Назначение систем Altium designer и Nano Board.
17. Задачи, решаемые в системах Altium designer и Nano Board.
18. Приборы микросистемотехники.
19. Интеллектуальные материалы, конструкции и технология их изготовления.
20. Перспективы развития САПР ТП.

Список частей для учебного пособия
«Интеллектуальные программные комплексы для технической и
технологической подготовки производства»

- Часть 1. Проектирования подсистем ТПП
- Часть 2. Системы управления жизненным циклом приборов, систем и технологий
- Часть 3. Системы проектирования оптико-механических приборов
- Часть 4. Системы конструирования деталей, заготовок и сборочных единиц
- Часть 5. Системы инженерного расчета и анализа деталей и сборочных единиц.
- Часть 6. Системы анализа и моделирования технологической подготовки производства
- Часть 7. Системы проектирования технологических процессов
- Часть 8. Системы проектирования технологической оснастки
- Часть 9. Системы проектирования технологических процессов электронных приборов



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором А.П. Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С.П. Митрофановым были разработаны научные основы группового производства, за что он был удостоен Ленинской премии СССР. Методы группового производства с успехом применяются в промышленности и постоянно развиваются его учениками. Заслуженным изобретателем Российской Федерации Юрием Григорьевичем Шнейдером разработаны метод и инструментарий нанесения регулярного микрорельефа на функциональной поверхности.

В настоящее время кафедра осуществляет выпуск специалистов по специальностям "Технология приборостроения" (инженер-технолог, инженер-технолог-менеджер, инженер-технолог по искусственному интеллекту в приборостроении) и "Системы автоматизированного проектирования" (инженер-системотехник). На кафедре ведется подготовка бакалавров, магистров, инженеров и аспирантов по названным специализациям силами семи профессоров и девяти доцентов.

Дмитрий Дмитриевич Куликов
Соболев Сергей Федорович

**Интеллектуальные программные комплексы для технической и
технологической подготовки производства
Часть 9. Системы проектирования
технологических процессов электронных приборов**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Дизайн

Верстка

Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского
государственного университета информационных технологий,
механики и оптики

Зав. РИО

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати 10.04.12

Заказ № 2468

Тираж 50шт.

Отпечатано на ризографе

Сагидуллин А. С.

Сагидуллин А. С.

Н.Ф. Гусарова