

**СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ
(E-CAD / EDA-СИСТЕМЫ)**

Учебное пособие

Министерство образования и науки Российской Федерации
Балтийский государственный технический университет «Военмех»
Кафедра радиоэлектронных систем управления

СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ
(E-CAD / EDA-СИСТЕМЫ)

Учебное пособие

Под редакцией Ю.В. Петрова

Санкт-Петербург
2015

Авторы: *Ю.В. Петров*, канд. техн. наук, доц.; *С.Н. Аникин*, канд. техн. наук; *В.А. Рогожин*, канд. техн. наук; *А.Н. Бызов*, асп.; *С.Ю. Быстров*, асп.; *Н.Ю. Петров*, асп.

УДК 621.38(075.8)
С40

С40 **Системы** автоматизированного проектирования электронных устройств и систем (E-CAD/EDA-системы): учебное пособие / Под ред. Ю.В. Петрова; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2015. – 64 с.
ISBN 978-5-85546-900-4

Приведены общие сведения о системах автоматизированного проектирования электронных устройств и систем, сделан краткий обзор наиболее распространённых в Северо-Западном регионе России САПР, предназначенных для моделирования работы электронных устройств и систем на различных уровнях, проектирования печатных плат и их последующего анализа, подготовки производства. Даны сведения о ряде специализированных систем.

Предназначено для студентов, обучающихся по программам подготовки специалистов, бакалавров и магистров, при изучении дисциплин, посвященных проектированию электронных устройств и систем.

УДК 621.38(075.8)

Р е ц е н з е н т канд. техн. наук, проф. каф. И2 БГТУ *С.А. Бабаев*

*Утверждено
редакционно-издательским
советом университета*

ISBN 978-5-85546-900-4

© БГТУ, 2015
© Авторы, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Среди современных информационных технологий автоматизация проектирования занимает особое место. Во-первых, это синтетическая дисциплина, составными частями которой являются многие другие современные информационные технологии. Так, техническое обеспечение систем автоматизированного проектирования (САПР) основано на использовании вычислительных сетей и телекоммуникационных технологий, в САПР используются персональные компьютеры (ПК) и рабочие станции. Математическое обеспечение САПР отличается богатством и разнообразием используемых методов вычислительной математики, статистики, математического программирования, дискретной математики, искусственного интеллекта. Программные комплексы САПР относятся к числу наиболее сложных современных программных систем, основанных на операционных системах Unix, Windows NT, языках программирования C, C++, Java и других современных CASE-технологиях, реляционных и объектно-ориентированных системах управления базами данных, стандартах открытых систем и обмена данными в компьютерных средах. Во-вторых, знание основ автоматизации проектирования и умение работать со средствами САПР требуется практически любому инженеру-разработчику. Предприятия, ведущие разработки без САПР или с малой степенью их использования, оказываются неконкурентоспособными вследствие больших материальных и временных затрат на проектирование и невысокого качества проектов.

В результате автоматизация проектирования стала необходимой составной частью подготовки инженеров разных специальностей. Не владея знаниями и умением работать в САПР, нельзя считаться полноценным специалистом.

В первом разделе приведены сведения об истории развития автоматизации проектирования, о видах обеспечения, классификация и основные черты современных САПР. В разделе 2 описаны две наиболее популярные в нашей стране программы документирования результатов проектирования: AutoCAD и «Компас». Раздел 3 посвящен программам моделирования, как на уровне структурных (или функциональных) схем, так и на уровне принципиальных схем электронных устройств. В самом большом разделе 4 речь идет о системах «сквозного» проектирования электронных устройств, представленных тремя крупнейшими разработчиками электронных САПР в мире, – фирмами Cadence, Altium и Mentor Graphics. Программы постобработки проектов электронных устройств и систем, о которых идет речь в разделе 5, включают в себя ряд программ анализа целостности сигналов, электромагнитной совместимости, теплового анализа и подготовки производства. Раздел 6 содержит сведения о специализированных САПР, таких как системы проектирования СВЧ- и антенных устройств, цифровых электронных устройств на программируемых логических интегральных схемах, виртуальных измерительных приборов.

Список обозначений и сокращений

АЦП – аналого-цифровой преобразователь,
ВЧ – высокочастотный,
ЕСКД – единая система конструкторской документации,
ИО – информационное обеспечение,
МО – математическое обеспечение,
ПК – персональный компьютер,
ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема,
ПО – программное обеспечение,
РЭС – радиоэлектронное средство,
САПР – система автоматизированного проектирования,
СБИС – сверхбольшая интегральная схема,
СВЧ – сверхвысокочастотный,
СПДС – система проектной документации для строительства,
ТО – техническое обеспечение,
ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь,
ЭВМ – электронная вычислительная машина,
ЭРИ – электрорадиоизделие,

CAD – Computer-Aided Design,
CAE – Computer-Aided Engineering,
CAM – Computer-Aided Manufacturing,
CDMA – Code Division Multiplex Access,
CIS – Component Interchange System,
DRC – Design Rule Checking,
DSP – Digital Signal Processor,
DVB – Digital Video Broadcasting,
ECAD – Electronic Computer-Aided Design,
EDA – Electronic Design Automation,
FPGA – Field Programmable Gate Array,
GPS – Global Positioning System,
GSM – Global System for Mobile Communication,
MCAD – Mechanical Computer-Aided Design.

1. ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

1.1. История развития автоматизации проектирования

Автоматизация проектирования зародилась в радиоэлектронной промышленности намного раньше, чем в области машиностроения. В машиностроительных САПР основными являются работы конструкторского характера, требующие использования высококачественных графических станций, но такие станции стали доступными лишь в 80-е годы XX века.

Что касается САПР цифровых автоматов и вычислительных машин, то первые результаты для их создания были получены уже в конце 1950-х годов. Эти результаты в значительной мере были предвосхищены трудами английского математика XIX века Джорджа Буля (1815-1864), заложившего основы математической логики; создателя математической теории информации Клода Шеннона, занимавшегося вопросами теории релейно-контактных схем; советского физика В.И. Шестакова, который одновременно с К. Шенноном (1938 г.) предложил применять математическую логику к синтезу логических схем. Разработка теории логического анализа и синтеза релейно-контактных, а позже и функциональных схем на основе аппарата математической логики в СССР в 1940-х годах была продолжена М.А. Гавриловым и далее С.В. Яблонским, В.М. Глушковым, Д.А. Поспеловым.

Работы по автоматизации проектирования вычислительных машин были направлены, во-первых, на проектирование функциональных и логических схем, во-вторых, на конструирование печатных плат и оформление конструкторской документации.

Одной из первых программ логического моделирования, применяющегося с конца 1950-х годов, была программа, о которой сообщили С. Крей и Р. Киш в 1956 г. в США. В 1965 г. американские разработчики САПР начинают использовать трехзначное логическое моделирование. В 1966 г. Дж. Рот разрабатывает d-алгоритм синтеза тестов для контроля и диагностики неисправностей в схемах. В 70-е годы разрабатывается концепция автоматизации проектирования цифровых систем с выделением уровней: системного, регистровых передач, логического и схемотехнического.

История САПР вычислительных машин в нашей стране тесно связана с такими организациями, как ИТМиВТ, НИИ автоматической аппаратуры, НИИ молекулярной электроники, ЦКБ «Алмаз», ведущими инженерными вузами. Еще в середине 1957 г. В.М. Глушков определяет направления стратегических исследований в области информатики, отнеся к ним разработку методов автоматизации проектирования электронных вычислительных машин (ЭВМ) и развитие методов автоматизации программирования. В 1964 г. И.Я. Ландау предложил язык моделирования логических схем «ФОРЭС». В 1965 г. Г.Г. Рябов в ИТМиВТ начал разработку САПР, позднее получившую название «Пульс», а Н.Я. Матюхин возглавил работы по автоматизации проектирования ЭВМ. В 1967 г. вопросами САПР ЭВМ начинает заниматься О.Н. Юрин, который в 70-е годы возглавляет разработку САПР ЕСАП (Единая система автоматизации проектирования) в НИЦЭВТе. В Киеве принципиальные вопросы автоматизации проектирования вычислительных машин разрабатывает В.М. Глушков с коллегами.

Историю развития САПР электронных устройств и систем можно условно разбить на несколько этапов.

Первый этап относится к первой половине 1960-х годов. Тогда были созданы первые программы для решения задач анализа электронных схем, проектирования печатных плат. В США первыми программами анализа нелинейных электронных схем были TAP, NET-1, разработанные в 1962-м и 1964-м г. соответственно, а также более известная программа ЕСАР. У истоков автоматизации проектирования в электронике стояли Ф. Брэнин, Д. Калахан, Р. Рорер и др. Первая в СССР программа анализа электронных схем раз-

работана в МВТУ им. Н.Э. Баумана И.П. Норенковым, сообщение о ней появилось в 1965 г. Это была программа ПАЭС для ЭВМ «Урал-2». В ней использовались более ранние работы по моделированию полупроводниковых приборов, выполненные Д. Эберсом и Д. Моллом в США, С.Е. Жорно в СССР. Американские ЭВМ в то время были более быстродействующими, но советские программы не уступали американским по времени решения задач за счет использования различных методов оптимизации вычислений.

Второй этап развития средств автоматизации проектирования (1970-е годы) характеризуется увеличением количества программного обеспечения (ПО), которое в те времена разрабатывалось в форме пакетов прикладных программ. Применение ЭВМ сводилось к решению частных задач проектирования, носивших главным образом расчетный характер. Для каждой задачи строилась ее математическая модель, выбирался численный метод и разрабатывался алгоритм решения. На основе алгоритма создавалась программа на одном из алгоритмических языков. Полученные от ЭВМ результаты подвергались необходимой обработке «вручную».

Третий этап (1980-е годы) связан с появлением первых ПК, что позволило увеличить количество как разработчиков САПР, так и их пользователей. Однако первые компьютеры были довольно дорогими, и это сдерживало массовое распространение средств автоматизации.

Прорывными оказались 90-е годы XX века (четвертый этап), характеризующиеся бурным развитием электронной промышленности в Юго-Восточной Азии. Это привело к значительному уменьшению стоимости памяти (как постоянной, так и оперативной), увеличению графических возможностей компьютеров. Компьютеры действительно стали персональными!

Однако при «позадачном» подходе к автоматизации они решали весьма ограниченный круг вопросов, не соответствующий их потенциальным возможностям, отсутствовало взаимодействие разработчиков с ПК, не учитывалась сильная взаимосвязь между различными этапами и уровнями проектирования. Так, этап конструкторского проектирования часто сводился к решению задач, оторванных от электрической природы аппаратуры и ее функционирования. С другой стороны, схмотехнический этап во многих случаях не учитывал конструкторско-технологические, эксплуатационные и экономические факторы. В результате этого разрыва спроектированная аппаратура по эффективности оказывалась далекой от оптимальной, хотя на оптимизацию затрачивались большие интеллектуальные и материальные средства. Все эти трудности и противоречия привели к необходимости решения задач автоматизации проектирования на основе системного подхода как в части его организации, так и в части аппаратных вычислительных средств и программ математического обеспечения. Это породило новый, пятый этап – этап создания систем автоматизированного проектирования (2000-е годы).

К настоящему времени создано большое количество САПР с различной степенью специализации и прикладной ориентацией. Быстродействие современных ПК позволяет решать такие задачи, которые в принципе недоступны для «ручных» методов расчета, дает возможность учесть значительно большее число факторов, влияющих на функционирование и производство электронных устройств и систем, резко увеличить число рассматриваемых вариантов при проектировании. С помощью ПК осуществляются анализ и синтез схем, их оптимизация, компоновка и размещение элементов конструкции электронных устройств, находятся оптимальные варианты электрического соединения элементов (трассировки) и решаются многие другие сложные задачи. Широко используются автоматизированные средства подготовки технической документации.

Шестой этап развития средств автоматизации проектирования (2010-е годы) характеризуется переходом к методам коллективной разработки, развитием разнообразных сетевых технологий, возможностью комплексного решения общих задач проектирования, значительным усложнением программного, информационного и технического обеспечения САПР.

1.2. Определение САПР

САПР (система автоматизированного проектирования) – это организационно-техническая система, состоящая из совокупности комплекса средств автоматизации проектирования и коллектива специалистов подразделений проектной организации, выполняющая автоматизированное проектирование объекта, которое является результатом деятельности проектной организации.

Из этого определения следует, что САПР – это не средство автоматизации, а система деятельности людей по проектированию объектов. Поэтому автоматизация проектирования как научно-техническая дисциплина отличается от обычного использования ПК в процессах проектирования тем, что в ней рассматриваются вопросы построения системы, а не совокупность отдельных задач. Из определения САПР также следует, что целью ее функционирования является именно проектирование.

В целом для всех этапов проектирования изделий и технологии их изготовления можно выделить следующие основные виды типовых операций обработки информации:

- поиск и выбор из всевозможных источников нужной информации;
- анализ выбранной информации;

- выполнение расчетов;
- принятие проектных решений;
- оформление проектных решений в виде, удобном для дальнейшего использования.

Автоматизация перечисленных операций обработки информации и процессов управления ее использованием на всех стадиях проектирования составляет сущность функционирования современных САПР.

Проектирование без участия человека, т.е. *автоматическое проектирование*, в полном объеме – от формулировки технического задания до получения проектной документации – как творческий процесс невозможно и всегда будет иметь характер *автоматизированного проектирования* (с участием человека). Хотя отдельные его этапы (расчет, анализ, оптимизация) уже сейчас полностью выполняются компьютером.

1.3. Обеспечение САПР

В САПР принято выделять следующие виды обеспечения: математическое, лингвистическое, программное, информационное, техническое и методическое.

Математическое обеспечение САПР. Математическое обеспечение (МО) САПР включает в себя математические модели проектируемых объектов, методы и алгоритмы проектных процедур, используемые при автоматизированном проектировании.

Элементы МО САПР чрезвычайно разнообразны. К ним относятся принципы построения функциональных моделей, методы численного решения алгебраических и дифференциальных уравнений, поиска экстремума и т.д. Специфика предметных областей проявляется прежде всего в математических моделях проектируемых объектов, она заметна и в способах решения задач структурного синтеза. Формы представления МО также довольно разнообразны, но его практическое использование происходит после реализации в ПО.

Компоненты МО определяются базовым математическим аппаратом, специфичным для каждого из иерархических уровней проектирования.

На микроуровне типичные математические модели представлены дифференциальными уравнениями в частных производных вместе с краевыми условиями. К этим моделям, называемым *распределенными*, относятся многие уравнения математической физики. Объектами исследования здесь являются поля физических величин, что требуется при исследовании, например, процессов в электромагнитных полях.

Число совместно исследуемых различных сред в практически используемых моделях микроуровня не может быть большим ввиду сложности вычислительного характера. Резко снизить вычислительные затраты в многокомпонентных средах можно только применив иной подход к моделированию, основанный на принятии определенных допущений.

Допущение, выражаемое дискретизацией пространства, позволяет перейти к моделям макроуровня. Моделями макроуровня, называемыми также *сосредоточенными*, являются системы алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений, поскольку независимой переменной здесь остается только время. Упрощение описания отдельных компонентов (блоков) позволяет исследовать модели процессов в устройствах и системах, число компонентов в которых может исчисляться тысячами.

В тех случаях, когда число компонентов в исследуемой системе превышает некоторый порог, сложность модели системы на макроуровне становится чрезмерной. Поэтому, принимая соответствующие допущения, переходят на функционально-логический уровень. На этом уровне используют аппарат передаточных функций для исследования аналоговых (непрерывных) процессов или аппарат математической логики и конечных автоматов, если объектом исследования является дискретный процесс, т.е. процесс с дискретным множеством состояний.

Наконец, для исследования еще более сложных систем применяют аппарат теории массового обслуживания и методы статистического моделирования Монте-Карло. Эти модели относятся к системному уровню моделирования.

Основными требованиями к МО являются адекватность, точность и экономичность (*вычислительная эффективность*).

Модель всегда лишь приближенно отражает некоторые свойства объекта. *Адекватность* имеет место, если модель отражает заданные свойства объекта с приемлемой точностью. Адекватность оценивается перечнем отражаемых свойств и областями адекватности. Область адекватности – область в пространстве параметров, в пределах которой погрешности модели остаются в допустимых пределах (диапазоны изменения моделируемых температур, внешних напряжений, частот). Под *точностью* понимают степень соответствия оценок одноименных свойств объекта и модели. *Экономичность* определяется затратами ресурсов – машинного времени и памяти, требуемых для реализации моделей.

Лингвистическое обеспечение САПР. Лингвистическое обеспечение САПР представлено совокупностью языков, применяемых для описания процедур автоматизированного проектирования и проектных решений. Основная часть лингвистического обеспечения САПР – языки общения человека с ЭВМ.

В соответствии с принятой классификацией языков САПР различают языки программирования и языки проектирования.

Языки программирования используются как языки высокого уровня – для написания текстов программ (визуальная часть и интерфейс), так и машинно-ориентированные языки (ассемблеры), позволяющие создавать программы, наиболее эффективные в смысле вычислительных затрат (математическое обеспечение САПР).

Языки проектирования ориентированы на пользователей-проектировщиков и предназначены для эксплуатации САПР. Эта группа языков делится на следующие:

- входные языки для задания исходной информации об объектах и задачах проектирования и включают в себя языки описания объектов и языки описания заданий. Первые служат для описания свойств проектируемых объектов, а вторые – для описания заданий на выполнение проектных операций и процедур;
- выходные языки для представления результатов проектирования на ПК;
- языки сопровождения для корректировки и редактирования данных при выполнении проектных процедур;
- языки управления для представления управляющей информации, например, для устройств документирования;
- промежуточные и внутренние языки для представления информации на определенных стадиях ее переработки в ЭВМ.

Программное обеспечение САПР. В ПО САПР принято выделять системное и прикладное ПО. Системное ПО предназначено для организации функционирования технических средств, т.е. для планирования и управления вычислительным процессом, распределения имеющихся ресурсов, и представлено операционными системами ПК. Системное ПО не отражает специфику САПР. В прикладном ПО реализуется математическое обеспечение для непосредственного выполнения проектных процедур.

Информационное обеспечение САПР. Информационное обеспечение (ИО) САПР объединяет всевозможные данные, необходимые для выполнения автоматизированного проектирования. Эти данные могут быть представлены в виде тех или иных документов на различных носителях, содержащих сведения справочного характера о материалах, комплектующих изделиях, типовых проектных решениях, параметрах элементов, сведения о состоянии текущих разработок в виде промежуточных и окончательных проектных решений, структур и параметров проектируемых объектов и т.п. Основная часть ИО САПР – банк данных, представляющий собой совокупность средств для централизованного накопления и коллективного использования данных в САПР. Банк данных состоит из базы данных и системы управления базой данных.

Основные требования к ИО – полнота, гибкая организация структур данных и способов управления ими, позволяющая пополнять, корректировать и удалять данные без их существенной перестройки, а также быстрый и простой поиск нужных данных.

Техническое обеспечение САПР. Техническое обеспечение (ТО) САПР включает в себя различные технические средства (hardware), используемые для выполнения автоматизированного проектирования, а именно: ПК, периферийные устройства (принтеры, плоттеры, сканеры), сетевое оборудование, оборудование вспомогательных систем (например, измерительных).

Используемые в САПР технические средства должны обеспечивать:

- 1) выполнение всех необходимых проектных процедур, для которых имеется соответствующее ПО;
- 2) поддержку интерактивного режима работы взаимодействия между проектировщиками и ПК;
- 3) коллективную разработку (взаимодействие между членами коллектива, работающими над общим проектом).

Первое из этих требований выполняется при наличии в САПР компьютеров с достаточными производительностью и памятью.

Второе требование относится к пользовательскому интерфейсу и выполняется за счет включения в САПР удобных средств ввода-вывода данных и, прежде всего, устройств обмена графической информацией.

Третье требование обуславливает объединение аппаратных средств САПР в локальную или глобальную вычислительную сеть. На рабочих местах должны быть средства для интерфейса проектировщика с компьютером. Вычислительная мощность при этом может быть распределена между различными узлами вычислительной сети.

Методическое обеспечение САПР. Методическое обеспечение САПР составляют документы, характеризующие состав, правила отбора и эксплуатации средств автоматизированного проектирования. Допускается более широкое толкование понятия методического обеспечения, под которым подразумевают совокупность математического, лингвистического обеспечения и названных документов, реализующих правила использования средств проектирования.

1.4. Классификация САПР

В настоящее время используется ряд устоявшихся англоязычных терминов, применяемых для классификации программных приложений и средств автоматизации САПР по отраслевому и целевому назначению.

По отраслевому назначению различают:

- MCAD (Mechanical Computer-Aided Design) – автоматизированное проектирование механических устройств. Это машиностроительные САПР, применяются в автомобилестроении, судостроении, авиакосмической промышленности, производстве товаров народного потребления. Они включают в себя разработку деталей и сборок (механизмов) с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий поверхностного и объемного моделирования (например, AutoCAD, SolidWorks, «Компас», CATIA);

- ECAD (Electronic Computer-Aided Design) или EDA (Electronic Design Automation) – САПР электронных устройств, радиоэлектронных средств (РЭС), печатных плат и т.п. (например, PCAD, Altium Designer, OrCAD).

По целевому назначению различают САПР, обеспечивающие различные аспекты проектирования:

- CAD (Computer-Aided Design) – средства автоматизированного проектирования. Русским аналогом термина является САПР. Как правило, этим термином называют САПР общего назначения или средства, предназначенные для создания конструкторской документации, двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования: CADD (Computer-Aided Design and Drafting) – проектирование и создание чертежей, CAGD (Computer-Aided Geometric Design) – геометрическое моделирование;

- CAE (Computer-Aided Engineering) – средства автоматизации инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов. Осуществляют моделирование, проверку и оптимизацию изделий;

- CAM (Computer-Aided Manufacturing) – средства технологической подготовки производства. Обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ). Русским аналогом термина является АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства;

- CAPP (Computer-Aided Process Planning) – средства автоматизации планирования технологических процессов, применяемые на стыке систем CAD и CAM.

Многие САПР совмещают в себе решение задач, относящихся к различным аспектам проектирования, например, CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют комплексными, или интегрированными.

1.5. Основные черты современных САПР электроники

Основные черты современных систем автоматизированного проектирования и их принципиальные отличия от «позадачных» методов автоматизации следующие.

1. *Возможность комплексного решения* общей задачи проектирования, установление тесной связи между частными задачами, т.е. возможность интенсивного обмена информацией и взаимодействие не только отдельных процедур, но и этапов проектирования. Например, применительно к техническому (конструкторскому) этапу САПР позволяет решать задачи компоновки, размещения и трассировки в тесной взаимосвязи, которая должна быть заложена в технических и программных средствах системы.

Применительно к системам более высокого уровня можно говорить об установлении тесной информационной связи между схмотехническим и конструкторским этапами проектирования. Такие системы позволяют создавать РЭС, более эффективные с точки зрения комплекса функциональных и конструкторско-технологических требований.

2. *Интерактивный режим* проектирования, при котором осуществляется непрерывный процесс диалога «человек–машина». Сколь ни сложны формальные методы проектирования, сколь ни велика мощность вычислительных средств, невозможно создать сложную аппаратуру без творческого участия человека. Системы автоматизации проектирования по своему замыслу должны не заменять конструктора, а выступать мощным средством обеспечения его творческой деятельности.

3. *Имитационное моделирование* радиоэлектронных систем в условиях работы, близких к реальным. Имитационное моделирование дает возможность предвидеть реакцию проектируемого объекта на самые различные возмущения, позволяет конструктору «видеть» плоды своего труда в действии без макетирования. Ценность этой особенности САПР заключается в том, что в большинстве случаев крайне трудно сформулировать системный критерий эффективности РЭС. Эффективность связана с большим числом требований различного характера и зависит от большого числа параметров РЭС и внешних факторов. Поэтому в сложных задачах проектирования практически невозможно формализовать процедуру поиска решения, оптимального по критерию комплексной эффективности. Имитационное моделирование позволяет провести испытания различных вариантов решения и выбрать лучший вариант, причем сделать это быстро и учесть всевозможные факторы.

4. *Значительное усложнение программного и информационного обеспечения* проектирования. Речь идет не только о количественном, объемном увеличении, но и об идеологическом усложнении, которое связано с необходимостью создания языков общения проектировщика и ПК, развитых банков данных, программ информационного обмена между составными частями системы, программ проектирования, коррекции работы ПК, его обучения, систематизации и обобщения опыта, усовершенствования стратегии принятия решений.

5. *Значительное усложнение технических средств САПР.* Системы автоматизации проектирования требуют применения машин высокой производительности, многомашинных комплексов, разветвленной системы периферийных устройств, в частности устройств отображения информации, диалога и изготовления документации.

6. *Замкнутость процесса автоматизированного проектирования.* Под этим подразумевается, что проектировщик вводит в машину информацию на уровне замысла, а в результате диалогового процесса проектирования машина выдает технические решения и документацию, необходимую для изготовления РЭС и автоматизированного управления технологическими процессами ее производства.

2. ПРОГРАММЫ ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1. AutoCAD (AutoDesk)

AutoCAD (рис. 1) относится к классу САПР, которые предназначены в первую очередь для разработки конструкторской документации: чертежей, моделей объектов, схем и т.д. Программа позволяет строить 2D- и 3D-чертежи любого назначения и разной сложности с максимальной точностью. Разработчик программы – американская компания Autodesk, признанный лидер на мировом рынке среди разработчиков САПР. Название программы – AutoCAD – образуется от английского Automated Computer Aided Drafting and Design, что в переводе означает «Автоматизированное черчение и проектирование с помощью компьютера».

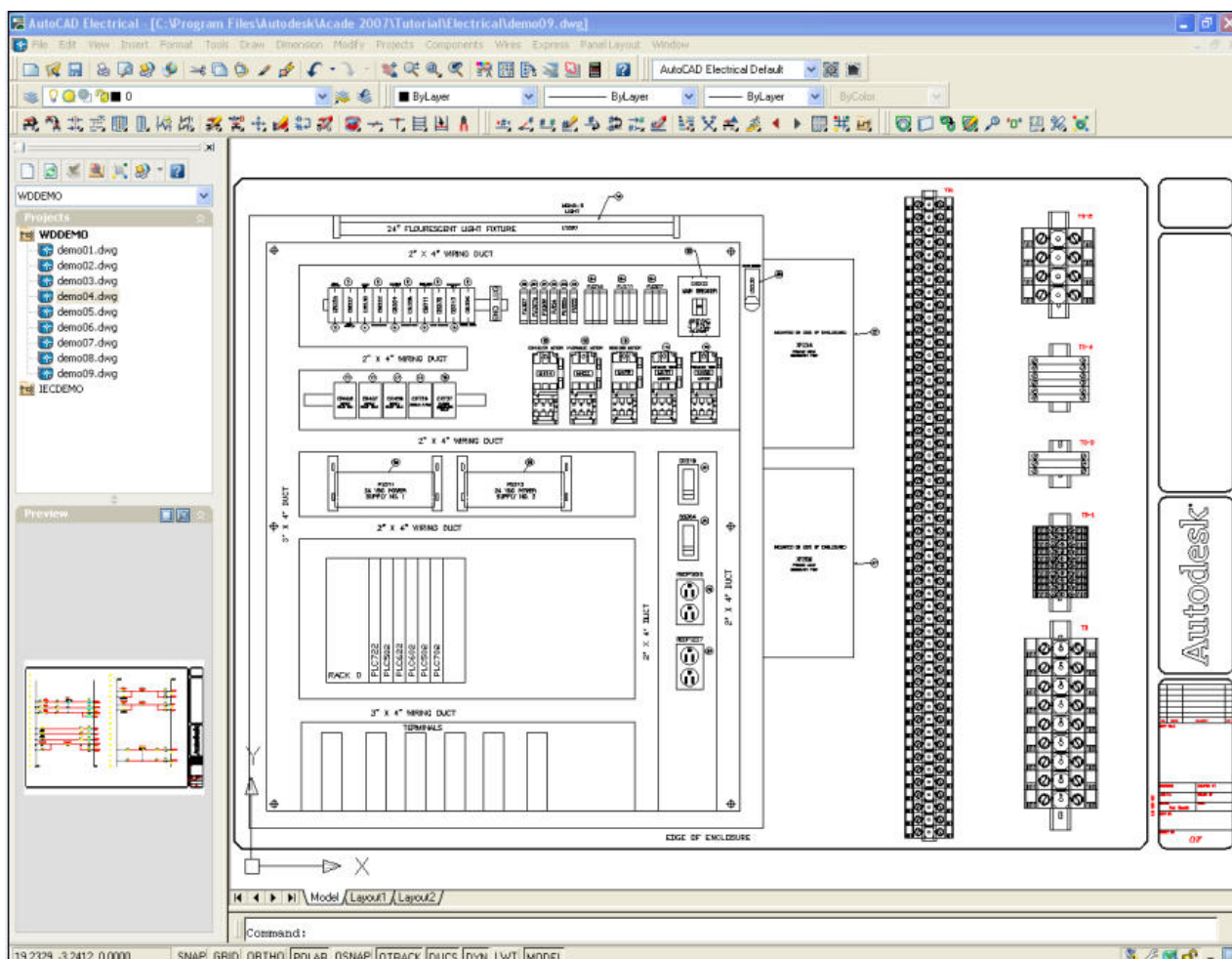


Рис. 1. Рабочее окно AutoCAD

Широкое распространение AutoCAD в мире обусловлено не в последнюю очередь развитыми средствами разработки и адаптации, которые позволяют настроить систему под нужды конкретных пользователей и значительно расширить функционал базовой системы. Большой набор инструментальных средств для разработки приложений делает базовую версию AutoCAD универсальной платформой для разработки приложений. На базе AutoCAD самой компанией Autodesk и сторонними производителями создано большое количество специализированных прикладных приложений: AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical,

AutoCAD Architecture, MechaniCS и др. Ранние версии AutoCAD оперировали с небольшим числом элементарных объектов, такими как круги, линии, дуги и текст, из которых составлялись более сложные. В последних версиях возможности AutoCAD значительно расширились.

В области двумерного проектирования AutoCAD по-прежнему позволяет использовать элементарные графические примитивы для получения более сложных объектов. Кроме того, программа предоставляет весьма обширные возможности работы со слоями и аннотативными объектами (размерами, текстом, обозначениями). Использование механизма внешних ссылок (XRef) позволяет разбивать чертеж на составные файлы, за которые ответственны различные разработчики, а динамические блоки расширяют возможности автоматизации 2D-проектирования обычным пользователем без использования программирования. Начиная с версии 2010 в AutoCAD реализована поддержка двумерного параметрического черчения.

Версия программы AutoCAD 2014 включает в себя полный набор инструментов для комплексного трёхмерного моделирования (поддерживается твердотельное, поверхностное и полигональное моделирование). AutoCAD позволяет получить высококачественную визуализацию моделей с помощью системы рендеринга mental ray. Также в программе реализовано управление трёхмерной печатью (результат моделирования можно отправить на 3D-принтер) и поддержка облаков точек (позволяет работать с результатами 3D-сканирования). Тем не менее следует отметить, что отсутствие трёхмерной параметризации не позволяет AutoCAD напрямую конкурировать с машиностроительными САПР среднего класса, такими как Inventor, SolidWorks и другими. Начиная с версии 2012 в состав AutoCAD была включена программа Inventor Fusion, реализующая технологию прямого моделирования.

В 2010 г. Autodesk впервые выпустил бесплатное дополнение для AutoCAD, предназначенное для оформления чертежей в соответствии со стандартами ГОСТ 21.1101-2009 «Основные требования к проектной и рабочей документации» и другими нормативными документами.

По состоянию на декабрь 2014 г. актуальными являются версии AutoCAD 2007-2014, которые логически продолжают предыдущие версии программы. Создатели программы продолжают совершенствовать механизмы 3D-моделирования и интеграции программы в компьютерные сети и Интернет.

2.2. «Компас» («Аскон»)

«Компас» – семейство САПР с возможностями оформления проектной и конструкторской документации согласно стандартам серии ЕСКД (Единая система конструкторской документации) и СПДС (Система проектной документации для строительства). Разрабатывается российской компанией «Аскон».

Программы данного семейства автоматически генерируют ассоциативные виды трёхмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже.

Стандартные виды автоматически строятся в проекционной связи. Данные в основной надписи чертежа (обозначение, наименование, масса) синхронизируются с данными из трёхмерной модели. Имеется возможность связывать трёхмерные модели и чертежи со спецификациями, т.е. при «надлежащем» проектировании спецификация может быть получена автоматически. Кроме того, изменения в чертеже или модели будут передаваться в спецификацию, и наоборот.

Существует большое количество дополнительных библиотек к программам семейства, автоматизирующих различные специализированные задачи. Например, библиотека стандартных изделий позволяет добавлять уже готовые стандартные детали в трёхмерные (крепежные изделия, ручки, каркасы, уплотнения), а также графические обозначения стандартных элементов на чертежи (обозначения отверстий), предоставляя возможность задания их параметров.

«Компас» выпускается в нескольких редакциях: «Компас-График», «Компас-СПДС», «Компас-3D», «Компас-3D LT», «Компас-3D Home». «Компас-График» может использоваться и как полностью интегрированный в «Компас-3D» модуль работы с чертежами и эскизами, и в качестве самостоятельного продукта, предоставляющего средства решения задач 2D-проектирования и выпуска документации. «Компас-3D LT» и «Компас-3D Home» предназначены для некоммерческого использования, «Компас-3D» без специализированной лицензии не позволяет открывать файлы, созданные в этих программах. Такая специализированная лицензия предоставляется только учебным заведениям.

Первый выпуск программы (1.0) состоялся в 1989 г. Первая версия под Windows – «Компас 5.0» – вышла в 1997 г. В 2000 г. выпущен «Компас-3D 5.10» (рис. 2). В 2003, 2004 и 2007 годы вышли соответственно версии 6, 7 и 8. С 2008 г. они меняются приблизительно раз в год, на декабрь 2014 г. последней является «Компас-3D V15.1».

Данная САПР представляет собой многофункциональную графическую платформу, призванную решать прикладные задачи машиностроительного и приборостроительного проектирования. Предоставлена возможность свободного редактирования ранее созданных или импортированных из других САД-систем 3D-моделей; реализована интеграция приложений «Компас-3D» с различными расчетными системами; добавлена возможность создания исполнений для спроектированных или новых изделий.

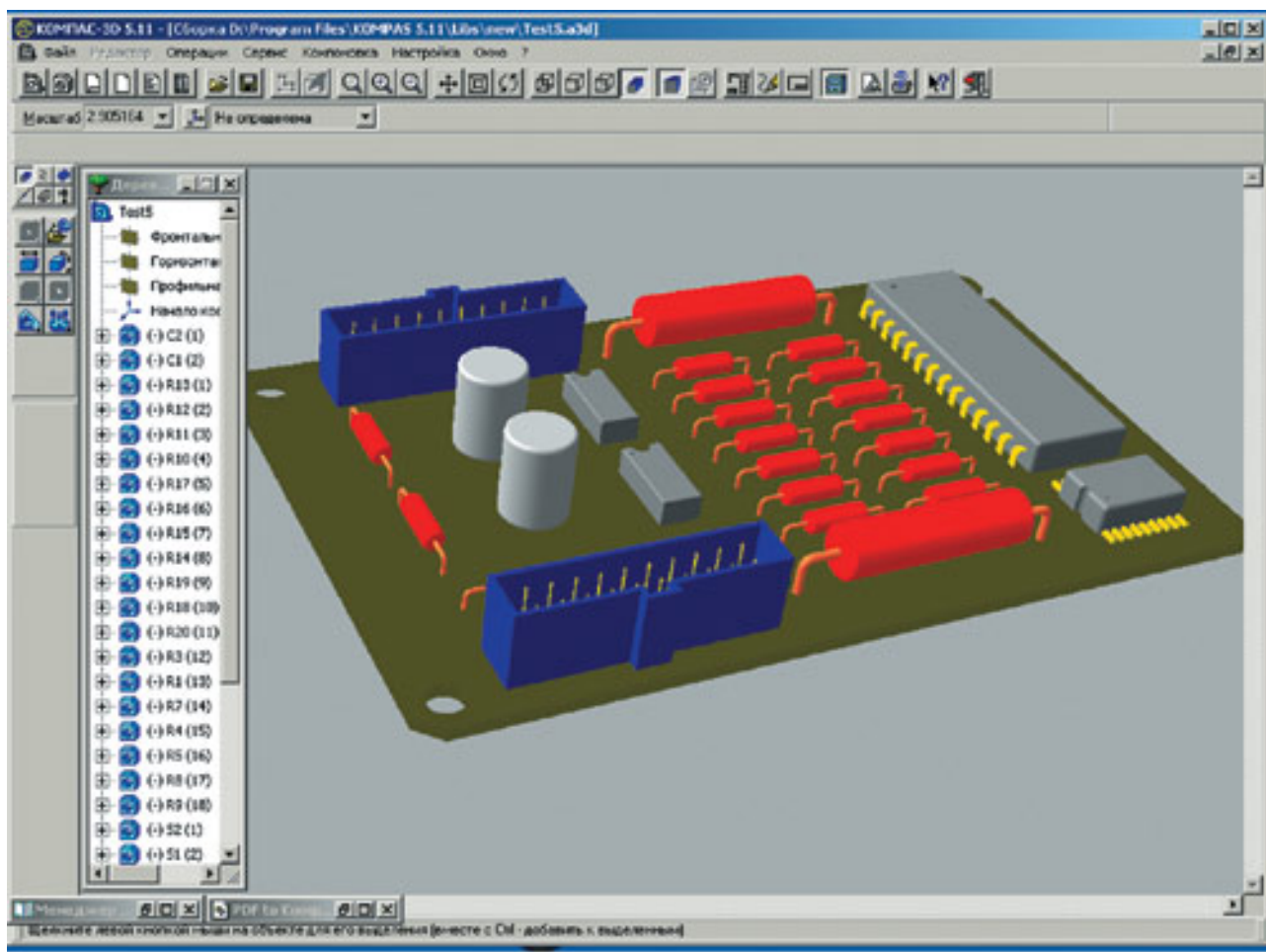


Рис. 2. Окно программы «Компас-3D»

Основные компоненты «Компас-3D» – собственно система трёхмерного твердотельного моделирования, универсальная система автоматизированного проектирования «Компас-График» и модуль проектирования спецификаций.

Система «Компас-3D» предназначена для создания трёхмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства.

Ключевой особенностью «Компас-3D» является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами компании «Аскон». В той же компании разработаны различные приложения в области трёхмерного моделирования, дополняющие функциональные возможности «Компас-3D» инструментарием для решения специализированных инженерных задач. Модульность системы позволяет пользователю самому определить набор необходимых ему приложений, обеспечивающих только востребованную функциональность.

3. ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

3.1. Программы моделирования электронных устройств на уровне структурных схем

SystemVue (Elanix, Agilent Technologies). Пакет SystemVue (панель SystemView) (www.keysight.com) представляет собой мощную интегрированную среду проектирования с почти неограниченными возможностями, внешне сохранившую красочность и привлекательность детского конструктора. Только из кубиков, подобных знаменитому Lego, можно строить не домики для кукол, а модели широкополосных систем связи, использующих сложные цифровые сигналы, например QAM64, анализировать их поведение в различной помеховой и шумовой обстановке или проектировать сверхбыстродействующие цифровые сигнальные процессоры (DSP, от англ. Digital Signal Processor) с конечной реализацией на программируемых вентильных матрицах (FPGA, от англ. Field Programmable Gate Array).

Пользовательский интерфейс программы (рис. 3) прост и интуитивно понятен. Основу пакета составляет базовый модуль SystemVue Professional Edition, к которому подключаются различные специализированные библиотеки, обеспечивающие проектировщиков моделями почти всех необходимых функциональных блоков. Если уже имеющаяся модель по каким-либо соображениям не устраивает разработчика, у него есть возможность создать собственную пользовательскую модель, опирающуюся на оптимальные с его точки зрения математические выкладки.

Системы могут иметь сколь угодно сложную иерархическую структуру, реализованную на основе подсистем. Ряд подсистем может быть скомпилирован в пользовательские функциональные блоки или даже целые библиотеки.

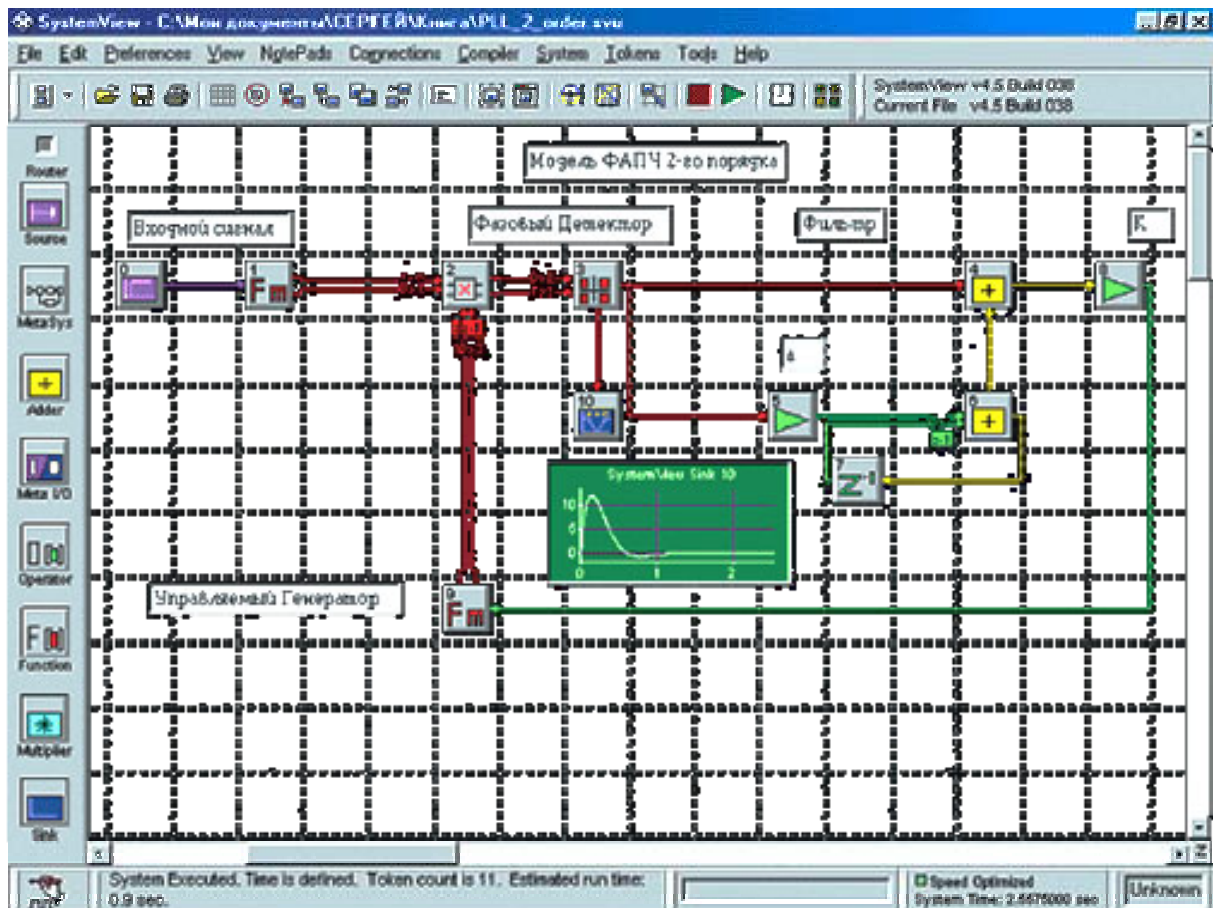


Рис. 3. Окно программы System View

Первые версии пакета появились в 1991 г. Последняя версия SystemView была выпущена в 2007 г. (версия 2007.3). Последующая версия SystemView (SystemVue) разработана уже фирмой Agilent (на основе пакета ADS) в 2008 г. Последняя на декабрь 2014 г. известная рабочая версия SystemVue выпущена компанией Agilent в 2013 г.

В состав пакета SystemView входят следующие библиотеки:

- Communications Library – содержит модели каналов, кодеров и декодеров, модуляторов и демодуляторов;
- DSP Library – предназначена для моделирования цифровых сигнальных процессоров, в том числе содержит прототипы для реализации ПЛИС;
- RF/Analog Library – содержит модели различных радиотехнических устройств трактов аналоговой обработки сигналов;
- Logic Library – библиотека цифровых логических схем;
- CDMA/PCS Library – включает модели устройств, используемых в современных системах связи, в том числе и с кодовым разделением каналов;
- Digital Video Broadcasting (DVB) Library – объединяет модели функциональных блоков, используемых в аппаратуре цифрового телевизионного вещания;
- Wireless Network Library – объединяет модели устройств, выполненных согласно стандартам IEEE 802.11abg, Bluetooth и Ultra Wide-Band (UWB), необходимых для построения беспроводных сетей передачи данных;
- EnTegra Adaptive Filter Library – библиотека компонентов адаптивных фильтров и др.

Для пользователей также доступны две дополнительные опции:

- APG Acceleration Option – обеспечивает прямой доступ внешним приложениям к разработанным в SystemView моделям высокого уровня, благодаря возможности формирования из них исполняемого кода;
- M-Link Option – обеспечивает горячую связь между SystemVue и пакетом Matlab, что дает возможность использовать в проекте собственные пользовательские блоки или библиотеки третьих фирм, разработанных специально для Matlab.

Для разработчиков цифровых сигнальных процессоров и устройств на основе FPGA имеются специализированные продукты, позволяющие генерировать подготовленный к компиляции код для процессоров, разрабатывать устройства и обеспечивать интерфейс между такими устройствами.

ACOLADE (Icucom), Visual System Simulator (AWR, NI). Пакет Advanced Communication Link Analysis and Design Environment (ACOLADE) американской компании Icucom (выкуплен компанией National Instruments в 2011 г., www.awr.com) служит для моделирования и проектирования систем, работающих с широкополосными цифровыми сигналами. Эта программа позволяет моделировать устройства с большими скоростями передачи данных, а также с асинхронными потоками. Как и в других программах анализа структурных схем, проект создается из библиотечных моделей, которые соединяются между собой непосредственно на экране (рис. 4).

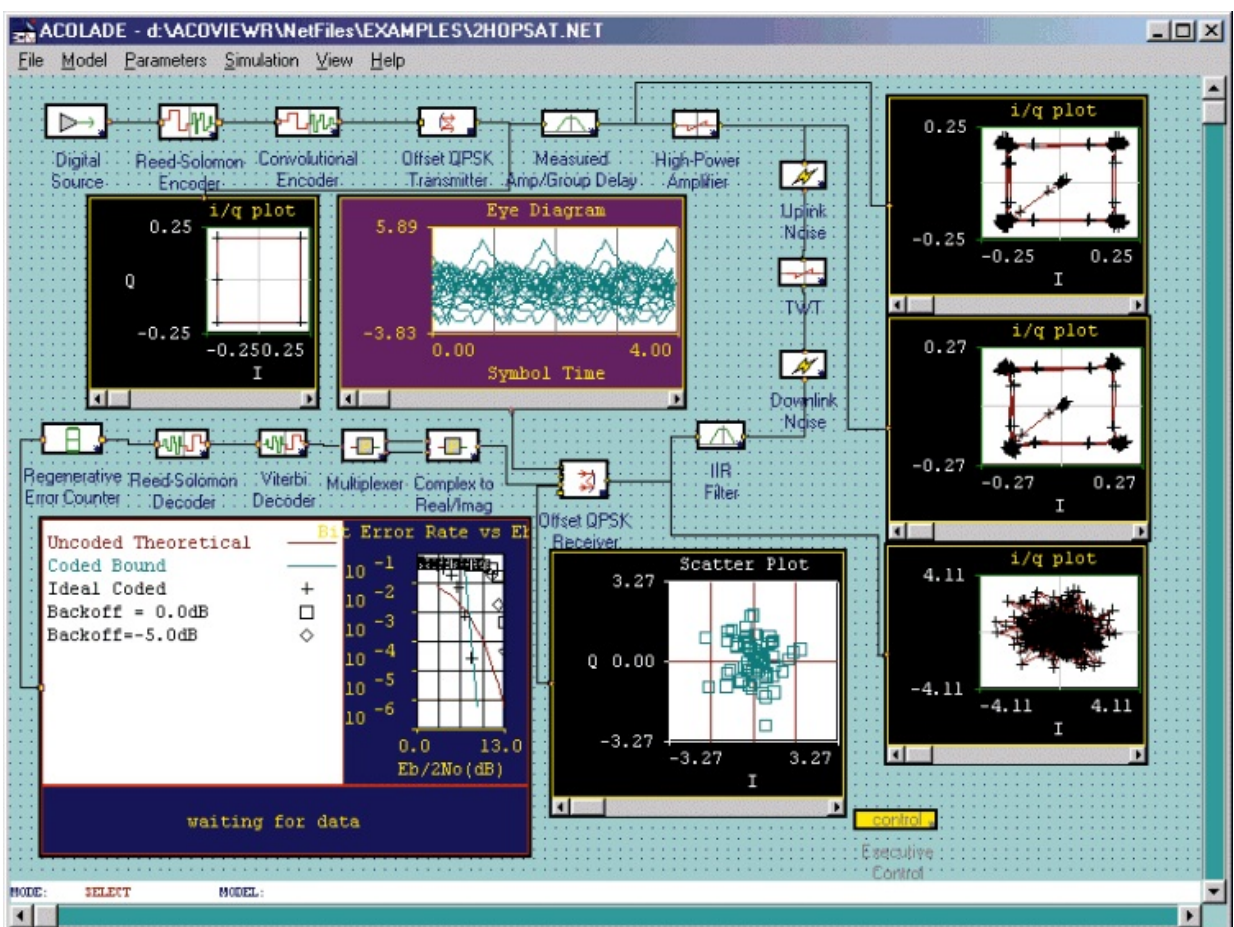


Рис. 4. Окно программы ACOLADE

Пакет ACOLADE предоставляет пользователям следующие возможности:

- рассчитывает формы и спектры сигналов;
- выполняет статистический анализ методом Монте-Карло;
- производит сквозное моделирование канала с учетом кодирования данных в источнике, модуляции, демодуляции, цифровой обработки сигналов;
- учитывает специфические характеристики канала: замирание, многолучевость распространения сигналов и наличие помех различных типов.

Базовая часть пакета ACOLADE содержит около 100 моделей основных функциональных блоков систем связи и большое количество библиотек, в том числе специализированных:

- Advanced Transmission Library – позволяет применять более сложные виды модуляции;
- Coding Library – состоит из моделей кодирования, декодирования и преобразования сигналов;

- RF/Analog Library. В нее входят различные аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые (ЦАП) преобразователи, смесители, усилители, модуляторы, источники шума и фильтры, позволяющие оценивать уровни паразитных комбинационных составляющих, интермодуляционных искажений и перекрестной модуляции в частотной области, а также анализировать линейные и нелинейные зависимости, импульсные характеристики и эффекты модуляции во временной области;
- CDMA Library – для анализа систем с кодовым разделением каналов, содержит корреляторы данных, кодеры Витерби и Уолша, модуляторы и демодуляторы широкополосных сигналов;
- GSM Library и GPS Library – для разработки систем глобального позиционирования.

Пакет ACOLADE имеет открытую архитектуру и позволяет вводить пользовательские модели в виде DLL-модулей. Тесная интеграция с пакетом Microwave Office компании Applied Wave Research значительно повышает точность моделирования сверхвысокочастотных (СВЧ) модулей, входящих в состав систем передачи цифровых сигналов.

Система Visual System Simulator (рис. 5) компании Applied Wave Research (AWR, выкуплена компанией National Instruments, www.awr.com) представляет собой реализацию интегрированной среды разработки Design Environment на базе вычислительного ядра продукта ACOLADE, поэтому ее функциональные возможности практически совпадают с вышеприведенными. Но, кроме того, она обладает рядом дополнительных возможностей.

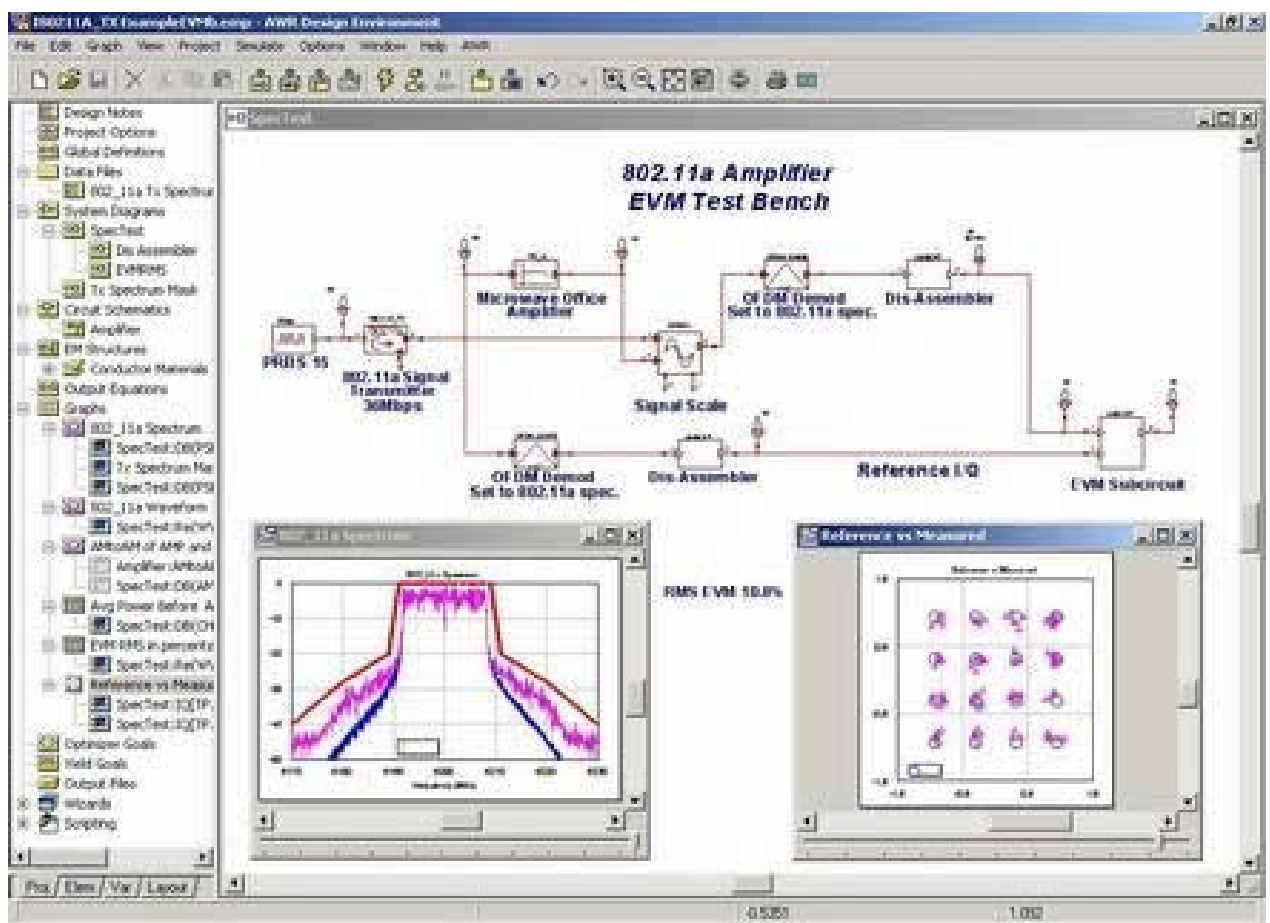


Рис. 5. Окно программы Visual System Simulator

Ядро моделирования позволяет быстро и просто проектировать и анализировать блок-схемы, используя генераторы сигналов с практически произвольной модуляцией. Система содержит обширный набор моделей функциональных блоков и обеспечивает поддержку библиотек стандартов связи: GSM, CDMA, 3G, GPS, DVB и др.

Visual System Simulator предназначена для моделирования систем, работающих с широкополосными цифровыми сигналами. Как и в других программах анализа структурных схем, проект создается из библиотечных модулей, которые соединяются между собой непосредственно на экране. Эта программа работает с потоками данных и позволяет моделировать устройства с большими скоростями передачи данных, а также с асинхронными потоками.

В процессе моделирования пользователь может изменять различные параметры моделируемой системы или схемы с помощью инструмента "тюнер" и в режиме реального времени наблюдать изменение поведения системы на различных графиках и диаграммах. Например, изменяя уровень шумов в канале распро-

странения сигнала, можно наблюдать изменения на фазовых портретах сигналов на выходе приемника так же, как если бы проводились лабораторные испытания готового устройства. Ни одна другая система не предлагает такой скорости вычислений.

Система полностью интегрирована с интерфейсом TestWave, предназначенным для создания программно-аппаратных комплексов на базе Visual System Simulator или Microwave Office и измерительной техники. Двухнаправленный интерфейс позволяет при моделировании использовать реальные характеристики, получаемые с прототипа через спектроанализатор или, например, сетевой анализатор, и подавать на прототип сигналы, сформированные с помощью Visual System Simulator. Измеренные спектры шумов синтезаторов частоты могут быть импортированы в систему, что в дальнейшем позволит оценить влияние на нее реальных фазовых шумов.

На декабрь 2014 г. актуальными являются версии программы Visual System Simulator от 2006, 2008 и 2009 годов выпуска.

Matlab u Simulink (The MathWorks). Пакет Matlab фирмы The MathWorks относится к программам математического моделирования общего и специального назначения (рис. 6). Одноименное название получил язык программирования, использующийся в системе.

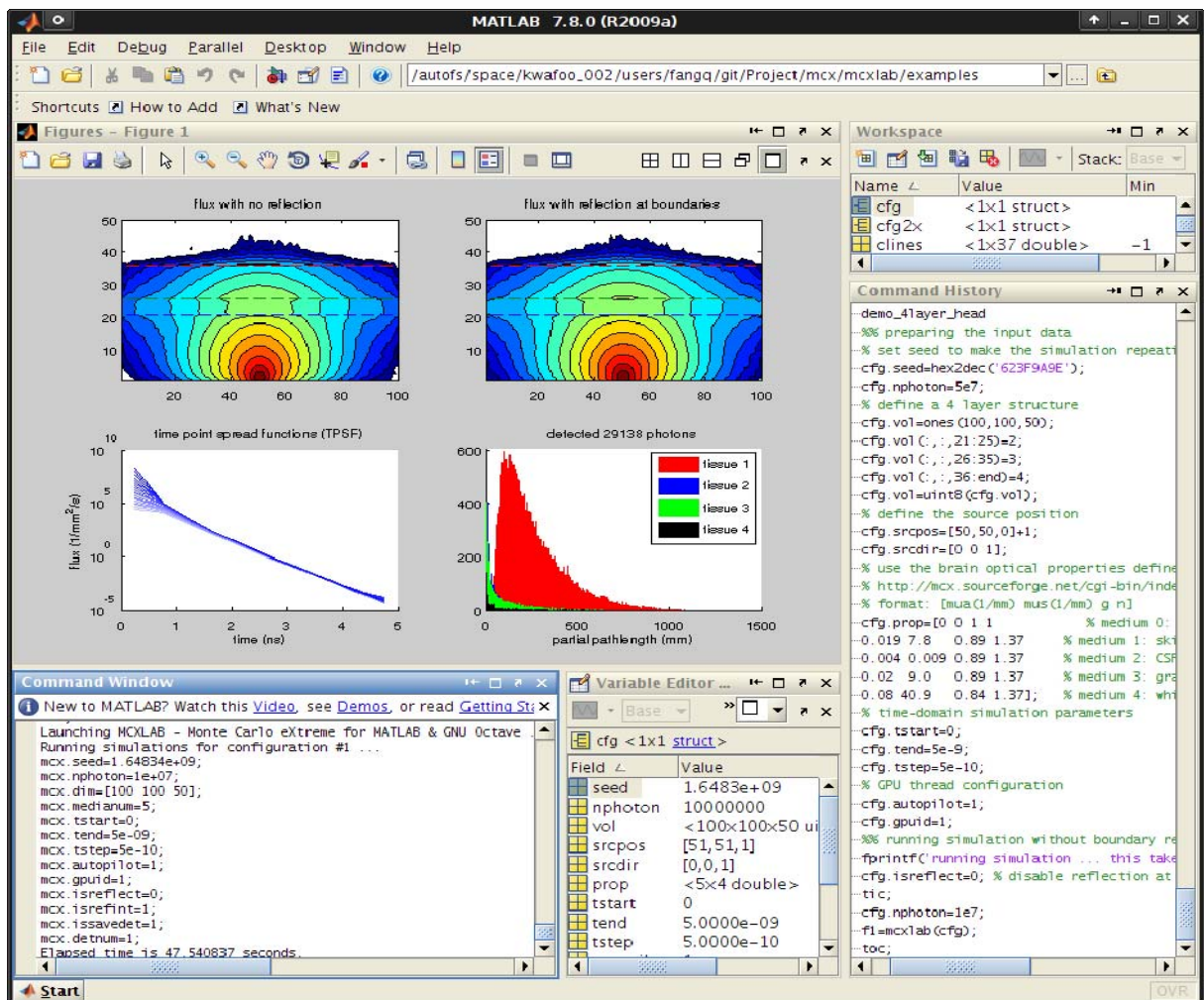


Рис. 6. Окно программы Matlab

Программы, написанные на Matlab, бывают двух типов: функции и скрипты. Функции имеют входные и выходные аргументы, а также собственное рабочее пространство для хранения промежуточных результатов вычислений и переменных. Скрипты же используют общее рабочее пространство. Как скрипты, так и функции не компилируются в машинный код и сохраняются в виде текстовых файлов. Существует также возможность сохранять так называемые pre-parsed программы – функции и скрипты, обработанные в вид, удобный для машинного исполнения. В общем случае такие программы выполняются быстрее обычных, особенно если функция содержит команды построения графиков.

Новые версии программы выпускаются каждый год. Последние (на декабрь 2014 г.) версии пакета Matlab & Simulink – R2013a, R2013b, R2014a, R2014b. Пакет содержит удобную справку по всем возможным функциям и множество демонстрационных примеров.

Пакет получил применение в следующих областях.

Математика и вычисления. Matlab содержит большое количество функций для анализа данных, покрывающих практически все области математики, в частности:

- матрицы и линейная алгебра – алгебра матриц, линейные уравнения, собственные значения и вектора, сингулярности, факторизация матриц и др.;
- многочлены и интерполяция – корни многочленов, операции над многочленами и их дифференцирование, интерполяция и экстраполяция кривых и др.;
- математическая статистика и анализ данных – статистические функции, статистическая регрессия, цифровая фильтрация, быстрое преобразование Фурье и др.;
- обработка данных – набор специальных функций, включая построение графиков, оптимизацию, поиск нулей, численное интегрирование (в квадратурах) и др.;
- дифференциальные уравнения – решение дифференциальных и дифференциально-алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений с запаздыванием, уравнений с ограничениями, уравнений в частных производных и др.;
- разреженные матрицы – специальный класс данных пакета Matlab, использующийся в специализированных приложениях;
- целочисленная арифметика – выполнение операций целочисленной арифметики в среде Matlab.

Разработка алгоритмов: Matlab предоставляет удобные средства для разработки алгоритмов, включая высокоуровневые, с использованием концепций объектно-ориентированного программирования. В нём имеются все необходимые средства интегрированной среды разработки, включая отладчик и профайлер. Функции для работы с целыми типами данных облегчают создание алгоритмов для микроконтроллеров и других приложений, где это необходимо.

Визуализация данных:

- в составе пакета Matlab имеется большое количество функций для построения графиков, в том числе трёхмерных, визуального анализа данных и создания анимированных роликов;
- встроенная среда разработки позволяет создавать графические интерфейсы пользователя с различными элементами управления, такими как кнопки, поля ввода и другими.

Независимые приложения: Программы Matlab, как консольные, так и с графическим интерфейсом пользователя, могут быть собраны с помощью компонента Matlab Compiler в независимые от Matlab исполняемые приложения или динамические библиотеки, для запуска которых на других компьютерах, однако, требуется установка свободно распространяемой среды Matlab Compiler Runtime (MCR).

Внешние интерфейсы: Пакет Matlab включает различные интерфейсы для получения доступа к внешним подпрограммам, написанным на других языках программирования, данным, клиентам и серверам, общающимся через технологии Component Object Model или Dynamic Data Exchange, а также периферийным устройствам, которые взаимодействуют напрямую с Matlab. Многие из этих возможностей известны под названием Matlab API.

Имеется возможность создавать специальные наборы инструментов (англ. toolbox), расширяющие функциональность Matlab. Эти наборы представляют собой коллекции функций, написанных на языке Matlab для решения определённого класса задач. Компания Mathworks поставляет наборы инструментов, которые используются во многих областях, включая цифровую обработку сигналов, изображений и данных, проектирования цифровых фильтров и систем связи и другие.

Simulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы (рис. 7).

Интерактивная среда Simulink позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электрических, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени.

Дополнительные пакеты расширения Simulink позволяют решать весь спектр задач от разработки модели до ее тестирования, генерации кода и аппаратной реализации. Simulink интегрирован в среду Matlab, что позволяет использовать встроенные математические алгоритмы, средства обработки данных и графику.

3.2. Программы моделирования электронных устройств на уровне принципиальных схем

PSpice (MicroSim, Cadence). Первая программа схемотехнического моделирования SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) была разработана в начале 1970-х годов в Калифорнийском университете (г. Беркли). Она оказалась настолько удачной, что с тех пор интенсивно развивается и де-факто стала эталонной программой моделирования чисто аналоговых устройств.

PSpice (Personal Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) – программа моделирования аналоговых и цифровых устройств (рис. 8), описанных на языке Spice, которая предназначена для ПК (первая буква «P» в названии). Выпущена компанией MicroSim в январе 1984 г. и используется при автоматизации проектирования электронных устройств. Позже к ней добавили программу для просмотра и анализа осциллограмм Probe.

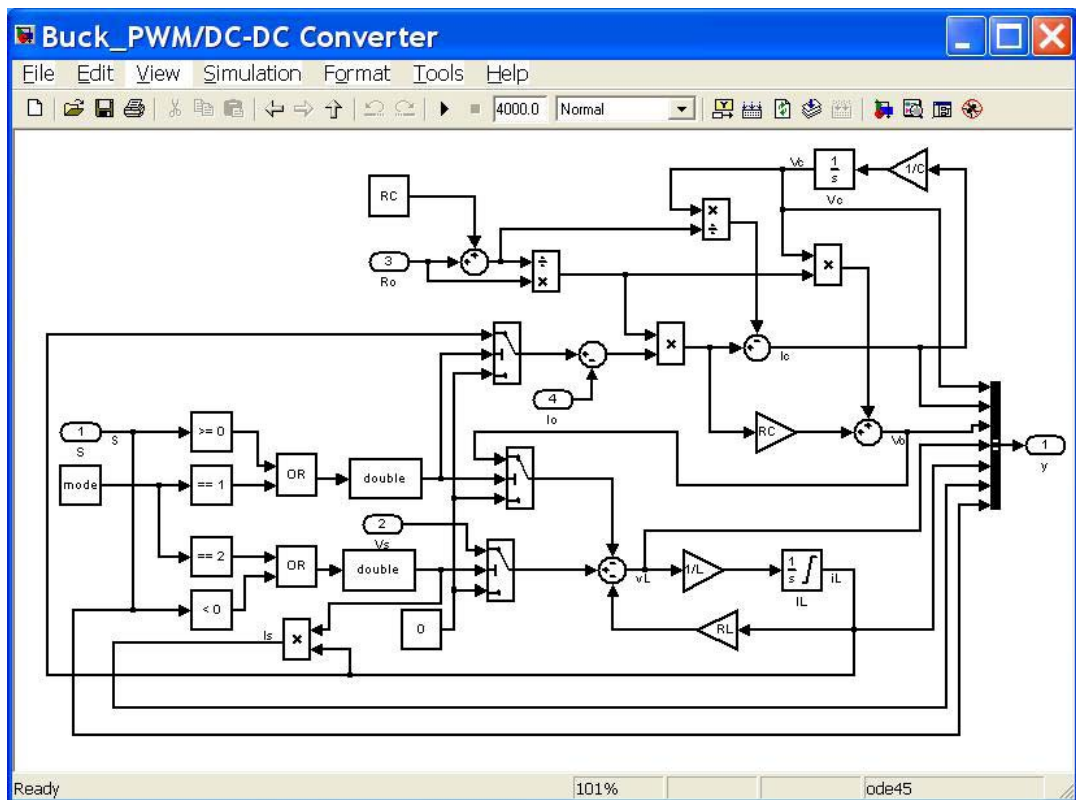


Рис. 7. Окно программы Simulink

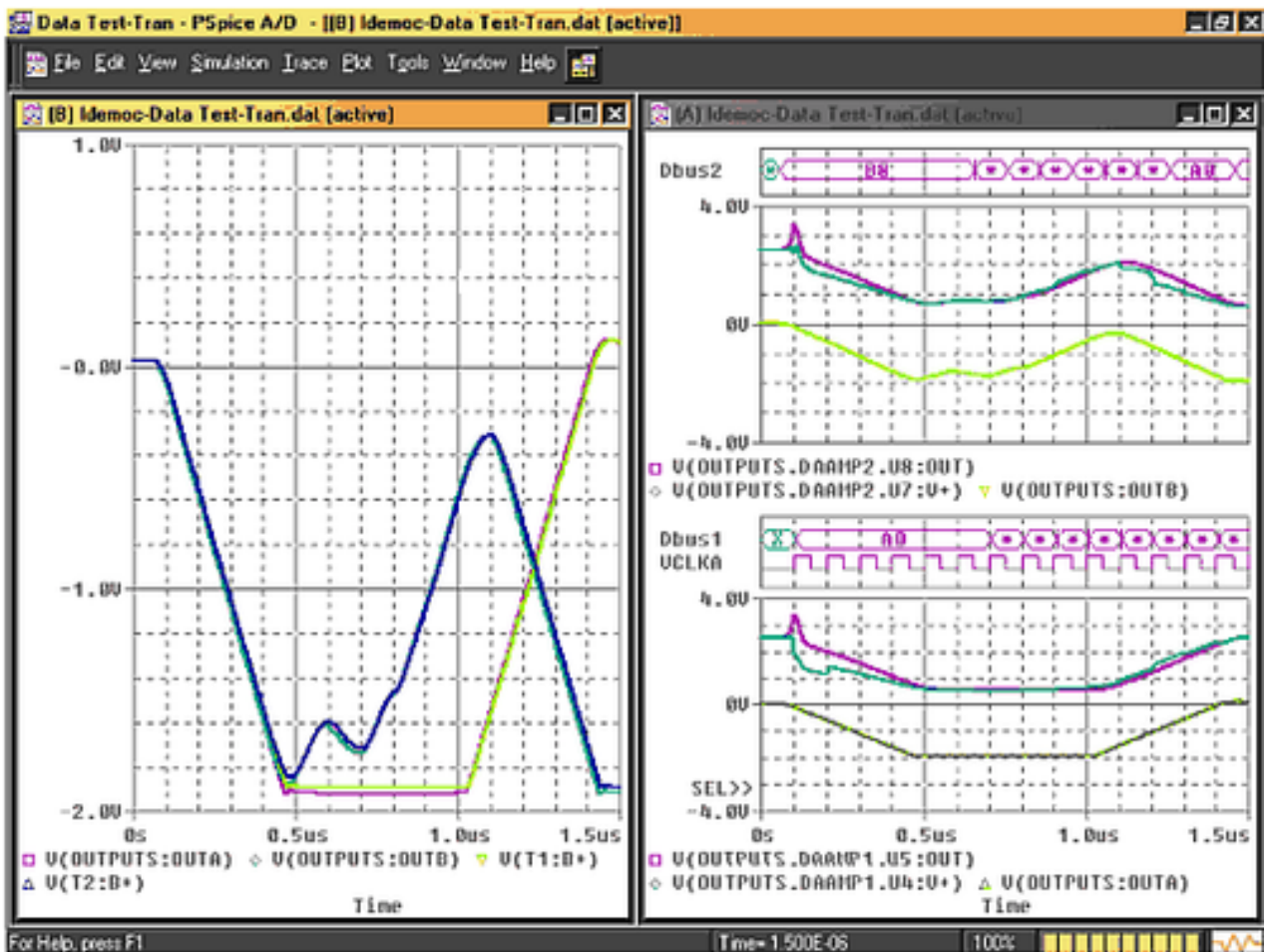


Рис. 8. Окно программы PSpice

В 1990 г. компанией Microsim на основе общего вычислительного ядра PSpice был создан программный пакет Design Center в среде Windows. Он позволял реализовать не только текстовый, но и графический ввод электрических принципиальных схем, а также проектирование не только аналоговых, но и аналого-цифровых (компараторы, АЦП, ЦАП) и чисто цифровых устройств (вентили, триггеры, счетчики, запоминающие устройства и т.п.). Последующие версии Design Center 6.0, 6.1 и 6.2 (1994 – 1996 гг.) были дополнены программами для проектирования программируемых логических матриц и разработки топологии печатных плат. Начиная с 1996 г., корпорация Microsim стала разрабатывать новое поколение САПР для схемотехнического моделирования под названием Design Lab 8.0 (1997 г.).

Наконец, в начале 1998 г. произошло объединение корпораций Microsim и OrCAD, которое стимулировало развитие их ведущих проектов Design Lab и OrCAD. Новая фирма получила название OrCAD, а в марте 2000 г. она выпустила «объединенный» продукт – версию OrCAD 9.2, в которую вошла программа PSpice. По состоянию на декабрь 2014 г. владельцем САПР OrCAD является фирма Cadence Design Systems.

В настоящее время PSpice удовлетворяет множеству требований и интегрирован в систему автоматизированного проектирования Cadence OrCAD/Allegro. Современные версии программы содержат много улучшений, которых не было изначально, например, автоматическая оптимизация схем, шифрование, редактор моделей, поддержка параметрических моделей, несколько внутренних алгоритмов решения дифференциальных уравнений, перезапуск с контрольных точек и т.д. В программу входят: PSpice Analog Digital – пакет аналого-цифрового моделирования, PSpice Advanced Analysis – пакет параметрической оптимизации, PSpice SLPS option – интерфейс связи с пакетом MATLAB.

В PSpice можно проводить несколько типов анализа схем. Наиболее важные из них:

- анализ нелинейных цепей постоянного тока (Nonlinear DC analysis);
- анализ переходных процессов (Nonlinear transient) – вычисляет напряжение и ток как функции времени;
- анализ Фурье в нелинейных цепях (Fourier analysis) – дает частотный спектр сигналов в любой точке схемы;
- анализ линейных цепей переменного тока (Linear AC Analysis) – вычисляет выходную функцию как функцию частоты;
- анализ внутренних шумов (Noise analysis);
- параметрический анализ (Parametric analysis);
- анализ по методу Монте-Карло (Monte Carlo Analysis).

Последняя (по состоянию на декабрь 2014 г.) версия PSpice поставляется в пакете Cadence Orcad/Allegro 16.6.

Electronics Workbench (Interactive Image Technologies), MultiSim (National Instruments). Одна из самых известных программ схематического моделирования цифровых, аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств Electronics Workbench была создана в 1989 г. (рис. 9).

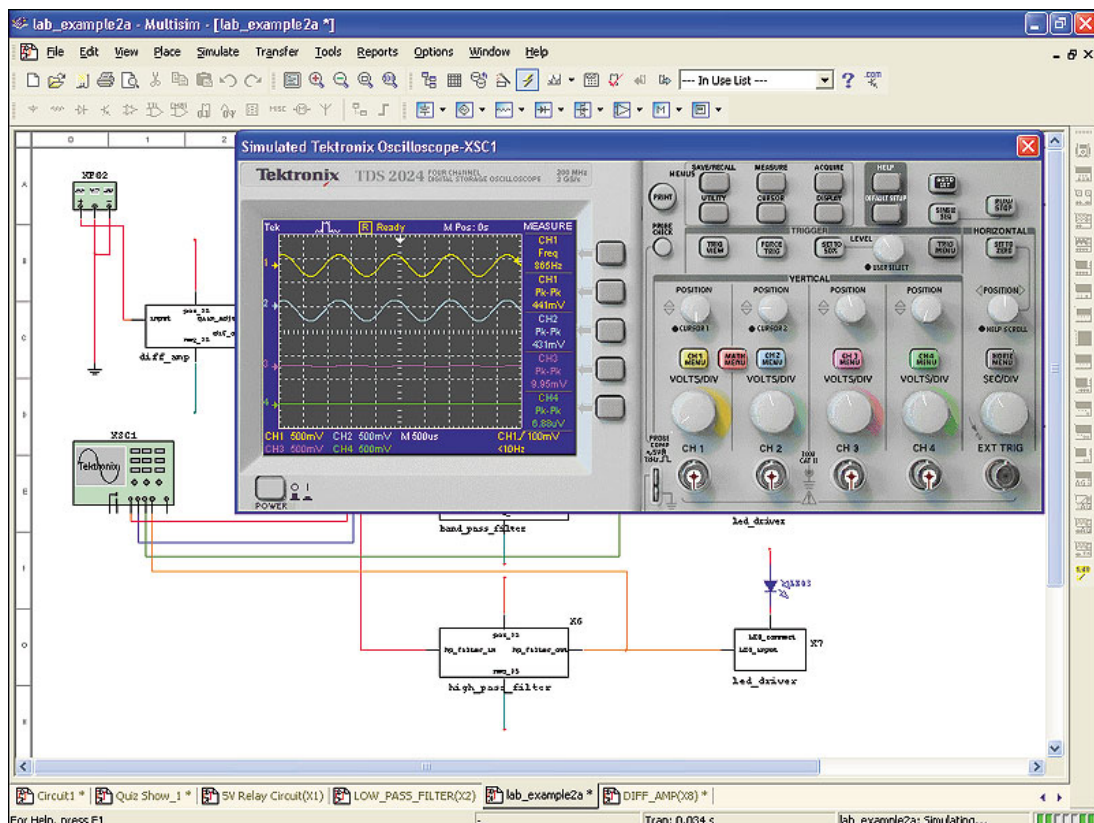


Рис. 9. Рабочее окно программы Electronics Workbench

Первые версии состояли из двух независимых частей – для моделирования цифровых и аналоговых устройств. В 1996 г. обе они были объединены. Продукт создала компания Electronics Workbench Group (Interactive Image Technologies) – один из первопроходцев компьютерной разработки устройств электроники. Сегодня Interactive Image Technologies – это дочерняя компания, права на которую полностью принадлежат National Instruments Corporation.

Electronics Workbench показал достаточно высокую гибкость и точность вычислений, найдя широкое применение более чем в 50 странах мира, как на предприятиях, так и в вузах. Программа имеет простой интерфейс и идеально подходит для начального обучения электронике. Библиотеки предлагают огромный набор моделей радиоэлектронных устройств от самых известных иностранных производителей с широким диапазоном значений параметров. Кроме этого, есть возможность создания собственных компонентов. Активные элементы могут быть показаны как идеальными, так и реальными моделями. Всевозможные приборы (мультиметры, осциллографы, вольтметры, амперметры, частотные графопостроители, динамики, светодиоды, лампы, логические анализаторы, сегментные индикаторы) позволяют измерять любые величины, строить графики. Electronics Workbench может провести анализ цепи по постоянному и переменному току, исследовать переходные процессы (рис. 10) при любом внешнем воздействии с помощью генераторов сигналов разной формы. Для более детального анализа программа может работать с программами PSpice и Micro-Cap. Electronics Workbench позволяет экспортировать результаты работ в САПР Orcad, Protel, Tango, Eagle и Layo1.

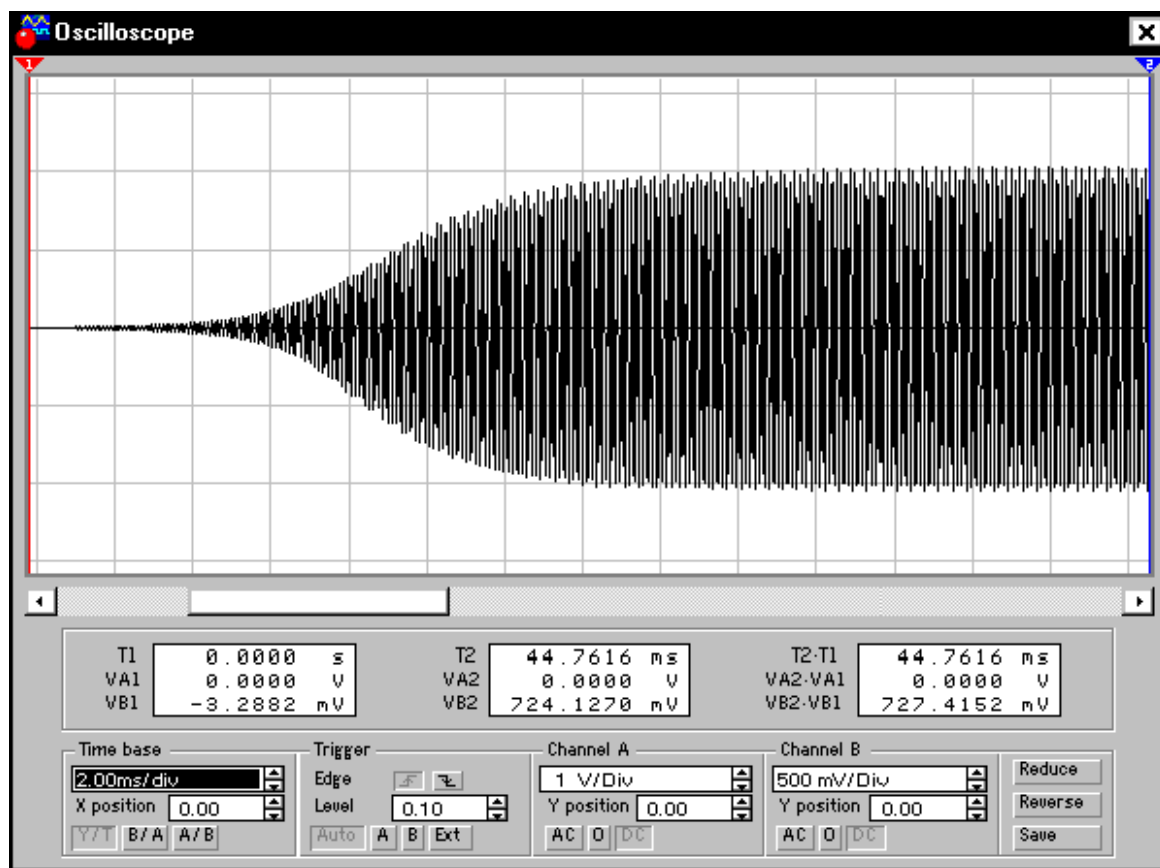


Рис. 10. Результаты работы программы Electronics Workbench

Electronics Workbench состоит из трех основных модулей: Multisim, Ultiboard, Ultiroute.

Multisim обеспечивает ввод электрических принципиальных схем, моделирование смешанных аналого-цифровых устройств с помощью алгоритмов SPICE, текстовое описание цифровых устройств на языках высокого уровня VHDL и Verilog, их моделирование и синтез ПЛИС (Multisim V6 VHDL).

Ultiboard и Ultiroute являются графическими редакторами печатных плат: Ultiboard – с простейшим алгоритмом автотрассировки соединений (рис. 11), Ultiroute – с автоматическим размещением компонентов и трассировки печатных плат с расширенными возможностями.

MultiSim – средство разработки и моделирования электронных устройств – позволяет создать схему (рис. 12), используя обширную библиотеку компонентов, и эмулировать поведение интегральной схемы с помощью стандартного промышленного симулятора Spice. Начиная с версии 10.1, в Multisim интегрирован MCU Module, позволяющий добавить в Spice-эмулированную интегральную схему микроконтроллер и запрограммировать его на языке C или Ассемблере. Модуль позволяет эмулировать работу интегральной схемы с

микроконтроллером и различными дополнительными устройствами: постоянной и оперативной памятью, клавиатурой, а также графическими и буквенно-цифровыми жидкокристаллическими дисплеями.

На декабрь 2014 г. сегодняшний день актуальна версия MultiSim 13.X.

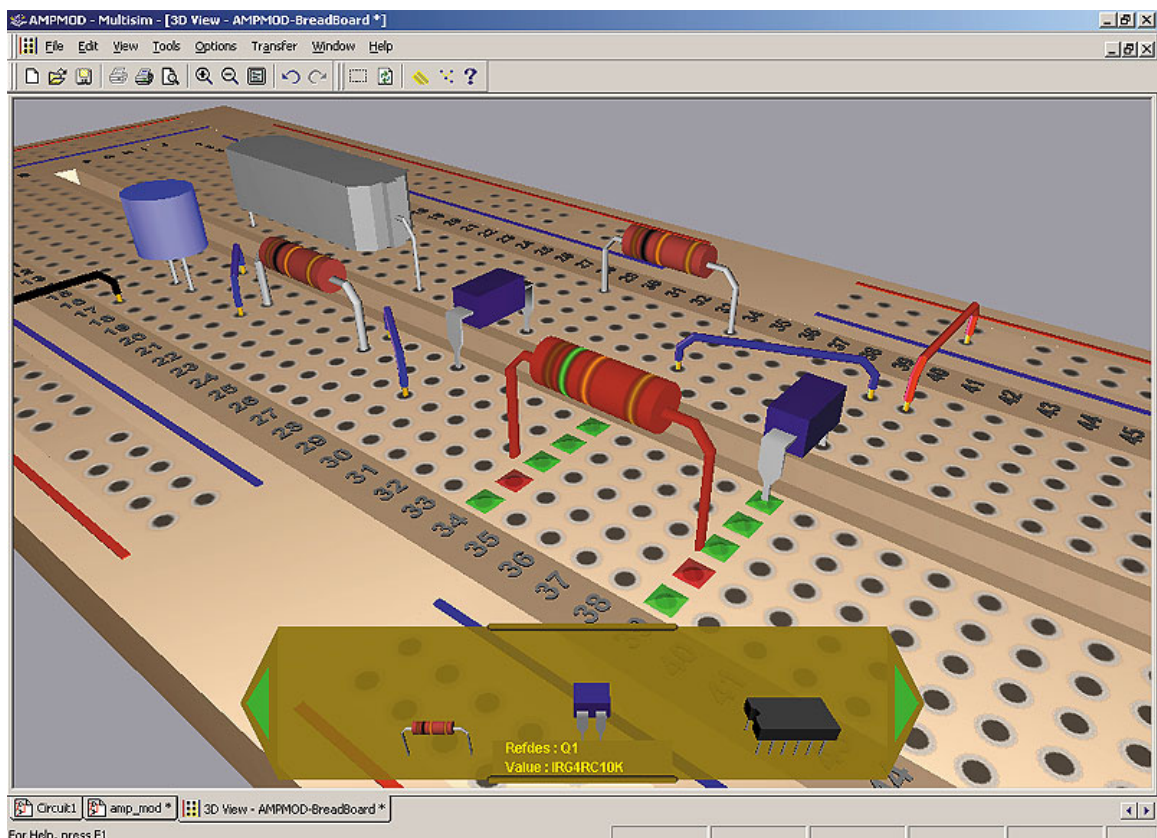


Рис. 11. Результаты работы программы Ultiboard

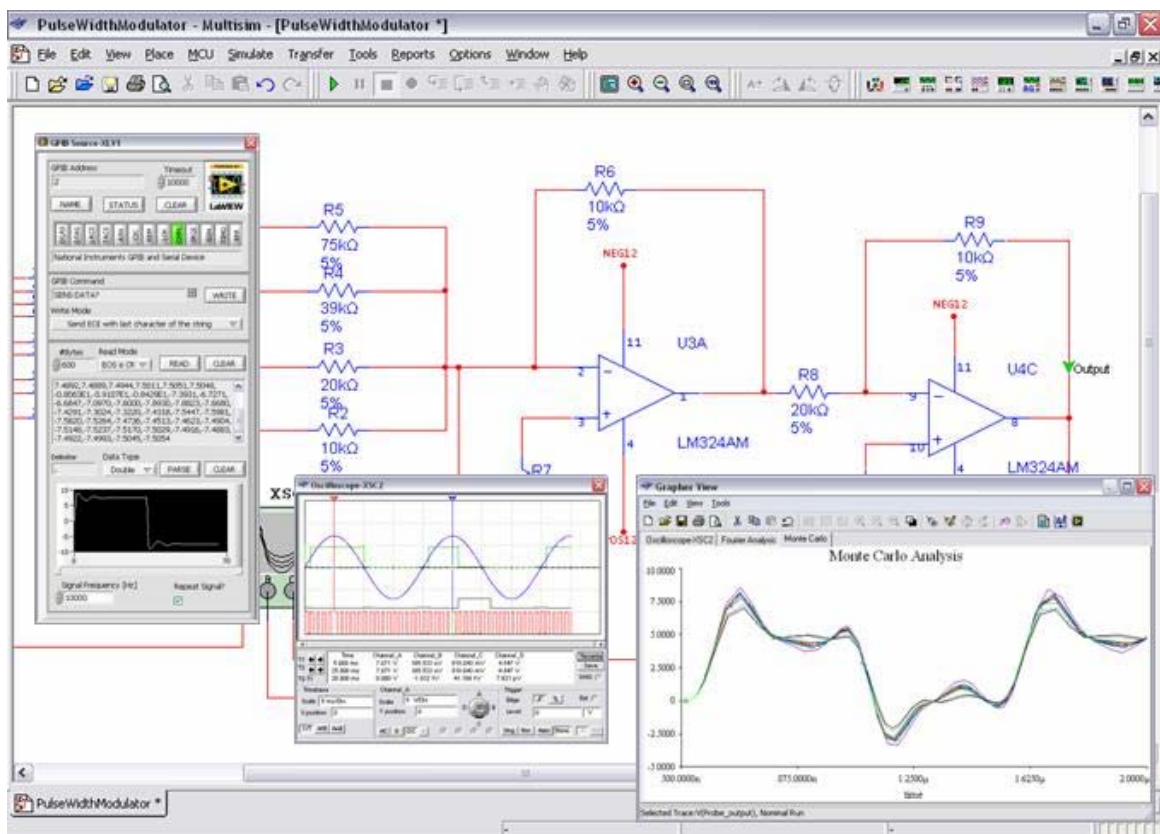


Рис. 12. Рабочее окно программы MultiSim

Micro-CAP (Spectrum Software). Micro-Cap (Microcomputer Circuit Analysis Program) – профессиональная программа аналогового, цифрового и смешанного моделирования и анализа цепей электронных устройств средней степени сложности.

Программа была написана в 1982 г. фирмой Spectrum Software, с тех пор она постоянно расширяется и совершенствуется. Фирма, в свою очередь, была основана Энди Томпсоном в феврале 1980 г., изначально позиционируясь на написании программ для Apple. Она расположена в одном из городов Кремниевой долины – Саннивейле (штат Калифорния, США).

Интуитивно понятный интерфейс, нетребовательность к вычислительным ресурсам ПК и большой спектр возможностей сделали популярной Micro-Cap среди специалистов и студентов. Алгоритм работы включает в себя создание электрической цепи в графическом редакторе (рис. 13), задание параметров анализа и анализ полученных данных. Программа самостоятельно составляет уравнения цепи и проводит моментальный расчёт. Любое изменение схемы или параметров элементов приводит к автоматическому обновлению результатов.

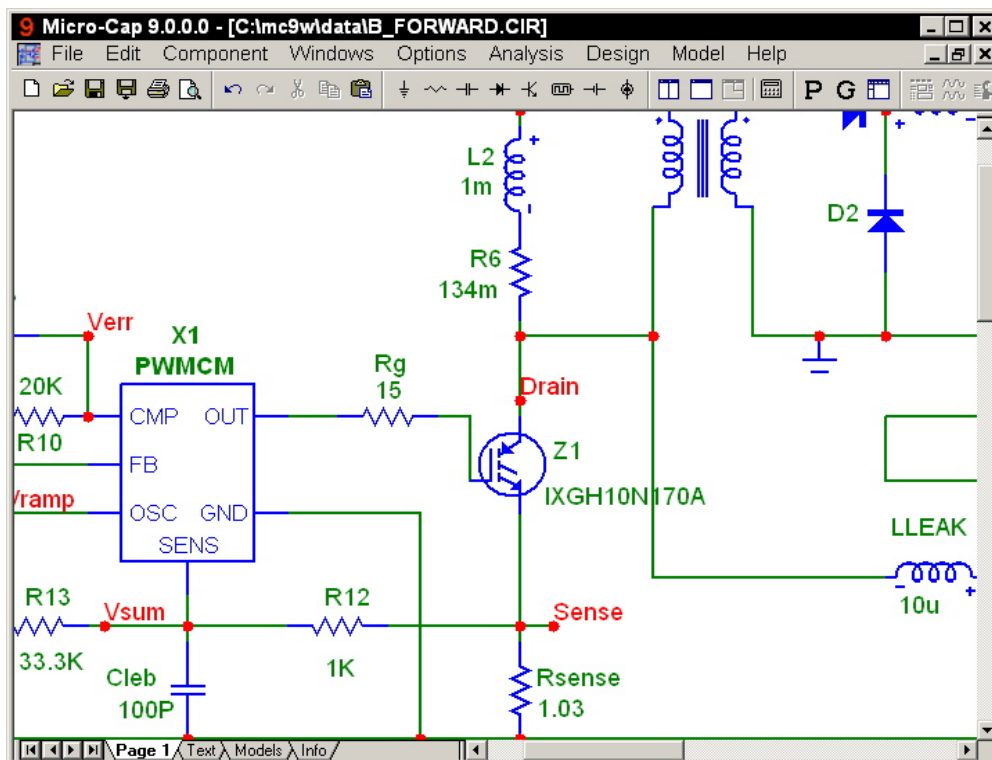


Рис. 13. Рабочее окно программы Micro-Cap

Графический редактор опирается на библиотеки электронных компонентов, которые можно пополнять на основе экспериментальных или справочных данных с помощью встроенного модуля Shape Editor. Все номиналы и параметры элементов могут быть как неизменными, так и зависящими от температуры, времени, частоты, состояния схемы, параметров других компонентов.

Анимированные детали (светодиоды, реле, семисегментные индикаторы и некоторые другие элементы) изменяют состояние в соответствии с поступающими на них сигналами. Моделирование включает в себя целый набор различных анализов (рис. 14): переходных процессов, передаточных характеристик по постоянному току, малосигнальных частотных характеристик, чувствительностей по постоянному току, нелинейных искажений, метода Монте-Карло и многих других. Опытные пользователи могут создавать свои макромоделли, которые облегчают имитационное моделирование без потерь информации. Допускается одновременно использовать различные стандарты элементов схемы. Полная поддержка Spice -моделей позволяет применять проекты из других программ (DesignLab, OrCAD, P-CAD). Из недостатков можно отметить лишь необходимость установки дополнительных элементов, так как объем библиотек Micro-Cap (даже в полной версии) явно недостаточен.

Программа-дизайнер Micro-Cap Active Filter Designer (рис. 15) предлагает возможность автоматического расчета активных и пассивных фильтров Баттерворта, Чебышева, Бесселя, эллиптических: низких частот, высоких частот, полосовых, режекторных. Созданный фильтр можно вставить в проект. Designer также предлагает пользователю выбор операционных усилителей для использования в активных фильтрах. Он может создавать фильтры либо для точного значения, либо для стандартных значений импеданса.

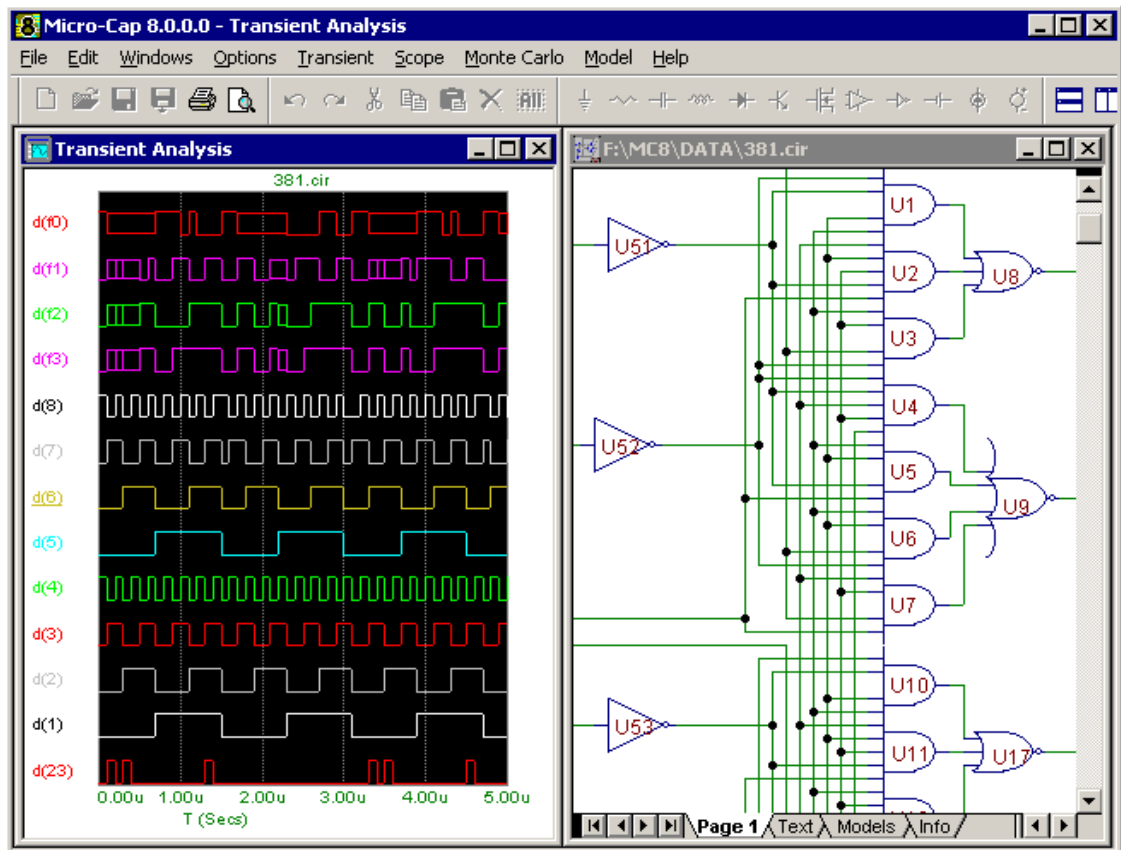


Рис. 14. Рабочее окно результатов работы программы Micro-Cap

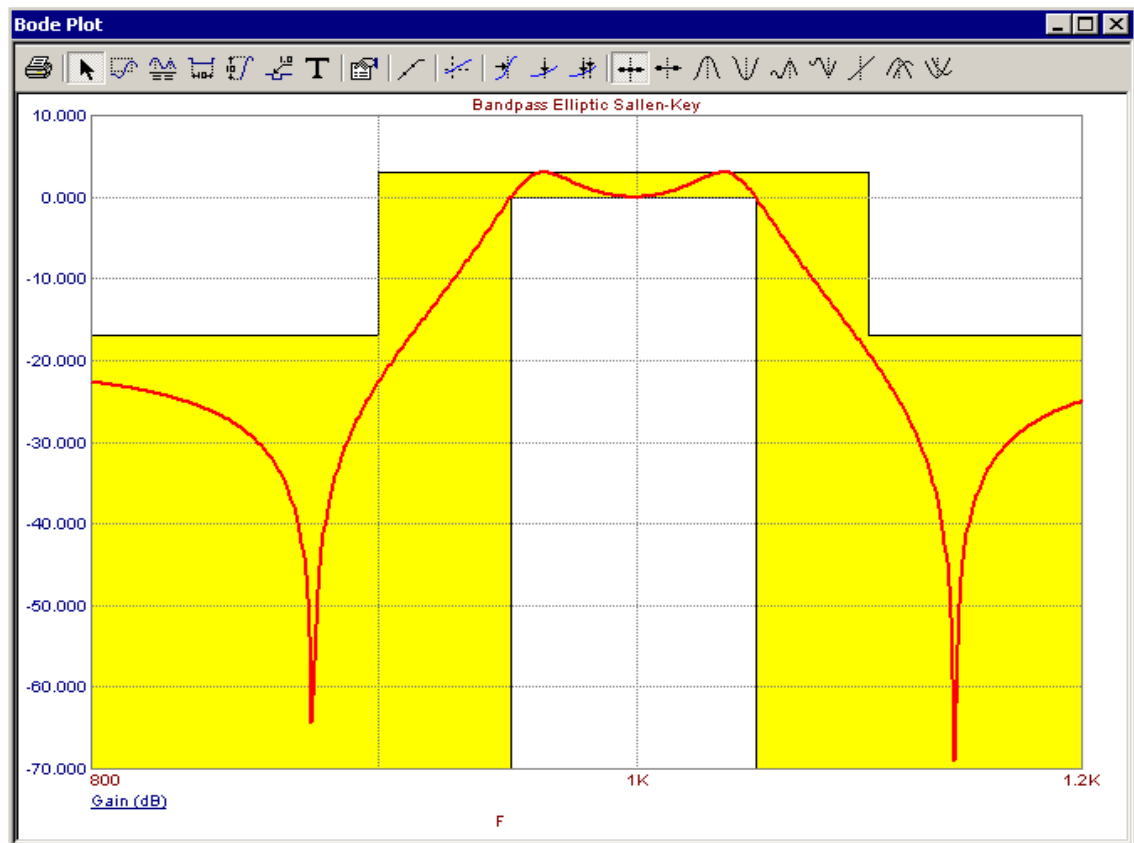


Рис. 15. Рабочее окно программы-дизайнера Micro-Cap Active filter designer

Стоимость Micro-Cap составляет несколько тысяч долларов, однако на сайте разработчика можно скачать свободно распространяемую Evaluation Version, которая обладает многими возможностями полнофункциональной версии. Основные отличия – не более 50 элементов в схеме, урезанная библиотека компонентов, ограничения на построение ряда графиков и медленная скорость работы.

Последней на декабрь 2014 г. является версия Micro-Cap 11 (2013).

4. СИСТЕМЫ «СКВОЗНОГО» ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

4.1. Продукты Cadence

Технологии одной из ведущих компаний – разработчиков «электронных» САПР фирмы Cadence Design Systems – охватывают практически все этапы проектирования сложных электронных устройств и систем – от системного уровня, свойственного разработчикам конечной аппаратуры, до уровней логического, схемотехнического и топологического проектирования сверхбольших интегральных схем (СБИС), их корпусирования, а также разработки печатных плат, на которых эти СБИС будут монтироваться.

Cadence Design Systems имеет на сегодня группу программ, объединенных на платформе Cadence SPB (Silicon – Package – PCB), ранее – PCB Design Studio. Часть из них является собственной разработкой Cadence (Allegro, Spectra), часть досталась при слиянии с фирмой OrCAD Systems (OrCAD Capture, PSpice).

Концепция платформы направлена на конечную цель – создание «электронного» продукта и включает в себя как разработку СБИС (чипов), так и их корпусов, а также печатных плат (рис. 16). Современный подход предполагает использование единого информационного пространства на всех этих и последующих этапах жизненного цикла проектируемого продукта.

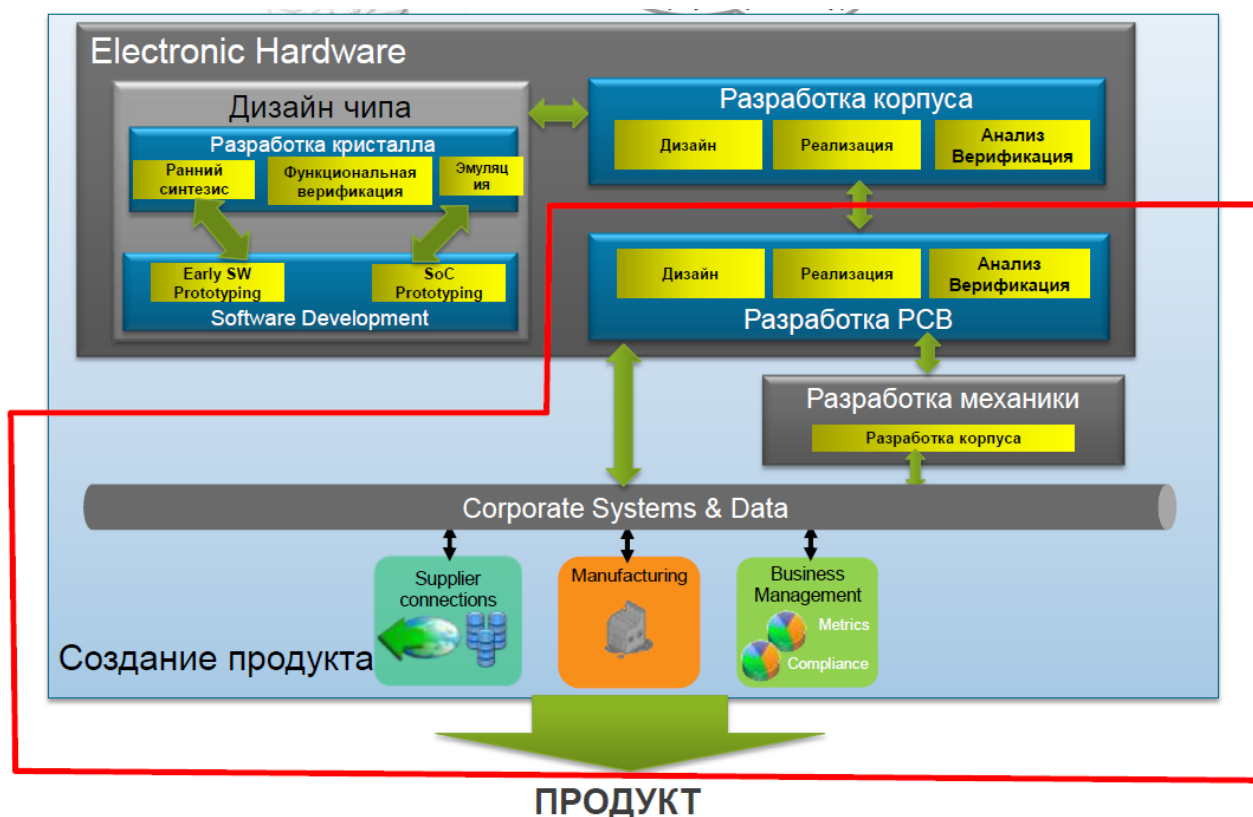


Рис. 16. Концепция платформы Cadence SPB

Пытаясь взять лучшее от каждой из частей, Cadence с каждой версией повышает степень интеграции своих программ, часто используя термин OrCAD/Allegro. Вместе с тем, существует разделение этих продуктов: OrCAD можно позиционировать как систему проектирования «простых» проектов, Allegro – более сложных. Соответственно различаются и их функциональные возможности, требования и стоимость (рис. 17).

В состав Cadence SPB (PCB Design Studio) на сегодня входят:

Orcad Capture CIS – схемный редактор с интегрированными средствами управления и доступом через Интернет к базе стандартных компонентов;



Рис. 17. Масштабируемость Cadence OrCAD/Allegro

Concept HDL – альтернативный схемный редактор. Используется, как правило, при повторном использовании разработок и совместной работе инженеров. Каждый из двух редакторов имеет свои подходы и сильные стороны. Orcad Capture CIS используется для работы над простым проектом. Concept HDL подходит для групп, разрабатывающих более сложные проекты. При этом всю работу можно разделить на однозадачные модули и распределить их между проектировщиками;

PSPice/AMS Simulator – программа моделирования аналоговых и смешанных устройств;

PE Librarian – программа, предназначенная для создания библиотек компонентов и управления этими библиотеками;

OrCAD/Allegro PCB Editor – топологический редактор печатных плат, служит для размещения и редактирования конструктивов электронных компонентов и проводников, а также для подготовки устройств к производству;

SPECCTRA – содержит редактор расстановки компонентов Placement Editor и редактор полуавтоматической бессеточной трассировки проводников Route Editor;

SPECCTRA Autorouter – автоматический трассировщик проводников (тоже бессеточный);

OrCAD/Allegro PCB Signal Integrity – программа анализа целостности сигналов.

Orcad Capture. Программа Cadence OrCAD Capture (начиная еще с DOSовских версий) стала де-факто стандартом в своей области благодаря удобному интуитивно понятному интерфейсу и наличию многообразных функций для быстрого выполнения нужных действий. Для ускорения процесса проектирования используется «надстройка» CIS (Component Interchange System), которая открывает доступ к справочной информации производителей электронных компонентов как через Интернет так и через центральную базу данных.

Средства поиска позволяют найти необходимые компоненты, используя в качестве критерия поиска различные параметры. После того как нашли компонент, CIS переписывает все его данные: логические, физические, данные производителя, информацию для заказа и т.д. и поддерживает доступ к ним из OrCAD Capture. Если модифицируются компоненты, база данных или схема, то обновление происходит нажатием одной кнопки. Двухнаправленная интеграция с редактором печатных плат обеспечивает соответствие схемы и топологии в случае перестановки отдельных элементов, выводов или изменения параметров и названий компонентов.

Основные функции OrCAD Capture:

1. *Схемотехнический редактор* построен на традиционном для OrCAD Capture интерфейсе (рис. 18), который сочетает в себе интуитивность с инструментарием и функциональностью, необходимыми для решения задач схемотехнического проектирования. Для более сложных схем предусмотрен многостраничный и иерархический режим работы. Система обеспечивает аккуратность соединений между всеми частями схемы.

2. *Центральная информационная система* обеспечивает синхронизацию внешних данных с информацией внутри проекта. С помощью стандарта Microsoft ODBC система может интегрироваться с любой из известных баз данных, начиная с Excel или Access и заканчивая системами MRP, ERP или PLM. Гибкость системы позволяет нескольким пользователям осуществлять одновременный доступ к информации без взаимовлияния.

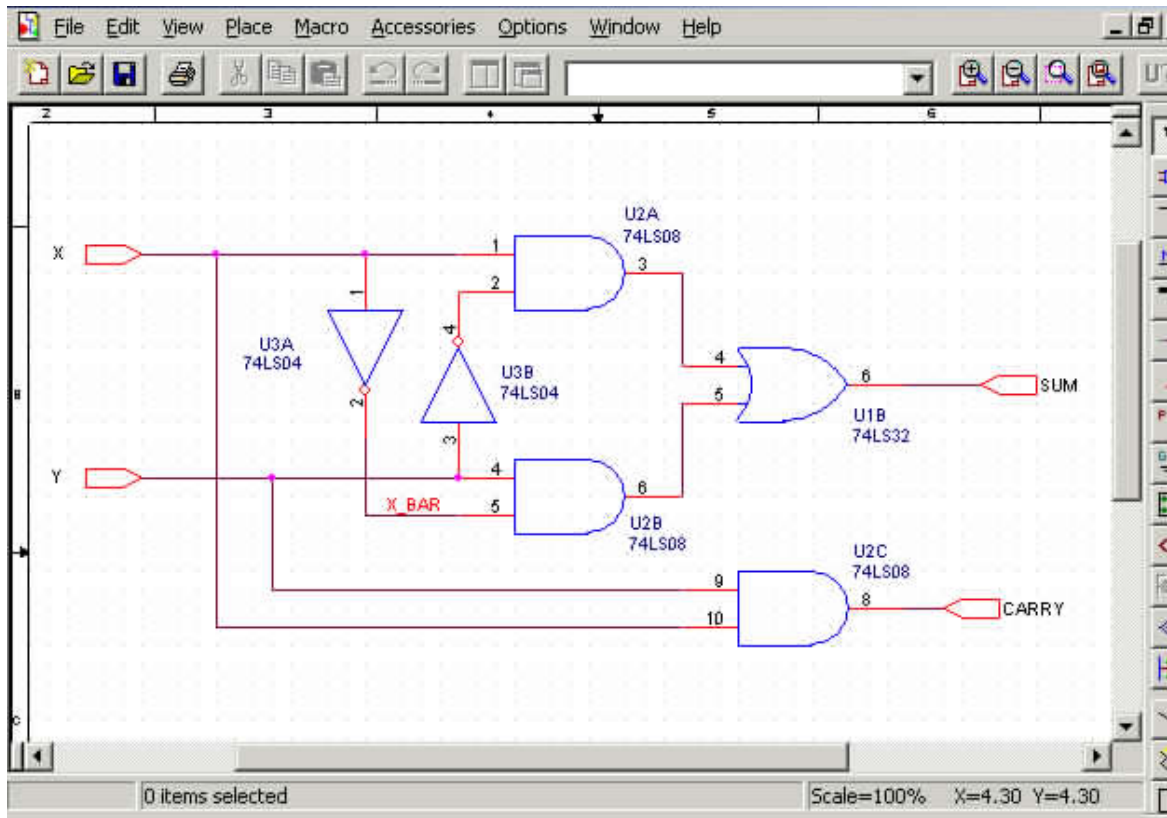


Рис. 18. Окно программы OrCAD Capture

3. *Выбор компонентов.* Благодаря быстрому доступу, удобной системе поиска и возможности добавления компонентов в проект непосредственно из внешней базы, CIS значительно сокращает время разработки печатных плат. Добавление компонентов прямо из центральной базы данных (рис. 19) уменьшает вероятность ошибок при составлении списка элементов и позволяет контролировать использование компонентов, соответствующих различным стандартам.

4. *Поиск компонентов через Интернет.* Одна из функций в CIS – возможность поиска элементов через Интернет с помощью Internet Component Assistant (ICA). Так же как и в случае с внутренней базой данных, поиск может осуществляться по любым электрическим или коммерческим свойствам компонентов. Бесплатная база данных, именуемая Cadence ActiveParts, содержит более двух миллионов компонентов, поиск которых может быть осуществлён по необходимым критериям с предварительным просмотром перед добавлением в схему.

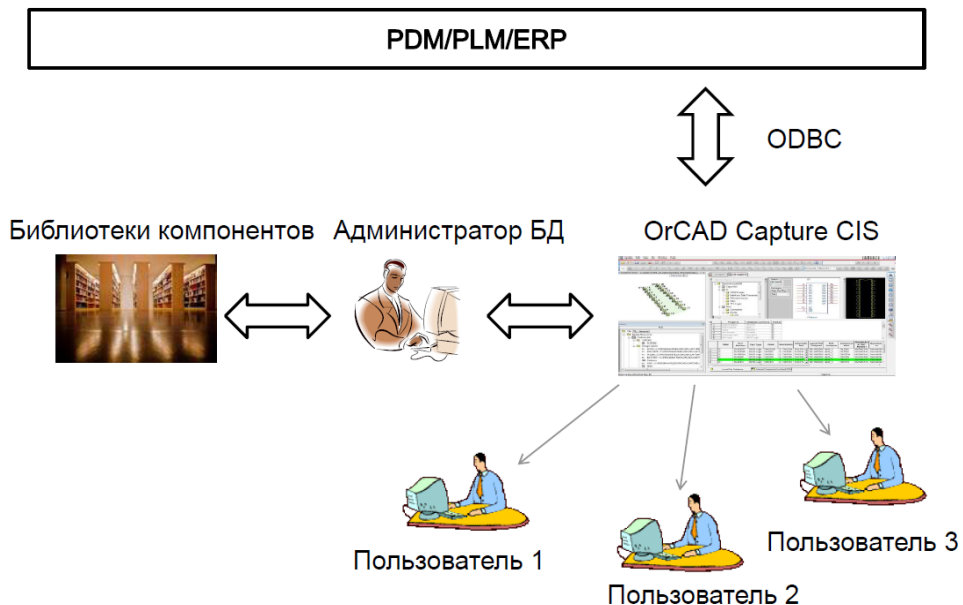


Рис. 19. Структура работы с центральной базой данных на примере библиотеки компонентов

5. *Интеграция с другими продуктами OrCAD.* Двусторонняя интеграция с OrCAD/Allegro PCB Editor обеспечивает безошибочную передачу данных из схемы на печатную плату и наоборот. Автоматизируется синхронизация схемы после разрешённой замены проводников в плате. Обеспечивается сквозное выделение проводников и компонентов. OrCAD Capture имеет возможность создания списка соединений (netlist) для других САПР.

6. *Возможность создания схем и перечней элементов по ГОСТ.*

На декабрь 2014 г. последней версией является Cadence OrCAD Capture 16.6 (2014 г.).

OrCAD/Allegro PCB Editor. Топологический редактор печатных плат OrCAD/Allegro PCB Editor считается одним из лучших в мире в своем классе. Он является интерактивной оболочкой для создания и редактирования сложных многослойных печатных плат. Его обширнейшие возможности отвечают самым современным требованиям. В нем компания Cadence впервые использовала концепцию разработки «под управлением правил»: ограничения на размещение компонентов, объединение их в группы, задание ширины проводников для критических цепей и т.д. (рис. 20).

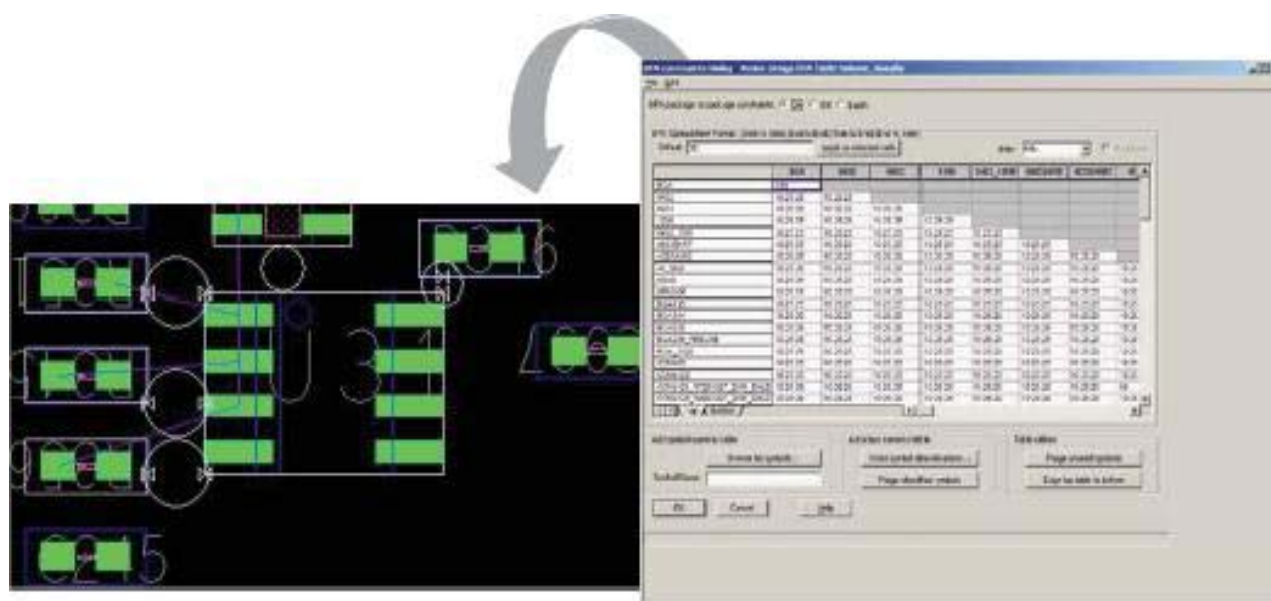


Рис. 20. Правила (справа) технологического размещения компонентов на печатной плате (слева)

Современное производство печатных плат требует применения очень сложных и мощных средств проектирования слоев металлизации. Необходимо свести число этих слоев к минимуму для уменьшения конечной стоимости изделия. Данную задачу решает система Allegro PCB, которая содержит высокоэффективные инструменты планирования и редактирования слоев печатных плат для создания на ней равномерного рассеивания мощности. Система включает инструменты выбора и разделения топологии печатных плат по слоям, негативного или позитивного представления внутренних слоев металлизации, а также различные опции, позволяющие пользователю определять фрагменты слоев питания. Пользователю предоставлен полный набор инструментов для изготовления фотошаблонов и печатных плат, а также их тестирования (в том числе таблица апертур формата Gerber 274x; таблица NCDrill, содержащая сведения об общем количестве, координатах и размерах отверстий, а также различные чертежи печатных плат). Возможна полная интеграция пакета с внутренними или специфическими внешними системами, применяемыми на том или ином производстве (рис. 21).

Набор функций позволяет решать множество проектных и производственных задач. Мощная система планирования и размещения компонентов и их групп включает в себя возможность для копирования фрагментов топологии в виде модулей-шаблонов для радикального сокращения этапа размещения.

Создание и редактирование топологии на печатных платах основано на технологиях расталкивания и огибания различных объектов – проводников, переходных отверстий в режиме реального времени, что обеспечивает наглядный контроль над установленными правилами длин и задержек. Разрыв и восстановление в динамических полигонах во время размещения компонентов и прокладывания трасс происходит в реальном времени.

С помощью PCB Editor также можно выпустить полный набор файлов для фотоплоттера, обработки деталей печатных плат и файлов для тестирования (Gerber 274x, NC drill и т.д.).

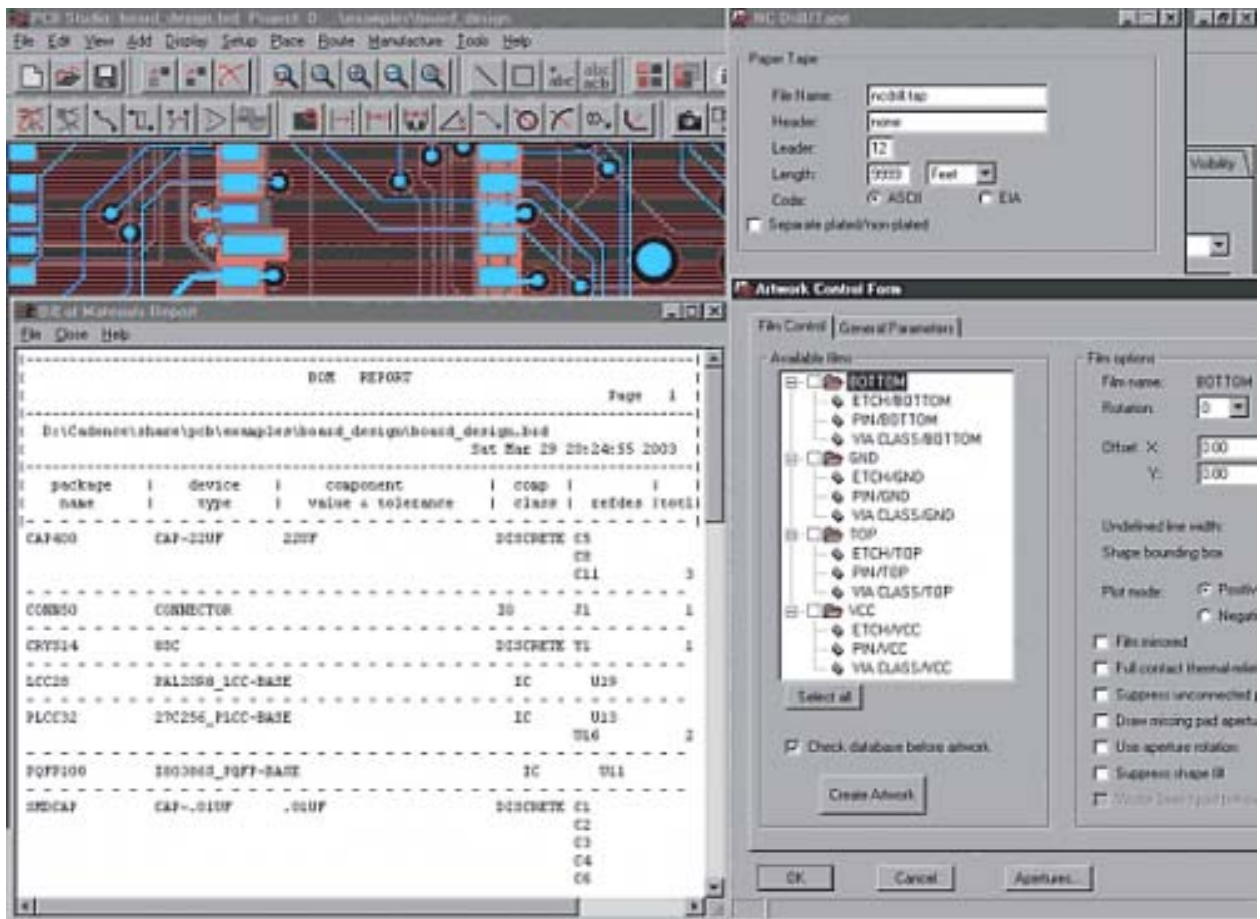


Рис. 21. Окно программы OrCAD/Allegro PCB Editor

К OrCAD/Allegro PCB Editor могут быть подключены следующие опции.

Опция RF. Разработка топологий высокочастотных (ВЧ) и СВЧ-плат. Многие современные цифровые печатные платы содержат цепи, работающие в радиочастотном диапазоне. К этим цепям предъявляются специфические требования, и обычно они разрабатываются и моделируются в среде проектирования Agilent ADS (прежнее название Agilent EEsof). Однако эти цепи должны находиться на одной печатной плате с другими цифровыми и аналоговыми цепями. Для этого в редакторе OrCAD/Allegro PCB Editor в процессе проектирования печатной платы есть возможность импорта радиочастотных блоков, спроектированных в Agilent ADS, а кроме того, ряд возможностей работы с такими компонентами:

- создание новых ВЧ-компонентов;
- настройка параметров ВЧ-компонентов;
- использование ВЧ-элементов при трассировке;
- перенос ВЧ-элементов или групп со слоя на слой;
- вычисление электрических параметров полосковых линий;
- конвертация ВЧ-компонентов в полигоны;
- преобразование трасс в полосковые линии и параметризация «полосок».

Опция Miniaturization. Микроминиатюризация:

- микроотверстия и пространственные, пакетные правила, включая правила типа «переходное отверстие в контактной площадке»;
- поддержка правил для плат со встроенными компонентами;
- поддержка правил для компонентов, встроенных на внутренние слои платы;
- трассировка по нелинейному контуру (для гибких плат);
- динамическое усиление проводников на границе гибкой и жесткой части;
- контроль многоярусных микропереходов.

Опция PCB Team Design дает возможность нескольким инженерам асинхронно взаимодействовать в процессе иерархической разработки изделия. Проект может быть разделен на предварительно заданные иерархические уровни и распределен между членами коллектива, предоставляя в распоряжение каждого инженера изолированное пространство для разработки и верификации своей части проекта.

Опция FPGA System Planner. Оптимизация ПЛИС под печатную плату.

Опция 3D-визуализации печатной платы. Пример использования данной опции показан на рис. 22.

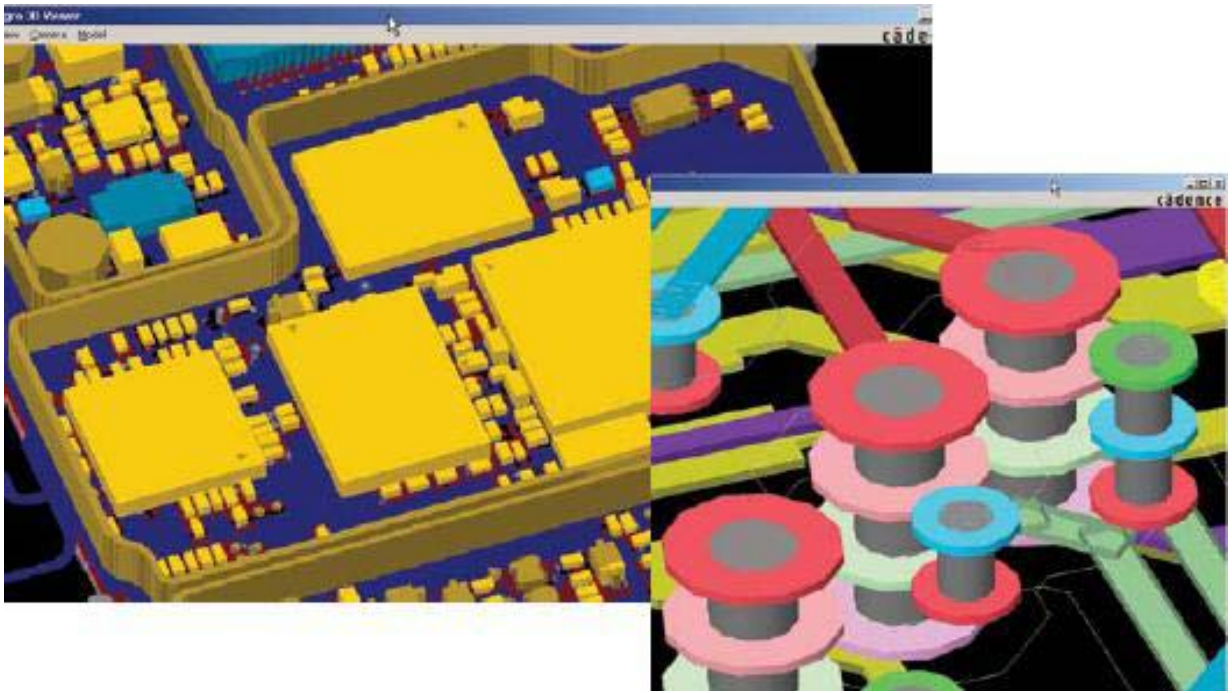


Рис. 22. 3D-визуализация печатной платы

PSpice/AMS Simulator. Программа PSpice/Allegro AMS Smulator служит для выполнения аналогового численного моделирования. Пользователь может сконфигурировать условные обозначения на схеме таким образом, чтобы поставить им в соответствие Spice-модели и проводить численное моделирование. Также можно легко находить соответствие между компонентами электрической принципиальной схемы, их местоположением на печатной плате и результатами моделирования для быстрого определения различных характеристик (рис. 23).

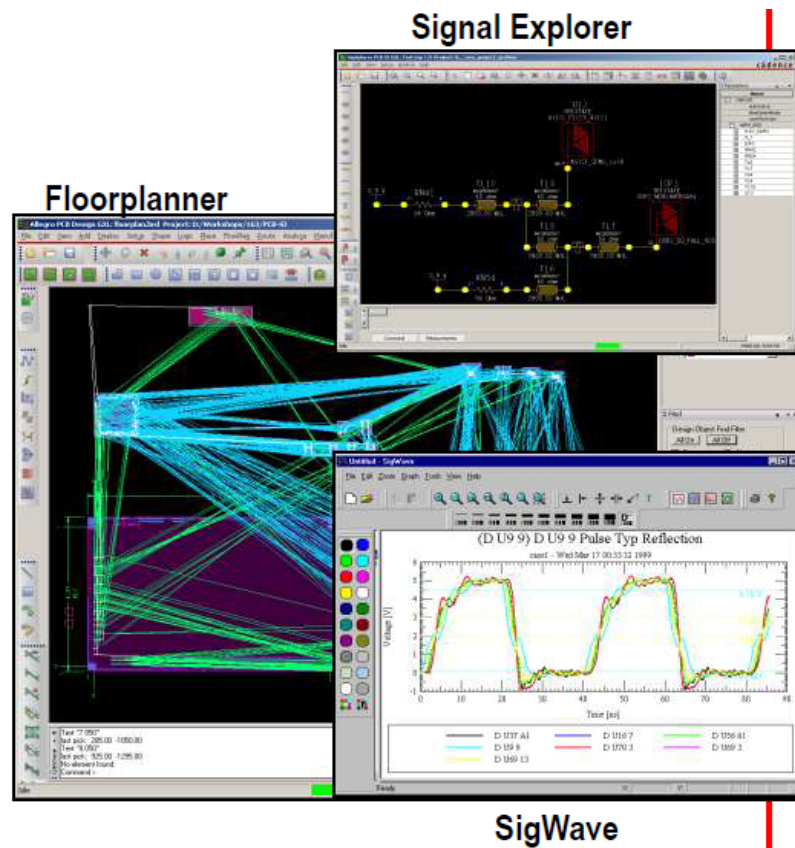


Рис. 23. Соответствие между компонентами электрической принципиальной схемы, их местоположением на печатной плате и результатами моделирования в PSpice/Allegro AMS Simulator

OrCAD/Allegro совместим с продуктами Microsoft и предоставляет возможность конфигурации панели команд. Используя специализированный язык, можно настроить среду под свои требования и желания.

Новая стратегия Cadence предполагает не постоянный выход новых версий, а их обновления (по заявлениям раз в квартал). Распространение программы платное, но имеется пробная версия последняя на декабрь 2014 г. версия программы – OrCAD/Allegro SPB 16.6.

SPECCTRA. SPECCTRA – программа автоматической трассировки печатных плат компании Cadence Design Systems. Иногда она встречается под названием Allegro PCB Router. На декабрь 2014 г. последней является версия 16.5.

Программа SPECCTRA успешно трассирует платы большой сложности благодаря применению нового принципа представления графических данных, так называемой ShapeBased-технологии. В отличие от известных ранее пакетов, в которых графические объекты представлены в виде набора координат точек, в этой программе используются более компактные способы их математического описания. За счет этого повышается эффективность трассировки печатных плат с высокой плотностью расположения компонентов, обеспечивается автоматическая трассировка одной и той же цепи трассами разной ширины и др.

Автотрассировщик SPECCTRA использует адаптивные алгоритмы, реализуемые за несколько проходов трассировки. На первом проходе выполняется соединение абсолютно всех проводников без обращения внимания на возможные конфликты, заключающиеся в пересечении проводников на одном слое и нарушении зазоров. На каждом последующем проходе автотрассировщик пытается уменьшить количество конфликтов, разрывая и вновь прокладывая связи (метод *rip-up-and-retry*) и проталкивая проводники, раздвигая соседние (метод *push-and-shove*). Информация о конфликтах на текущем проходе трассировки используется для “обучения” – изменения весовых коэффициентов (штрафов) так, чтобы путем изменения стратегии уменьшить количество конфликтов на следующем проходе.

Трассировка проводников проводится в три этапа: предварительная трассировка, автотрассировка, дополнительная обработка результатов автотрассировки.

Все фазы трассировки выполняются в интерактивном или автоматическом режиме с помощью набора специальных команд (рис. 24).

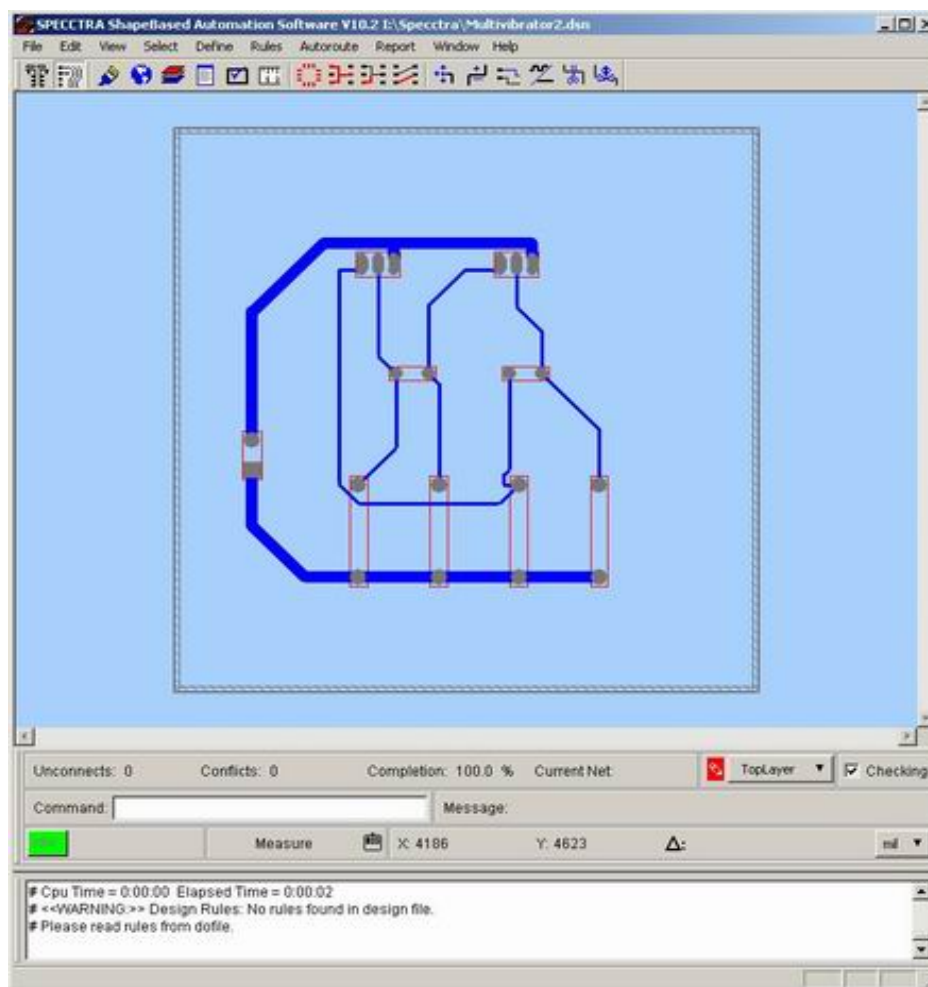


Рис. 24. Экран программы SPECCTRA в режиме интерактивного размещения компонентов

Всем объектам печатных плат присваивается определенный уровень иерархии и вводятся правила трассировки, составляющие стратегию трассировки. В результате можно, например, автоматически проложить трассу, состоящую из сегментов разной ширины, что невозможно в системе P-CAD. В стратегию трассировки можно включить большое количество подкоманд, задающих способы изгиба трасс, центрирование проводников и другие особенности стиля разводки конкретной платы.

Графический редактор EditRoute позволяет проконтролировать разведенную плату и внести в нее следующие изменения:

- проведение неразведенных трасс. При проведении трассы вокруг нее для наглядности пунктиром указывается допустимый зазор. В конце трассы стрелками показывается направление наиболее короткого пути;
- сдвиг трасс и переходных отверстий. При перемещении сегмента трассы она автоматически огибает препятствия, в частности переходные отверстия. И, наоборот, при перемещении переходных отверстий автоматически деформируются проводники;
- копирование проводников. Позволяет за одну операцию проложить несколько подобных трасс;
- замена типов переходных отверстий;
- удаление петель и изломов проводников, изменение их ширины.

Помимо обычного контроля соблюдения технологических зазоров типа «проводник–проводник», «проводник–переходное отверстие» и т.п., в системе SPECCTRA выполняется контроль максимальной длины параллельных проводников, расположенных на одном или двух смежных слоях, что позволяет уменьшить уровень перекрестных искажений и уровень шума проектируемого устройства. Контролируется также максимальное запаздывание сигнала в отдельных цепях.

SPECCTRA выполняет размещение компонентов и трассировку платы, на которой предварительно размещены компоненты с помощью одного из графических редакторов печатных плат: PCBoards, P-CAD, TangoPRO, PADS, Protel, OrCAD. Плата с предварительно размещенными компонентами транслируется в формат пакета SPECCTRA. Разведенная в программе SPECCTRA плата транслируется обратно. Процедура трансляции встроена в ACCEL P-CAD PCB и в графический редактор PCBoards системы Design Center, к остальным программам трансляторы поставляются отдельно.

К программе SPECCTRA дополнительно поставляются несколько опций, расширяющих ее функциональные возможности:

- ADV (Advanced) – расширение возможностей настройки стратегии трассировки сложных плат, в частности разных значений ширины трассы и зазоров на разных слоях трассировки, назначение индивидуальных правил трассировки отдельным цепям и т.п.;
- DFM (Design for Manufacturability) – повышение технологичности проекта, автоматическая генерация контрольных точек для всех или выделенных цепей, сглаживание углов, увеличение зазоров при наличии свободного пространства;
- HYB (Hybrid) – поддержка технологии межслойных переходных отверстий, размещения переходных отверстий рядом с выводами планарных компонентов, технологии монтажа гибкими проводниками;
- FST (Fast Circuit) – учет особенностей проектирования ВЧ-устройств, контроль максимальной длины параллельных проводников для уменьшения перекрестных искажений, контроль задержек распространения сигналов, разводка дифференциальных каскадов с обеспечением симметрии, скругление углов, специальные правила трассировки для выделенных областей, введение экранирующих цепей.

Кроме того, имеются разные варианты лицензий для разработки двухслойных печатных плат без ограничения количества компонентов, четырехслойных плат с количеством компонентов не более 4000 и 256-слойных печатных плат.

4.2. Продукты ALTIUM

Компания Altium или Altium Limited (до 2001 г. – Protel) является одним из ведущих разработчиков программного обеспечения для проектирования электронных устройств и систем. 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.

P-CAD. Система проектирования радиоэлектронной аппаратуры P-CAD на сегодняшний день является одной из самых известных и распространенных в нашей стране САПР печатных плат для компьютеров. Свое название Personal Computer-Aided Design (сокращенно P-CAD) пакет получил по имени разработавшей его фирмы – Personal CAD Systems.

В 1988 г. права на P-CAD получила фирма CADAM Company, которая выпустила версию P-CAD 4.5, завоевавшую тогда, еще в Советском Союзе, большую популярность. Она была русифицирована, для нее были созданы обширные библиотеки отечественных компонентов, а главное, именно для нее были решены проблемы выхода на отечественное технологическое оборудование – фотоплоттеры и сверлильные автоматы.

В 1992 г. P-CAD опять сменил своего владельца, теперь им стала фирма Altium, которая серьезно изменила пакет. Уже в июне 1992 г. она выпустила версию P-CAD 6.0, в которой перешла к арифметике с пла-

вающей запятой. Благодаря этому на два порядка повысилась разрешающая способность графических редакторов, были устранены многие проблемы и практически сняты ограничения на сложность проекта. Еще одно достоинство – повышение качества трассировки печатных плат за счет устранения ошибок в алгоритме оптимизации P-CAD 4.5. Но изменение форматов данных из-за перехода от 16- к 32-разрядным форматам описания данных потребовало создания специальных программ для конвертации существующих библиотек. Версия была русифицирована. Под русификацией (в случае этой версии и версии 4.5) подразумевалась только возможность нанесения символов кириллицы на схему и плату.

В октябре 1993 г. появилась версия 7.0, а в сентябре 1994 г. версия 8.0. Основные изменения были внесены в интерфейс системы, что повысило удобство работы с ней.

В 1995 г. права на пакет приобрела американская фирма Accel Technologies, которая вскоре завершила DOS-линию версий пакета, выпустив в начале 1997 г. их заключительный релиз – P-CAD 8.7.

За девять месяцев до этого фирма организовала презентацию давно ожидаемой версии системы для Windows. Она получила новое название – Accel EDA, в котором отражалось название фирмы и назначение пакета (EDA – Electronic Design Automation). В качестве стартового номера версии новой программы был выбран номер «12».

Осенью 1997 г. была выпущена 13-я версия Accel EDA, в которую были внесены некоторые изменения по сравнению с версией 12. Так, в частности, было увеличено число одновременно открытых библиотек с 10 до 99, добавлена утилита InterRoute Gold для интерактивной трассировки и т. д. В 1998 г. была выпущена версия 14 (которую планировали русифицировать, но события 1998 года в нашей стране помешали этому), а в сентябре 1999 г. версия 15 пакета Accel EDA.

В январе 2000 г. произошло слияние двух ведущих разработчиков EDA-систем: австралийской фирмы Protel International и американской Accel Technologies, которые объединили свои усилия под торговой маркой фирмы Protel. Фирма Protel решила вернуть прежнее название пакету. Он стал называться P-CAD 2000. Protel много сделала для развития пакета P-CAD и доведения его функциональности до уровня своего базового пакета Protel. Так, в состав пакета P-CAD 2000 был внедрен новый бессеточный трассировщик P-CAD Shape Based, который составил конкуренцию трассировщику SPECCTRA фирмы Cadence.

В версии P-CAD 2001 в пакет была добавлена система моделирования аналоговых, цифровых и смешанных (аналого-цифровых) схем SIM99, использующая популярный стандарт Spice, что перевело P-CAD из разряда чисто конструкторских систем проектирования печатных плат в систему сквозного проектирования электронных устройств.

Дальнейшее развитие система проектирования получила в версии P-CAD 2002, где во всех графических редакторах появилась поддержка "мыши с колесиком", в редакторе печатных плат появился новый инструмент навигации – «Менеджер проекта» и возможность раскрашивать линии электрических соединений в разные цвета.

В конце 2004 г. появилась версия P-CAD 2004. Система сохранила привычный интерфейс, все внесенные изменения коснулись только редактора печатных плат. Наиболее значимым из них явилась замена автотрассировщика P-CAD Shape Based на топологический автотрассировщик Situs.

Летом 2006 г. владелец программы, австралийская компания Altium, официально заявила, что прекращает развитие P-CAD. Разработчикам было предложено перейти на Altium Designer – более мощный продукт компании. После 30 июня 2008 г. легально приобрести P-CAD нельзя, но многие разработчики электронных устройств используют его до сих пор.

На сегодня P-CAD – это мощная система автоматизированного проектирования печатных плат электронных устройств (рис. 25), Программа способна выполнить весь цикл разработки, интерактивное размещение элементов и автотрассировку проводников, поиск ошибок на любой стадии проекта, подготовку документации, проверку целостности всех сигналов, анализ перекрестных искажений. Удобная справочная система и пользовательский интерфейс снижают "порог вхождения" для новичков.

P-CAD состоит из двух автономных модулей: Schematic (редактор электрических схем) и PCB (редактор печатных плат). Проекты схем могут содержать до 999 листов, а проекты плат – до 999 слоев размером 60x60 дюймов. Существуют возможности интерактивной разводки дифференциальных пар для минимизации электромагнитных помех, мультимаршрутная трассировка по заданным параметрам, ортогональное перетаскивание проводников.

Кроме основных подпрограмм, P-CAD имеет вспомогательные: Library Executive (менеджер библиотек), Symbol Editor (редактор символов элементов), Pattern Editor (редактор посадочных мест, корпусов элементов) и некоторые другие. Библиотеки P-CAD хранят более 27 000 элементов, сертифицированных по стандарту ISO 9001. Полностью поддерживаются форматы Gerber и ODB++.

Полный цикл проектирования печатных плат, выполняемый системой P-CAD, включает:

- графический ввод электрических схем;
- смешанное аналого-цифровое моделирование на основе ядра Spice3;
- упаковку схемы на печатной плате;
- интерактивное размещение компонентов;

- интерактивную и автоматическую трассировку проводников;
- контроль ошибок в схеме и на печатной плате;
- выпуск документации;
- анализ целостности сигналов и перекрестных искажений;
- подготовку файлов Gerber и NC Drill для производства печатных плат;
- подготовку библиотек символов, топологических посадочных мест и моделей компонентов.

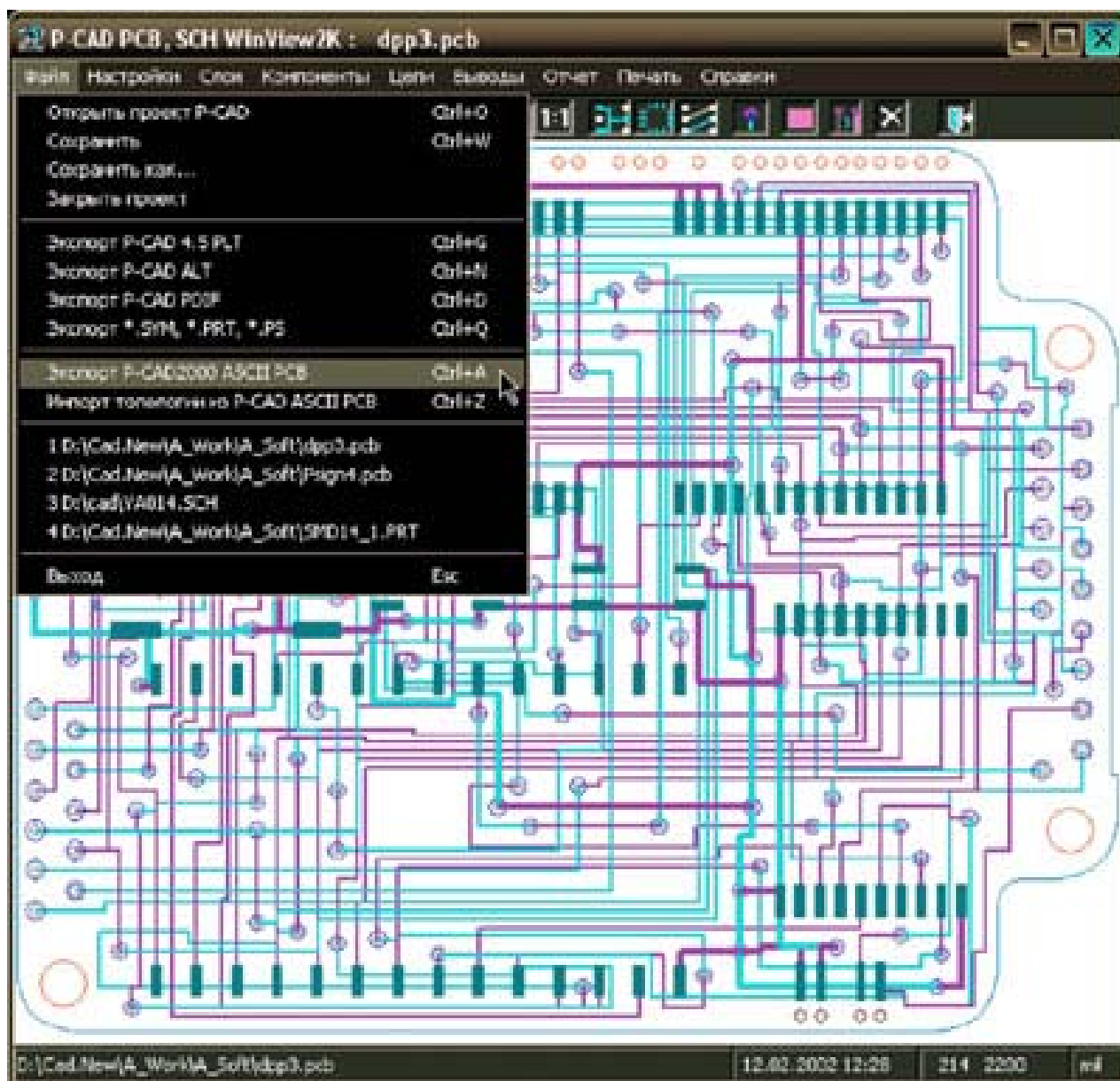


Рис. 25. Окно программы P-CAD

В числе последних улучшений P-CAD, как было упомянуто выше, кроме добавления мощного трассировщика Situs из среды проектирования Altium Designer, стало еще добавление пакета CAMtastic для подготовки печатных плат к производству и пакетов аналогового и цифрового моделирования nVisage и Xspice.

Система автоматизированного проектирования использует англоязычный интерфейс. Проверенных или официальных русификаторов нет. Использование шрифтов True Type позволяет делать надписи на русском языке.

Последней официальной версией стала P-CAD 2006 SP2, вышедшая в 2006 г.

Altium Designer. Altium Designer – комплексная система автоматизированного проектирования электронных средств, разработанная австралийской компанией Altium. Данная программа появилась в 2000 г. и изначально имела название Protel. В 2006 г. был проведен ребрендинг программного продукта, и он получил текущее название, последняя версия которого называется Altium Designer 13 (рис. 26).

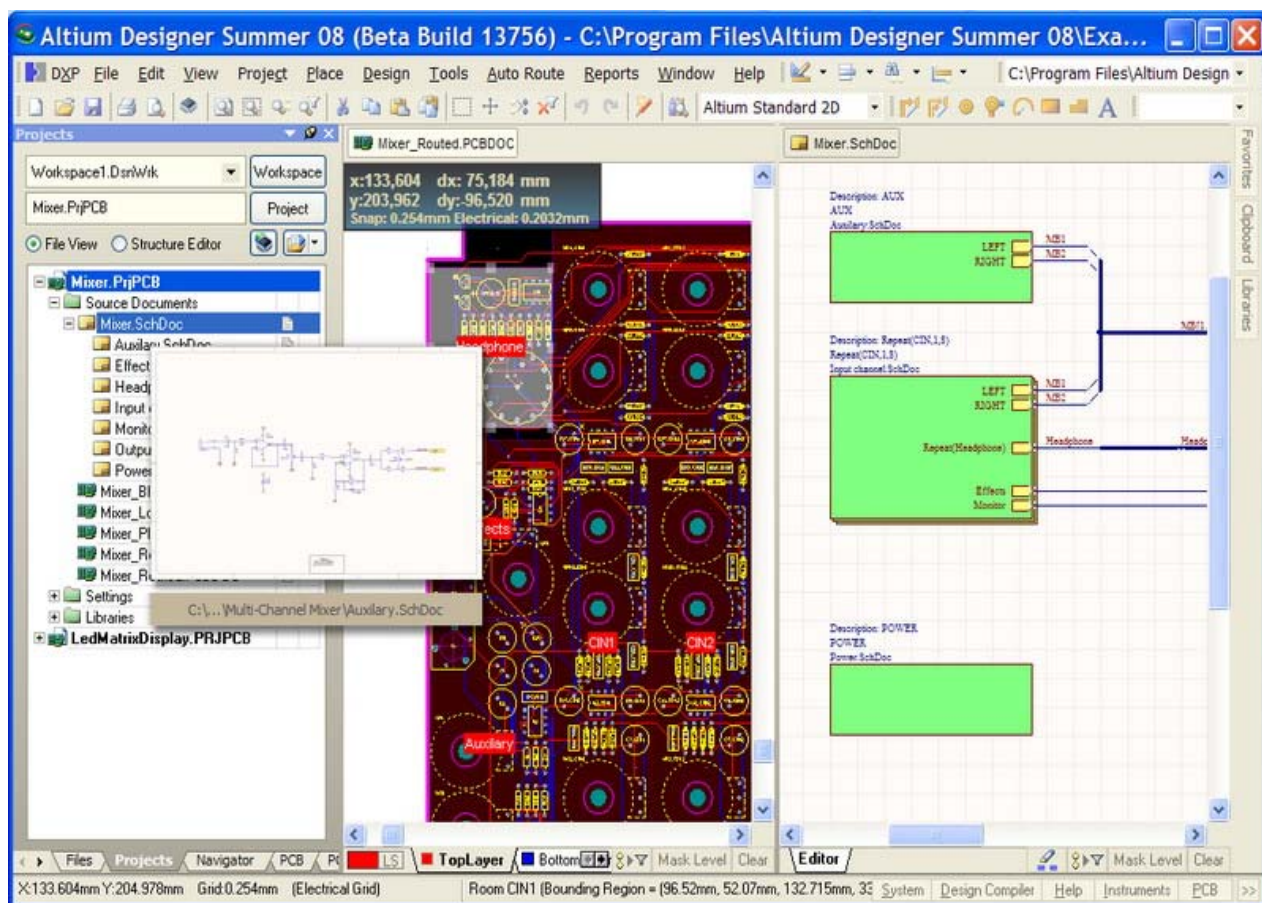


Рис. 26. Окно программы Altium Designer

Сегодня Altium Designer – это система, позволяющая реализовывать проекты электронных средств на уровне схемы или программного кода с последующей передачей информации проектировщику ПЛИС или печатных плат. 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 обратно.

Так же в качестве приоритетного направления разработчиков данной программы стоит отметить интеграцию ECAD и MCAD систем (рис. 27). Теперь разработка печатных плат возможна в трёхмерном виде с двунаправленной передачей информации в механические САПР (Solid Works, Pro/Engineer) (рис. 28).

Данный пакет состоит из двух продуктов, базирующихся на единой интегрированной платформе DXF; возможность работы с тем или иным из них зависит от типа приобретённой лицензии: Altium Designer Custom Board Front-End Design-проектирование ПЛИС, схемотехническое проектирование и моделирование; Altium Designer Custom Board Implementation – проектирование печатных плат и ПЛИС.

В состав программного комплекса Altium Designer входит 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 90 000 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.

Редактор печатных плат Altium Designer содержит мощные средства интерактивного размещения компонентов и трассировки проводников, которые совместно с интуитивной и полностью визуализированной системой установки правил проектирования максимально упрощают процесс разработки электроники. Инструменты трассировки учитывают все требования, предъявляемые современными технологиями разработок, например, при трассировке дифференциальных пар или ВЧ-участков плат. В состав программы входит автоматический трассировщик Situs, в котором используются наиболее прогрессивные алгоритмы трассировки печатных проводников.

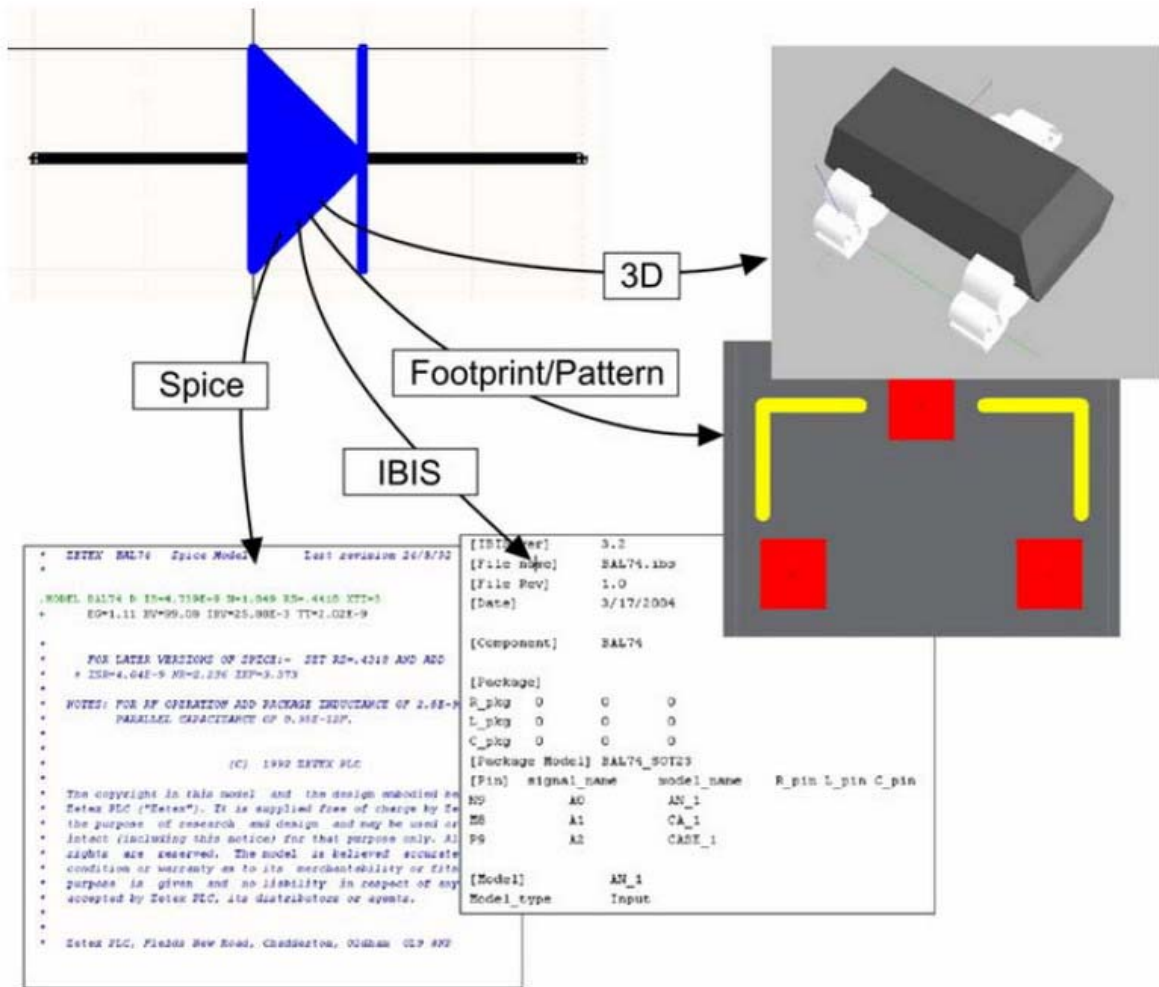


Рис. 27. Описание компонента в Altium Designer

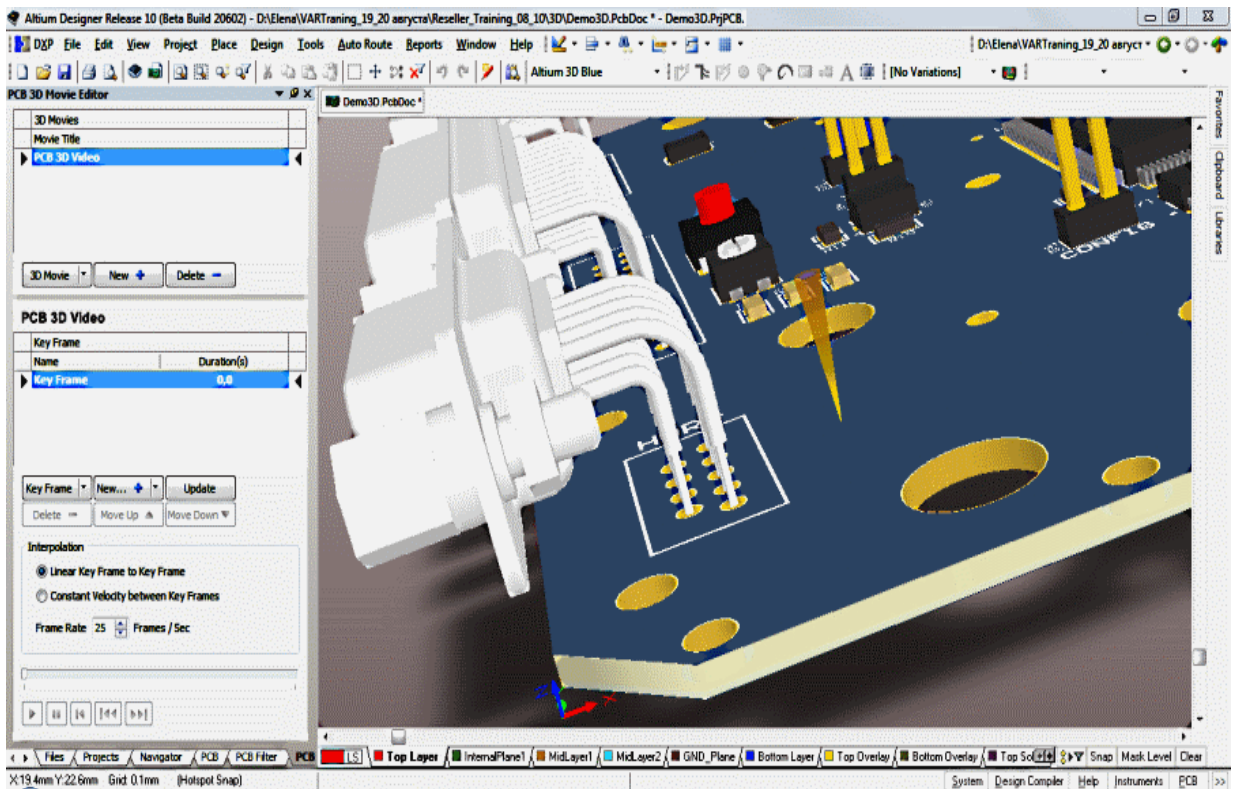


Рис. 28. Результат работы программы Altium Designer

Altium Designer предоставляет также следующие возможности.

Редактор библиотек. Библиотеки программы содержат более 90000 компонентов и постоянно обновляются, причем имеется возможность импорта уже готовых библиотек из PCAD 2000-2006, а также возможность создавать собственные библиотеки символов, посадочных мест, трехмерных моделей и текстовых Spice-моделей для моделирования.

Моделирование. Altium Designer позволяет выполнять стандартный набор процедур смешанного цифро-аналогового моделирования. Запуск цифро-аналогового моделирования на базе Spice 3f5/XSpice происходит непосредственно с введенной принципиальной схемы и предоставляет в распоряжение разработчика мощные средства анализа, включая такие, как вариация параметров и статистический анализ методом Монте-Карло. В комплект поставки включено более 20 000 математических моделей.

Анализ целостности сигналов (Signal Integrity). Предварительный расчет импеданса и возможных отражений может быть выполнен на схмотехническом уровне еще до этапа компоновки и трассировки печатных плат, позволяя предотвратить возможные проблемы на ранних стадиях проектирования и правильно подобрать элементную базу. Импедансы, отражения и возможные перекрестные отражения могут быть уточнены (перерасчитаны) на заключительных этапах разработки и контроля топологии. Целостность сигналов может быть проанализирована при верификации (функция DRC) топологии.

Редактор печатных плат. С помощью мощной, полностью визуализированной системы задания и проверки правил проектирования пользователь получает полный контроль над процессом разработки топологии.

Мощные возможности интерактивной трассировки, такие как трассировка нескольких параллельно идущих проводников (Multiple Traces) и разводка дифференциальных пар, вместе с рациональным набором правил проектирования значительно ускоряют работу конструктора.

Выходная документация. Altium Designer поддерживает широкий перечень выходных форматов, таких как: ODB++, Gerber, NC Drill, IPC-D-356, VHDL, может генерировать списки соединений в форматах большинства сторонних систем проектирования, а также генерировать разнообразные отчеты (например, Bill of Materials, на основе которого довольно просто оформить перечни элементов и спецификации по ЕСКД с помощью утилиты «Документатор» отечественной разработки, рис. 29).

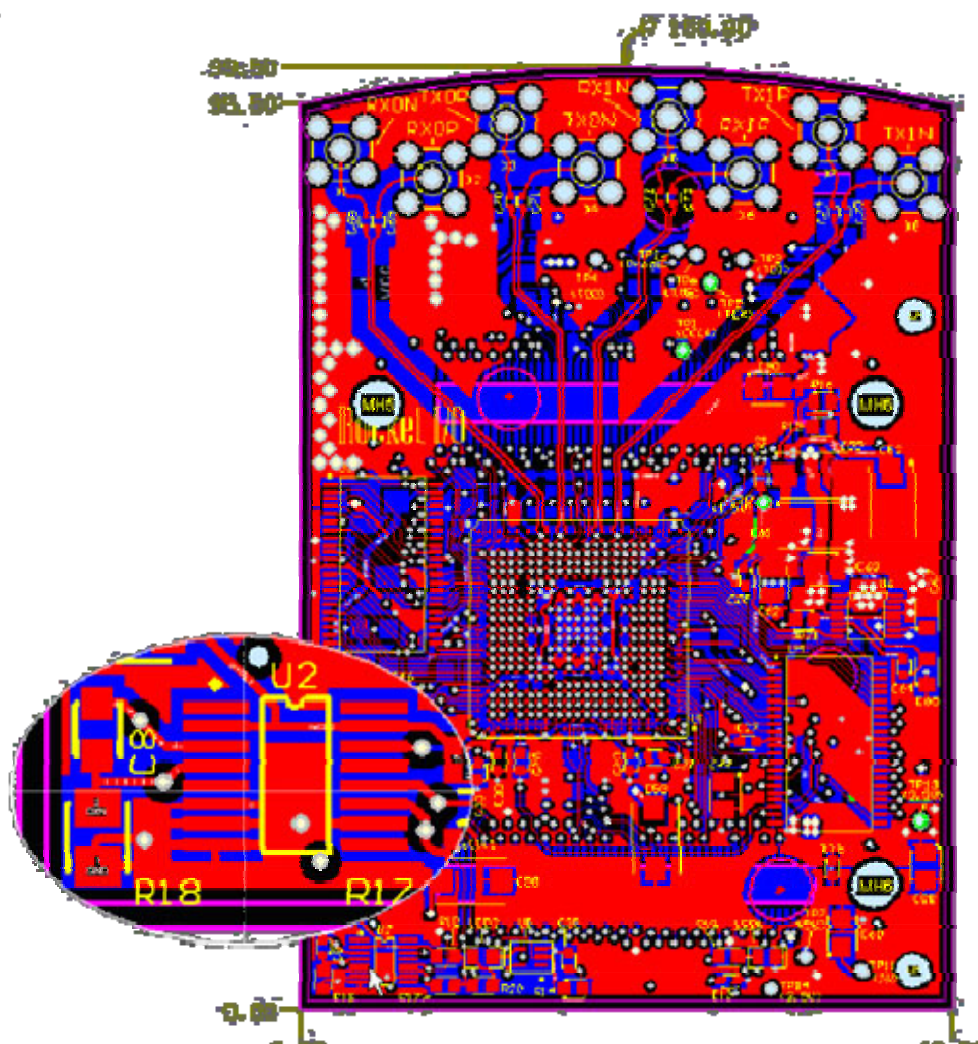


Рис. 29. Окно вывода фрагмента платы в программе Altium Designer

Работа над всеми частями проекта ведётся в единой управляющей оболочке Design Explorer, что позволяет разработчику контролировать целостность проекта на всех этапах проектирования. Таким образом, изменения, внесённые на любом этапе, автоматически передаются на все связанные стадии проекта. В дополнение к мощным средствам разработки, Altium Designer имеет широкие возможности импорта и экспорта сторонних систем проектирования и поддерживает практически все стандартные форматы выходных файлов (Gerber, ODB++, DXF и т. д.). Полностью поддерживаются все наработки в виде схем, плат и библиотек из всех последних версий P-CAD.

CircuitMaker. Пакет программ CircuitMaker относится к "легким" системам САПР электроники и в основном предназначен для обучения навыкам схемотехнического моделирования смешанных аналого-цифровых устройств и разработки печатных плат на компьютерах под управлением Windows. Он имеет некоторые особенности, ориентированные на применение в учебном процессе (рис. 30).

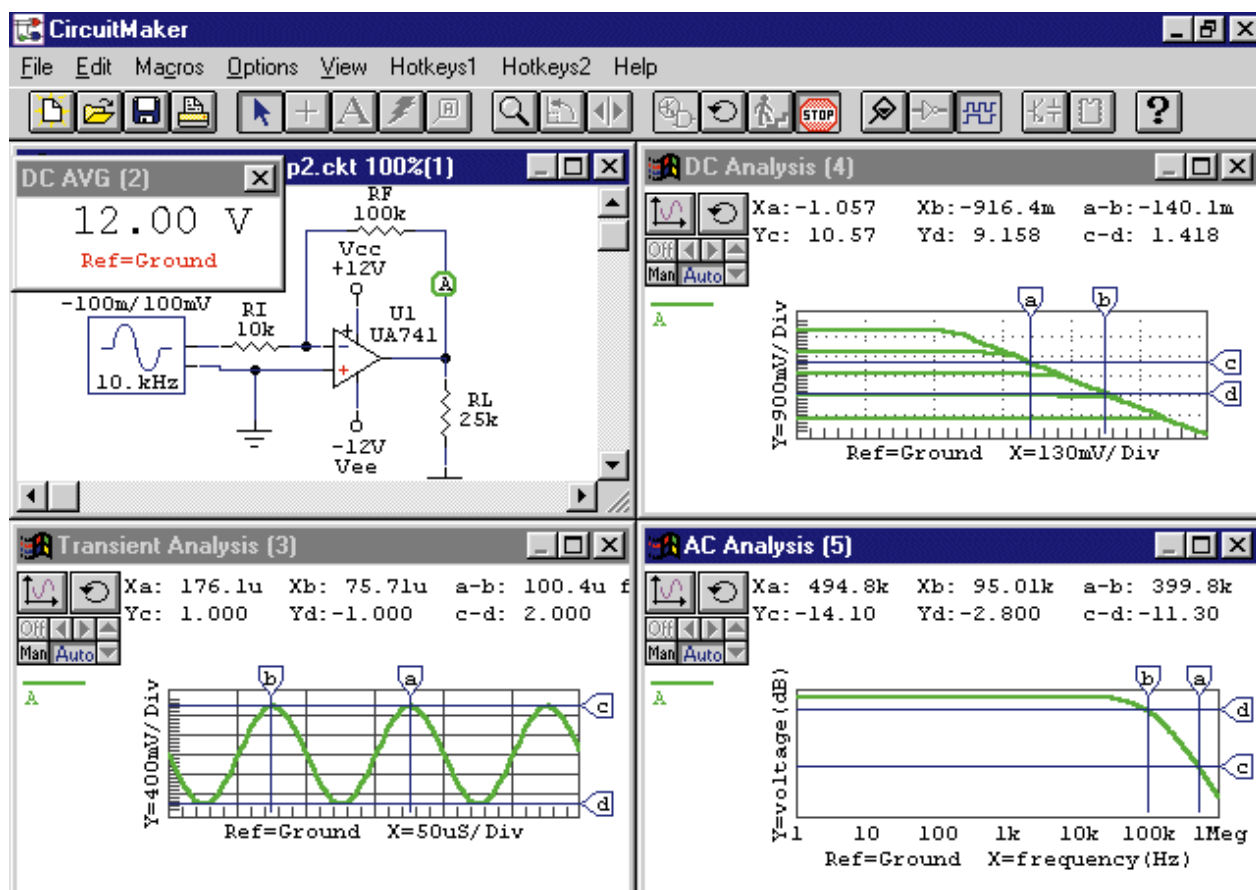


Рис. 30. Окно программы CircuitMaker

Пакет программ CircuitMaker разработан фирмой MicroCode Engineering (www.altium.com). С его помощью производится графический ввод принципиальных электрических схем, моделирование смешанных аналого-цифровых устройств и разработка печатных плат. Фактически в одном пакете имеется компьютерная виртуальная электронная лаборатория, выполняющая цикл сквозного проектирования электронной аппаратуры широкого профиля. Программа CircuitMaker обеспечивает графический ввод принципиальных схем и их моделирование. Разработка печатных плат производится с помощью входящей в состав пакета программы TraXMaker (в дальнейшем она в соответствии с технической политикой компании Titleium Limited может быть заменена соответствующим модулем пакета Protel) или внешних программ Pads, P-CAD, Protel и др. В наиболее привлекательной, студенческой, версии пакета список соединений проекта, необходимый для разработки печатных плат, выполняется только в формате программы TraXMaker, которая не входит в его состав. Поэтому студенческую версию практически можно использовать только для схемотехнического моделирования.

Таким образом, CircuitMaker – это мощный программный продукт, предназначенный для быстрого и легкого создания электрических принципиальных схем, а также моделирования их работы. Последнее время пакет не имеет обширного распространения в связи с появлением пробных и студенческих версий более широкого пакета Altium Designer.

4.3. Продукты Mentor Graphics

Mentor Graphics, Inc – основанная в США в 1981 г. международная корпорация, работающая в области автоматизации проектирования электроники (EDA). Mentor Graphics предоставляет ПО и аппаратные решения, которые позволяют компаниям разрабатывать лучшие изделия быстрее и продуктивнее.

Имея свою систему проектирования печатных плат – Mentor Board Station, данная компания продолжает развивать линии своих продуктов Expedition PCB и PADS PowerPCB. Ключом к успеху явилась ориентация на новые современные интегрированные среды для проектирования под Windows. Маршрут проектирования PADS включает создание проекта, топологическое проектирование, анализ и верификацию.

Mentor Board Station. Mentor Board Station – развитая и масштабируемая среда создания и редактирования схмотехнических проектов, интегрированная с Expedition PCB и другими топологическими редакторами. Поддерживает все основные компьютерные платформы (рис. 31).

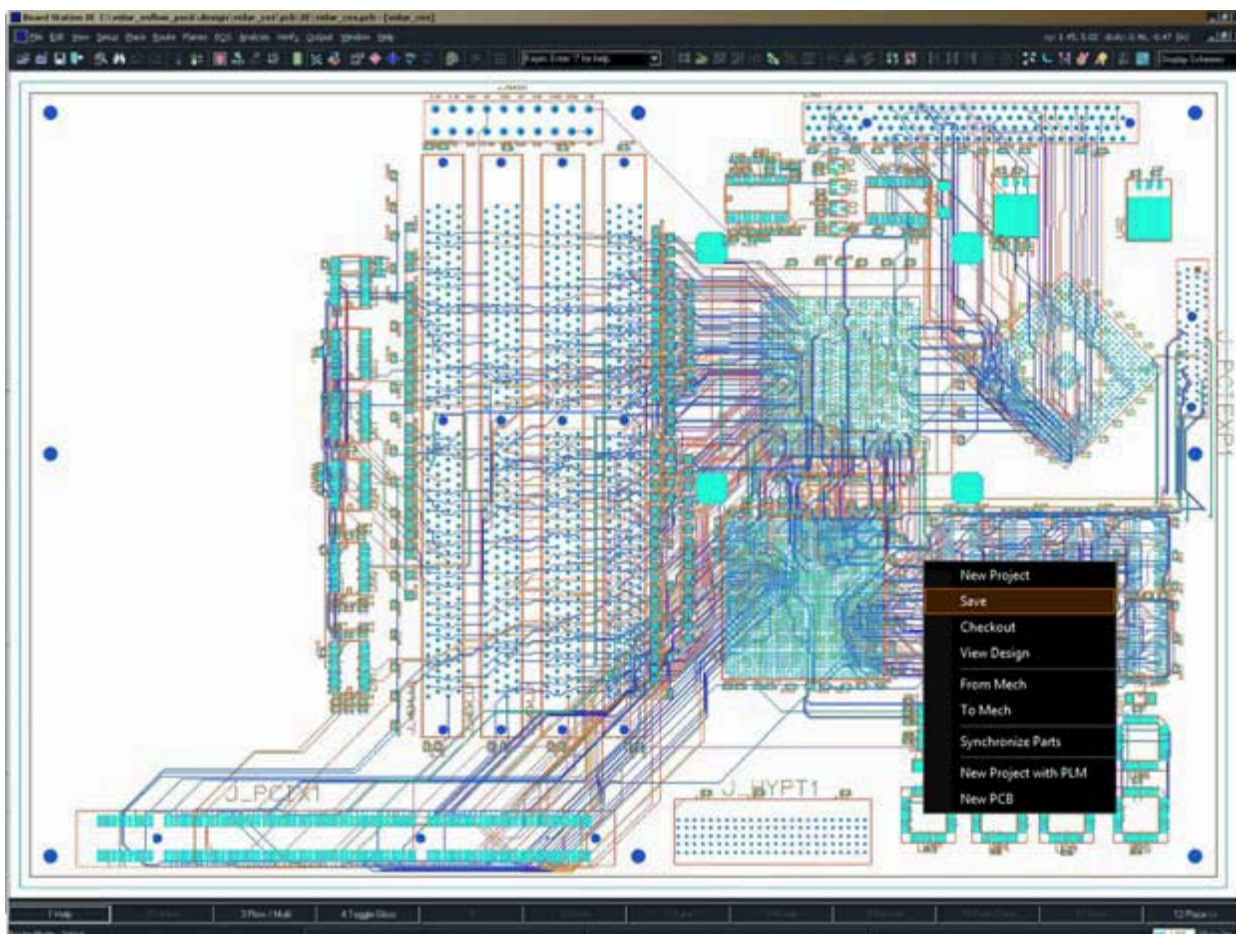


Рис. 31. Окно программы Mentor Board Station

DxDesigner – это гибкая среда создания проекта, интегрирующая различные инструменты маршрутов PADS и Expedition Enterprise на различных платформах, таких как Windows и Linux. Ее возможности:

- обеспечивает единую среду создания проекта, интегрированную с большинством существующих систем проектирования топологии, что позволяет осуществлять свободный обмен проектными файлами и сокращает затраты на поддержку средств проектирования и обучение специалистов;
- интегрирует библиотеки компонентов и файлы проекта с инфраструктурой предприятия, сокращая время поиска компонентов, снижая процент ошибок и обеспечивая передачу данных между рабочими местами маршрута проектирования;
- поддерживает концепцию коллективного проектирования, сокращая цикл проектирования;
- поддерживает концепции повторного использования блоков и узлов проекта и многовариантного проектирования, снижая стоимость и улучшая качество проекта;
- поддерживает единую среду создания и редактирования ограничений, позволяющую на ранних этапах проектирования определить наиболее критичные узлы с точки зрения используемых компонентов, общей производительности системы, топологических ограничений.

Система не получила широкого распространения в России ввиду большой конкуренции. Тем не менее она широко используется за рубежом.

Mentor PADS PowerPCB. Mentor Pads PowerPCB – инструмент проектирования печатных плат, включающий все необходимое для создания схемы, размещения компонентов, трассировки, моделирования, проверки электромагнитной совместимости (ЭМС), целостности сигналов и окончательной подготовки к производству (рис. 32).

Основным преимуществом профессионального пакета для проектирования печатных плат Mentor Graphics PADS является сравнительная простота использования, позволяющая приступить к работе сразу же после минимального обучения. Высокая эффективность разработки сложных плат сочетается с небольшими временными и трудовыми затратами, а средства анализа обеспечивают корректный результат. Работу над проектом в Pads можно условно разделить на четыре этапа, за каждый из которых отвечают определенные программы.

1. Для создания принципиальных схем устройств предлагаются утилиты Pads Logic (для одиночных пользователей) и DxDesigner (для рабочих групп). Схемотехнические редакторы включают средства анализа и моделирования, управления библиотекой элементов, выпуска документации, генерации отчетов, контроля соблюдения правил проектирования. Программа I/O Designer на базе DxDesigner осуществляет интеграцию с маршрутом проектирования FPGA.

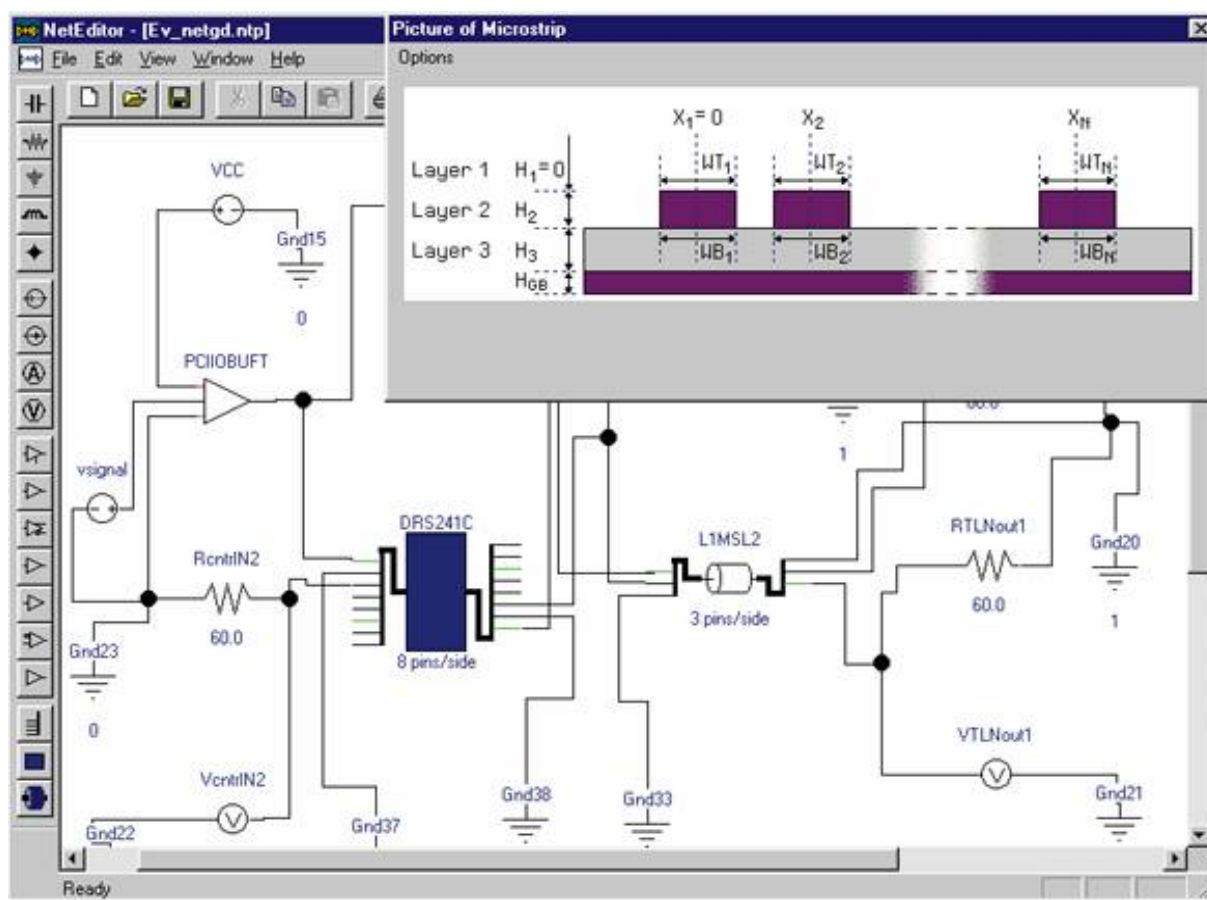


Рис. 32. Окно программы Mentor Pads-PowerPCB

2. Анализ и верификацию проектируемых систем можно выполнить в трех симуляторах:

DxAnalog занимается моделированием аналоговых и смешанных схем. В работе используются методы Монте-Карло, быстрого преобразования Фурье, оптимизации схем, «наихудшего варианта», экстремального значения, а также многие другие;

Fusion/ViewSim выполняет цифровое моделирование на вентильном уровне с использованием временного анализатора;

HyperLynx осуществляет проверки целостности сигналов и наводок с выдачей советов по взаимному расположению компонентов. Помимо прочего возможен анализ скин-эффекта, потерь в диэлектрике и перекрестной электромагнитной наводки между корпусами интегральных схем, соединенных высокоскоростными шинами.

3. Этап проектирования печатных плат представлен в виде ряда утилит:

Pads Layout представляет собой масштабируемую среду для редактирования топологий, размещения компонентов и трассировки, а также подготовки файлов для производства. Возможна трансляция из баз данных P-CAD, OrCAD, CADSTAR и Protel, поддержка плат любой формы;

Pads AutoRouter предназначен для интерактивной трассировки под произвольными углами; Pads AutoRouter HSD дополняет предыдущую программу возможностью разводки высокоскоростных цепей. Искусственно увеличивает длины трасс, применяя вставки типа «аккордеон».

4. Для просмотра и изменения технологических файлов предусмотрен редактор GerbTool Fabricator. Pads поддерживает ввод или вывод в форматах Gerber 274X и 274D; FIRE9000 (для фотоплоттера); Varco DPF; HPGL; Excellon и Sieb & Meyer (для сверления и фрезерования); DXF; PostScript; Bitmap Out; IPC-D-350 и многих других. Программа выдает отчеты (Drill, Mill, Apertures), сообщает о нарушениях технологических правил и изменениях в документации, проводит образмеривание (например, чертежей или плат), рисует шаблоны для сверления.

Система Mentor Graphics Pads ориентирована на использование небольшими компаниями, группами, а также отдельными разработчиками. Pads доступен в трех вариантах, призванных удовлетворить любые потребности пользователей: Pads ES Suite (разработка законченных устройств), Pads LS Suite (для быстрого создания типовых плат) и Pads DS Suite (ориентирован на инженеров-электриков).

Рассматриваемая программа была разработана международной корпорацией Mentor Graphics, основанной в 1981 г. в США. Расцвет Mentor Graphics пришелся на 2004 г., когда она удерживала третью строчку в списке крупнейших EDA-компаний.

Сегодня Mentor Graphics ориентируется на современные среды проектирования под Windows, развивая линейку своих продуктов: Board Station, Expedition Enterprise и Pads.

Mentor Graphics Expedition. Mentor Graphics Expedition Enterprise – это набор средств, ориентированный на разработку сложных высокоскоростных плат и предназначенный для рабочих групп и организаций. Средства, входящие в этот продукт, основаны на использовании самых передовых технологий в области проектирования печатных плат и ВЧ-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.

Система управления проектными данными DMS интегрирует процесс проектирования со службой комплектации, складского хозяйства, бухгалтерского учета и другими корпоративными службами с целью повышения качества проектирования, сокращения времени выхода изделия на рынок, снижения его стоимости и оптимизации управления ресурсами.

Система DMS реализует подход, ориентированный на обеспечение полного доступа к проектной информации и базам данных других служб предприятия. Эта информация доступна с любого рабочего места инженера-проектировщика в любое время. Встроенная система поиска поддерживает многокритериальный поиск по основным техническим параметрам. Список покупных изделий, перечень повторно используемых блоков и вариантов проекта и другая информация – все это доступно с любого места с помощью системы поиска.

Последняя на декабрь 2014 г. версия программы Mentor Graphics Expedition Enterprise выпущена в 2012 г.

5. ПРОГРАММЫ ПОСТОБРАБОТКИ ПРОЕКТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

5.1. Программы анализа целостности сигналов и электромагнитной совместимости

Omega Plus, Compliance (Quantic EMC). Пакеты Omega Plus и Compliance канадской компании Quantic-EMC позволяет оценивать влияние конструктивных особенностей печатных плат на их электрические характеристики, а также оценить электромагнитную совместимость устройств еще до изготовления реальных конструкций, тем самым сокращая сроки и стоимость проектирования при повышении качества (рис. 33).

Пакет Compliance (рис. 34) представляет собой дальнейшее развитие хорошо зарекомендовавшей себя программы Omega Plus, предназначенной для работы на ПК под управлением ОС Windows. Различные модули позволяют анализировать целостность сигналов, перекрестные искажения, временные задержки, время установления сигналов и помехоустойчивость, а также электромагнитное излучение нижней и верхней сторон печатных плат в широком диапазоне частот.

Большой набор трансляторов позволяет импортировать в систему проекты печатных плат, разработанных в таких пакетах, как P-CAD, SPECCTRA, Mentor BoardStation, OrCAD, Protel, PADS PowerPCB и др.

На сегодняшний день Quantic-EMC анонсировала новую версию своей расширенной библиотеки IBIS моделей Expanded Quantic Model Library v8. В библиотеку включены модели последних семейств микропроцессоров, программируемой логики, сигнальных процессоров, памяти ведущих мировых производителей Xilinx, Altera, Samsung, Texas Instruments, Freescale, Lattice и др.

Все модели построены с учетом данных, полученных от производителей, и учитывают тип используемого корпуса, количество выводов и рабочее напряжение. Все модели тщательно проверены, поэтому компания Quantic гарантирует их достоверность. Новая версия библиотеки доступна бесплатно всем пользователям продукта Compliance с активным контрактом на техническую поддержку. Компания Quantic-EMC также принимает заказы на разработку IBIS моделей любых интегральных устройств.

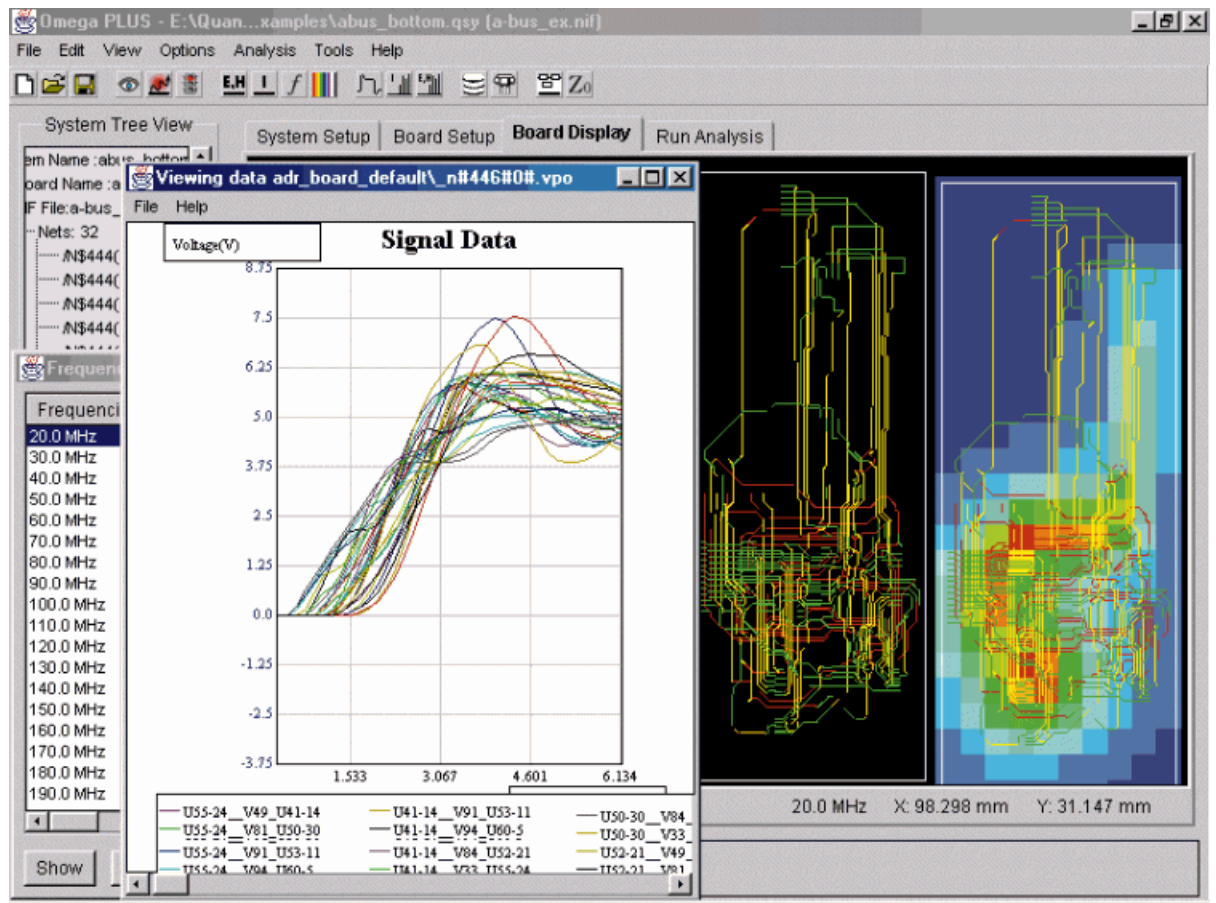


Рис. 33. Окно программы Omega PLUS

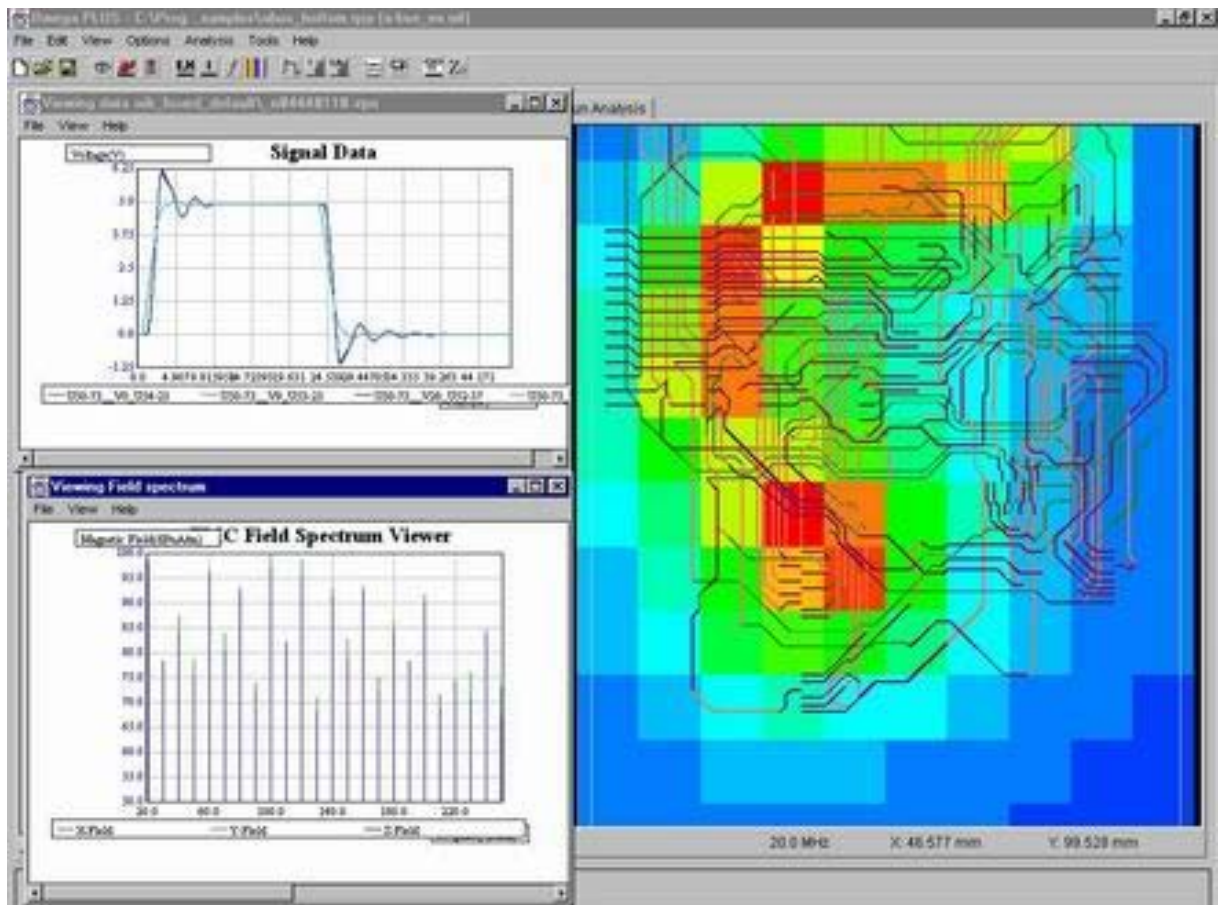


Рис. 34. Окно программы Compliance

SpeedXP Suite (Sigriy). Пакет SpeedXP Suite (разработчик Sigriy) представляет собой интегрированную среду анализа целостности сигналов и перекрестных искажений на сложных печатных платах и кристаллах интегральных микросхем.

В состав пакета входят два самостоятельных приложения, имеющих единый интерфейс и общую базу данных: Speed2000 и PowerSI. Недавно компания выпустила новый продукт XcitePI, предназначенный для моделирования проблем ЭМС в корпусах и подложках высокоскоростных интегральных схем:

- Speed2000 – пакет анализа проблем ЭМС с оригинальным вычислительным ядром, работающий во временной области. Главным отличием его от аналогичных продуктов других производителей является то, что цепи заземления и питания, в том числе выполненные в виде внутренних слоев питания и заземления, здесь не считаются идеальными;
- программа PowerSI выполняет аналогичные функции, но ее ядро работает в частотной области. Здесь можно рассчитать спектры сигналов и помех в различных проводниках печатных плат, оценить частотные характеристики отдельных узлов микросхемы, оптимизировать размещение экранов;
- программа XcitePI предназначена для моделирования проблем ЭМС в корпусах и подложках высокоскоростных интегральных схем. Учитываются эффекты распространения не только в сигнальных проводниках, но и в цепях питания и заземления всего стека слоев (рис. 35).

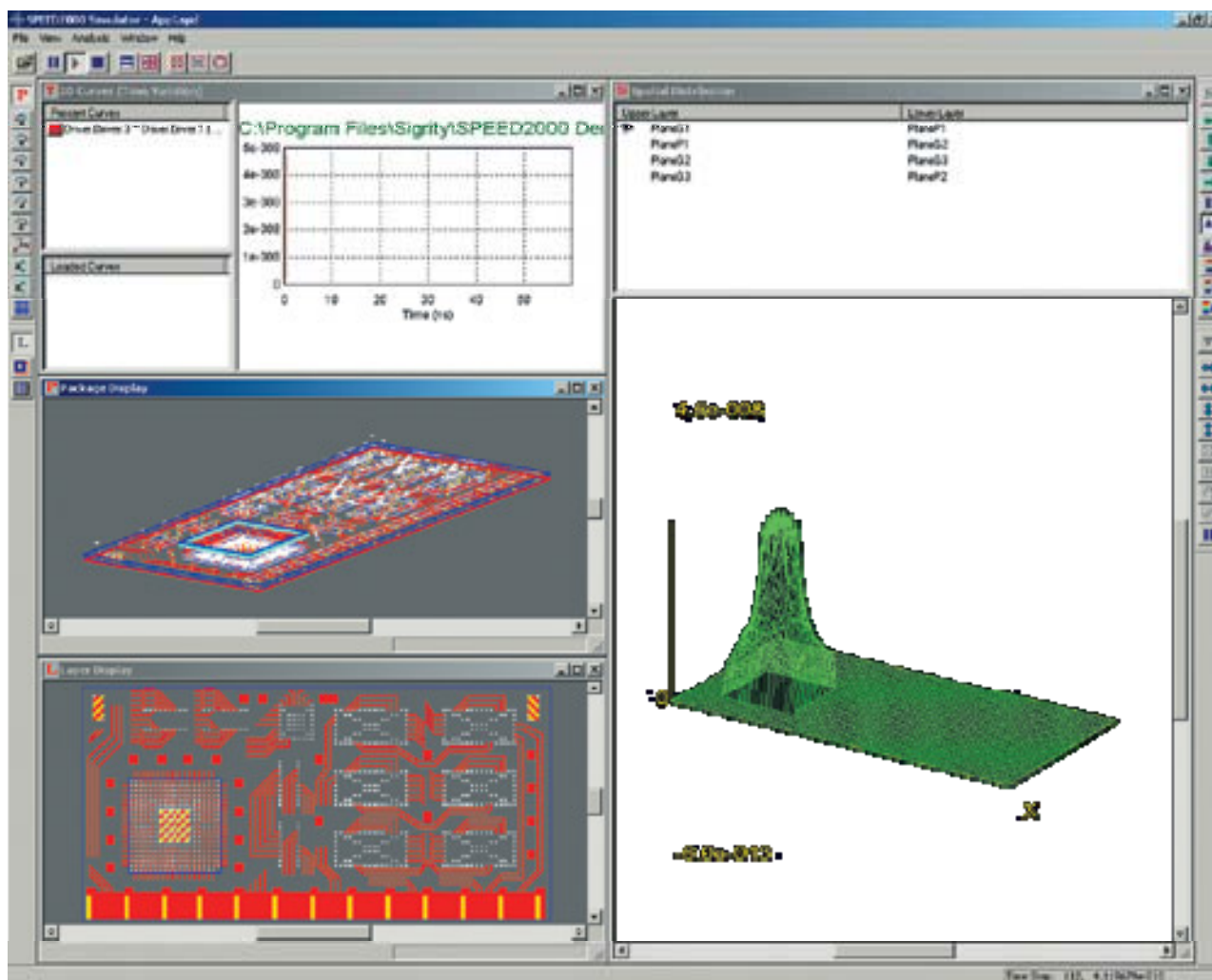


Рис. 35. Анализ помех в слое заземления в пакете Speed2000 компании Sigriy

Алгоритмы Speed2000, на которых основана вся серия программ, первоначально разработаны доктором Фангом (тогда доцентом кафедры электротехники в Бингемтонском университете) и его учениками. Электромагнитные алгоритмы моделирования, которые он разработал, оказались в 1000 раз быстрее предыдущих методов. Фанг запатентовал алгоритмы и для дальнейшего развития ПО основал компанию под названием Sigriy, продукты которой выпускаются до сих пор.

Программные пакеты анализа ЭМС и целостности сигналов. Кроме отмеченных выше, широкое применение нашли еще ряд программных пакетов анализа целостности сигналов и ЭМС.

EMCScan – программа моделирования электромагнитного излучения печатных плат (рис. 36). В данную программу импортируются печатные платы, разработанные в других системах. Передается информация о топологии печатных плат, список цепей и перечень компонентов. К указанным цепям подключаются источники сигналов и нагрузок, для компонентов составляются линейные схемы замещения входных и выходных комплексных сопротивлений (используются модели стандарта IBIS) и проводится анализ в частотной области. Рассчитываются комплексные амплитуды токов и напряжений и напряженности электрического и магнитного полей на заданных частотах. При превышении допустимого уровня излучения диагностируется цепь или область печатной платы, вносящая наибольший вклад в уровень излучения, и производится повторная трассировка, изменяются типы компонентов, вводятся слои металлизации и проводятся другие мероприятия до изготовления реальной конструкции.

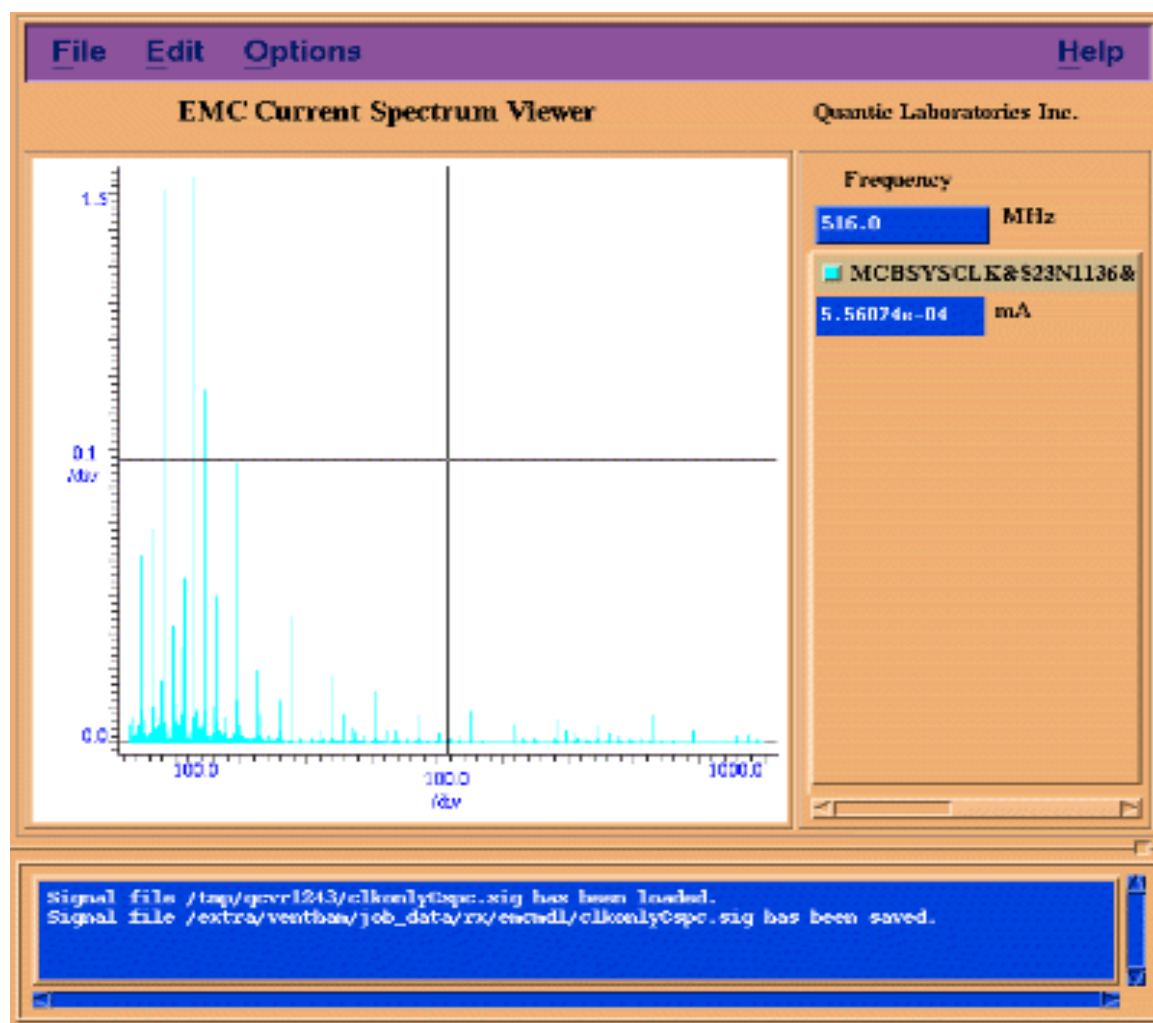


Рис. 36. Результат работы программы EMCScan

BoardSpecialist – программа анализа целостности сигналов печатных плат (включает в себя PCB Greenfield, BoardScan и Phidias). В результате моделирования переходных процессов оцениваются задержка сигнала в печатных проводниках, величина выбросов, уровень интерференционных сигналов за счет наличия электромагнитной связи между параллельными проводниками (рис. 37).

WaveProbe – программа анализа целостности сигналов, взаимодействует непосредственно с программами SPECCTRA, BoardStation и Supermax E-CAD на любой стадии разработки печатных плат (рис. 38).

Greenfield 2d – программа анализа статических электрических и магнитных полей для плоских геометрических конструкций. Позволяет выполнить моделирование с учетом потерь проводников, конденсаторов, индуктивностей, оценить запаздывания сигналов. Производится расчет полосковых и микрополосковых устройств, взаимных индуктивностей и взаимных емкостей многопроводных линий передач. Результаты моделирования совпадают с экспериментальными данными с точностью в несколько процентов (рис. 39).

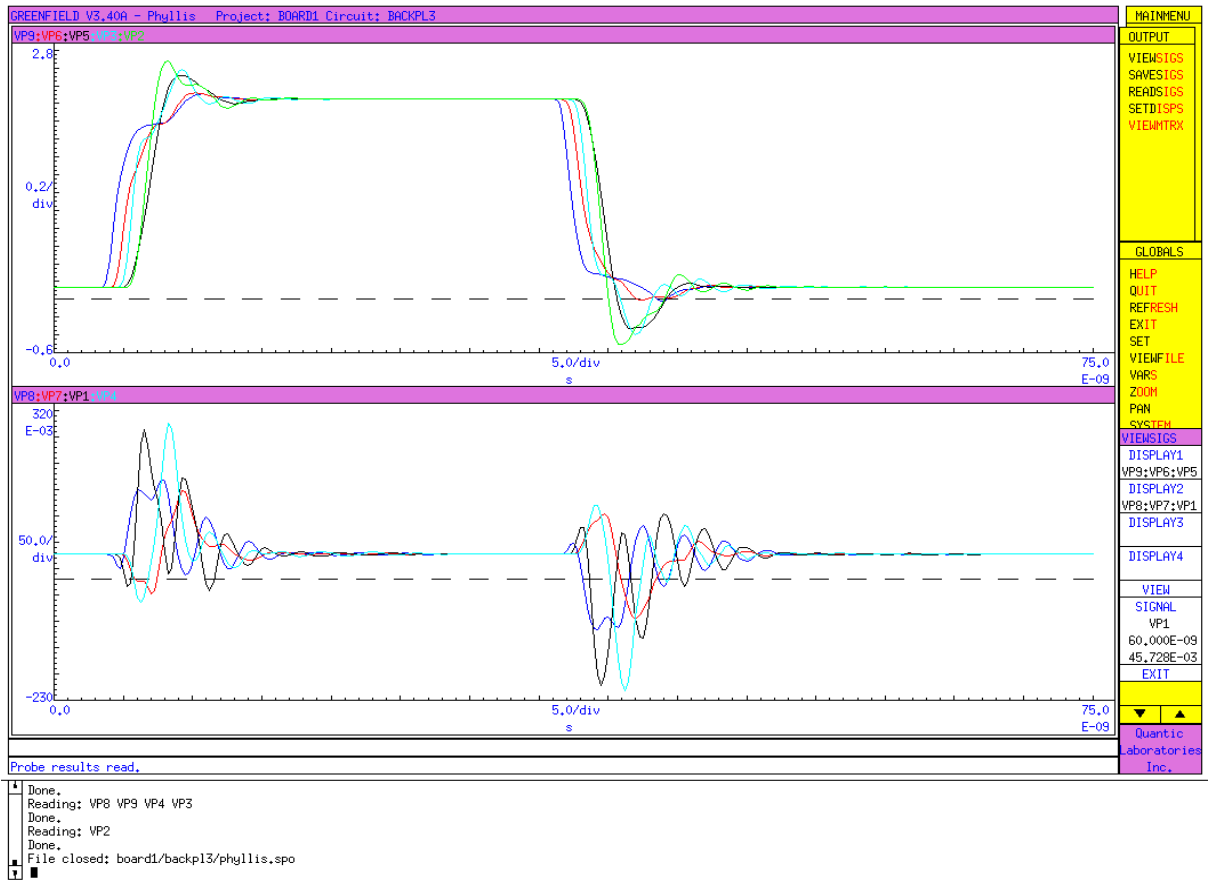


Рис. 37. Результат работы программы BoardSpecialist

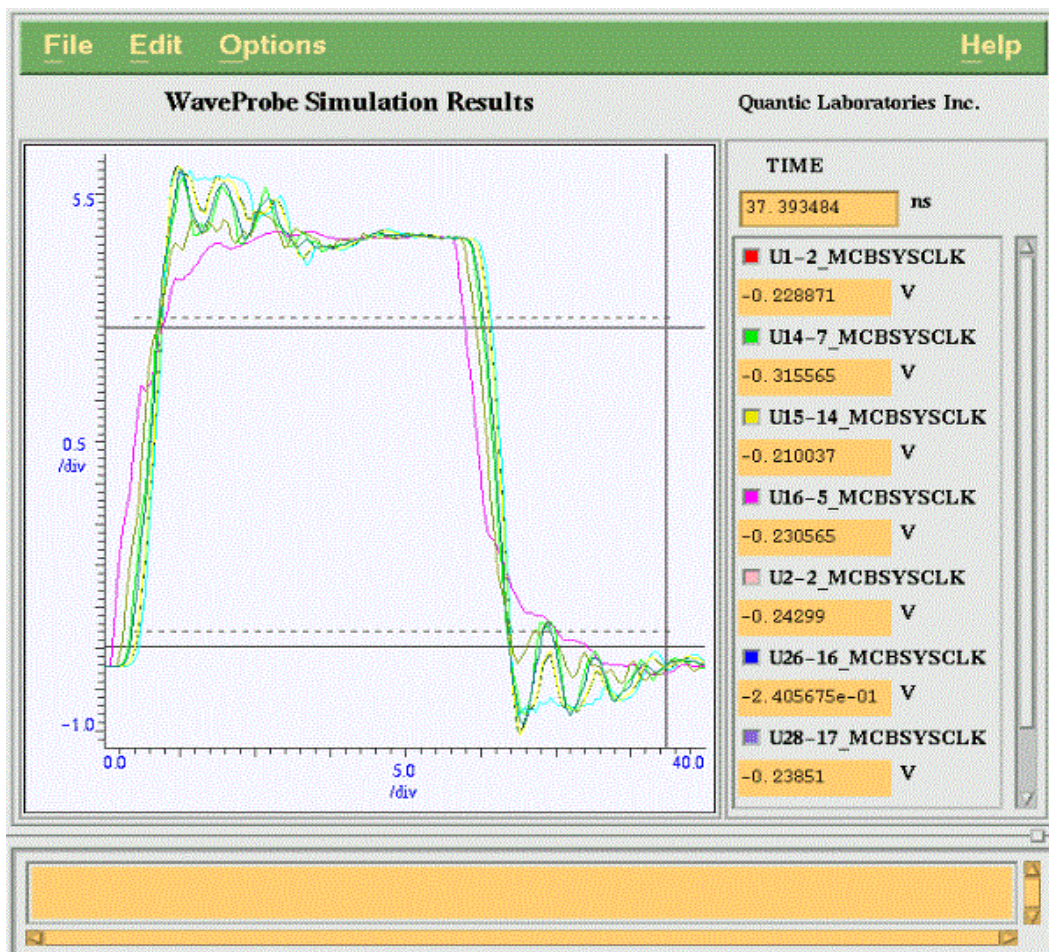


Рис. 38. Результат работы программы WaveProbe

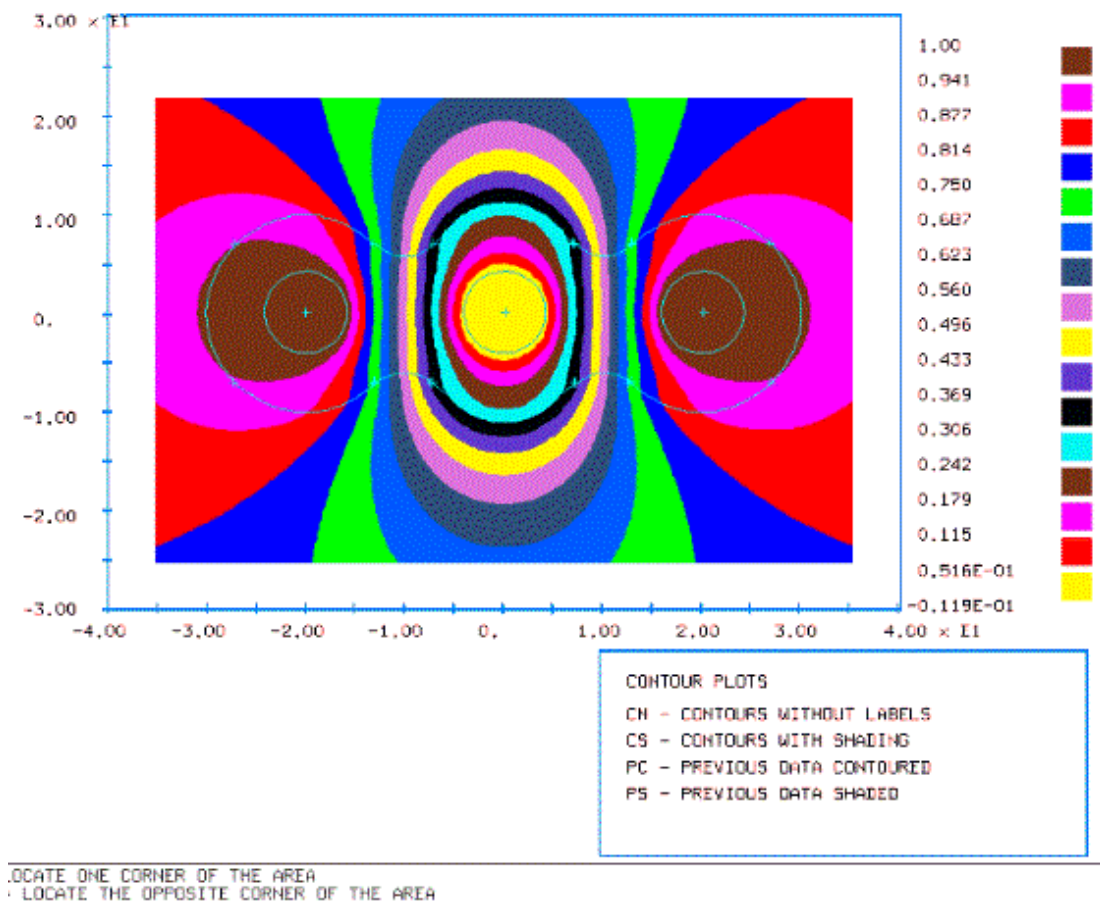


Рис. 39. Результат работы программы Greenfield 2d

5.2. Программы теплового анализа

BETASoft (Dynamic Soft Analysis). Отдельной задачей проектирования печатных плат является тепловой анализ. Наиболее мощным решением в этой области является программа BETASoft компании Dynamic Soft Analysis. Программа подходит и для разработчиков монолитных многомодульных устройств. В процессе расчета могут быть получены температуры отдельных компонентов, карты прогрева плат, градиент температур (рис. 40). Отметим, что программа BETASoft, имеющая в своем составе три модуля: BETASoft-Board, BETASoft-MCM, BETASoft-System, поставляется как штатное средство теплового моделирования для продуктов Mentor Graphics.

Модуль BETASoft-Board предназначен для моделирования тепловых процессов в многослойных платах нерегулярной формы, которые могут быть расположены в открытых или закрытых корпусах, при этом учитываются наличие естественной и принудительной вентиляции, а также, при необходимости, гравитация и атмосферное давление. Модуль использует встроенные библиотеки, насчитывающие около 2500 различных компонентов. При анализе плат с большим числом компонентов возможен импорт проектов, разработанных в популярных САПР P-CAD, Allegro, Cadstar, Mentor, Protel, OrCAD, PADS, Tango, VeriBest и др.

Программа BETASoft-Board позволяет рассчитывать среднюю температуру корпуса элемента и карту температурных градиентов, а дополнительный модуль THETAjс дает возможность определять температуру отдельных *p-n*-переходов, благодаря чему можно определять степень нагрева отдельных элементов, а также близость температуры их корпусов к предельно допустимым значениям. Не исключено, что вследствие температурного расширения области платы с повышенной температурой будут претерпевать различные деформации, вспучиваться и коробиться. При многократном нагревании и охлаждении это может привести к выходу из строя как самой платы, так и расположенных на ней элементов, отслаиванию печатных проводников и нарушению контактов, особенно в проектах, выполненных по технологии поверхностного монтажа. Своевременная идентификация таких областей позволит избежать разрушительных последствий в ходе испытаний и эксплуатации готовых изделий.

Полученные результаты расчета с точностью до 10% были подтверждены в ходе специальных испытаний, а также с помощью фотосъемки в инфракрасном режиме. В процессе анализа выполняется трехмерное моделирование суммарного поля течения и отдельных тепловых областей с учетом теплопроводности, конвекции и теплового излучения.

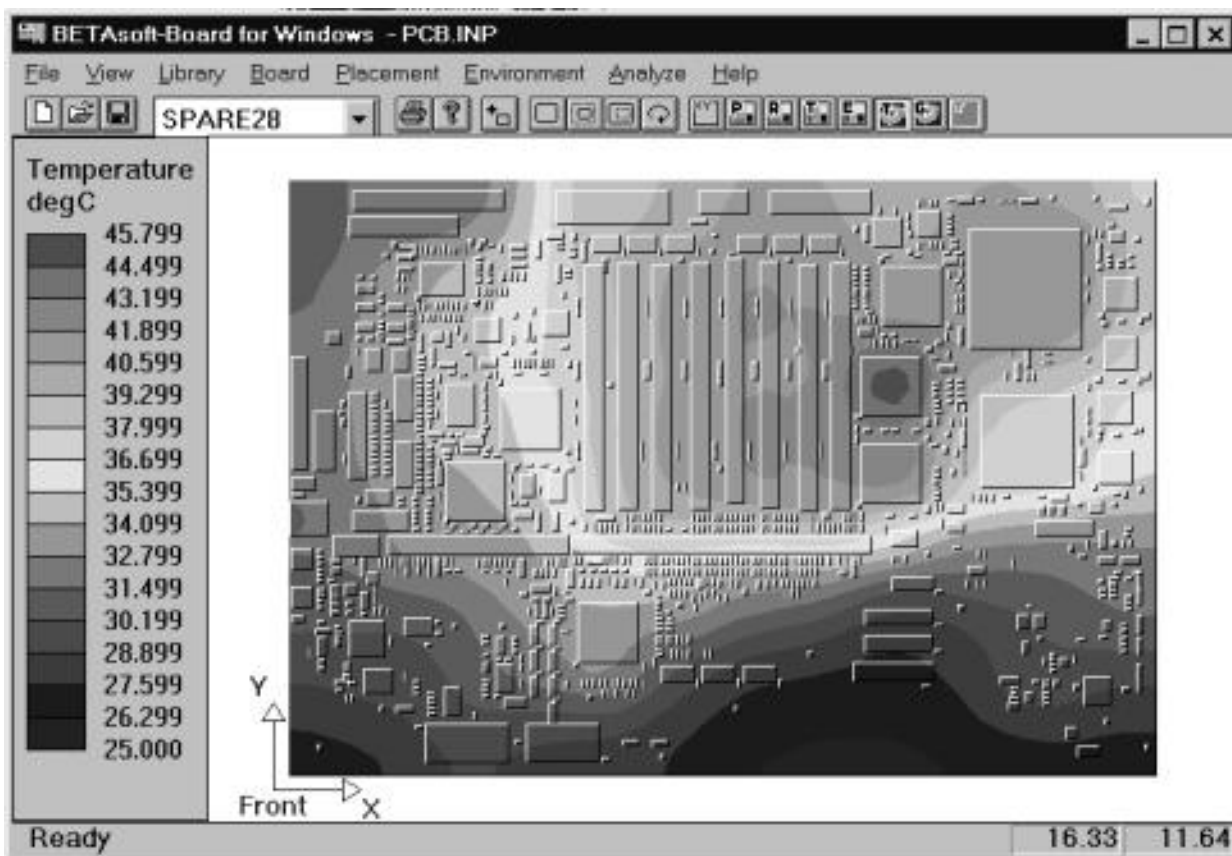


Рис. 40. Тепловой режим печатной платы, рассчитанный с помощью BETASoft

Другим обновленным модулем пакета является программа BETASoft-MCM, позволяющая производить термический анализ отдельных компонентов электронных схем, таких как однокристалльные и многокристалльные микросхемы, гибридные и дискретные элементы. Исходной информацией для проведения анализа служит определение внутренней структуры трехмерного компонента, при этом нельзя забывать о наличии нескольких слоев из различных материалов и подключения внешних, возможно изменяющихся во времени, источников питания. Данные, полученные с помощью этой программы, позволят правильно выбрать технологию упаковки устройства в корпус, метод отвода тепла и значительно повысят надежность конечного изделия.

Третья программа BETASoft-System предназначена для моделирования температурных режимов объемных конструкций, например электронных модулей, блоков и шкафов. Здесь принимаются во внимание самые разнообразные физические эффекты: движение теплого воздуха вверх с учетом силы тяжести, температура окружающей среды, сила ветра, интенсивность солнечного излучения, препятствия на пути воздушного потока и наличие контакта с крепежными устройствами. При анализе поведения плат учитываются мощность рассеивания каждой платы, высота элементов и плотность их расположения, типичное температурное сопротивление и предельные температуры переходов.

Sauna (Thermal Solutions). Другая программа теплового анализа – Sauna – компании Thermal Solutions позволяет моделировать поведение не только плат, но и блоков и шкафов. Здесь имеются обширные библиотеки компонентов и материалов, а также специальный графический редактор, позволяющий прорисовывать конфигурацию оборудования. Система дает возможность назначать специальные рабочие циклы с учетом включения и выключения внешних источников питания.

Программа обеспечивает тепловой расчет для установившегося и переходного процессов, а также для рабочих климатических циклов. Обширные библиотеки наиболее распространенных в электронной промышленности материалов позволяют создавать точные тепловые модели элементов конструкции с учетом их габаритных размеров и физических свойств (рис. 41).

Изначально программа Sauna была разработана исключительно для термического анализа электронных компонентов и систем. Все меню, материалы библиотек и свойств сборки были созданы с этой целью.

Построение своей модели интуитивно понятно и просто. Модель построена с использованием стандартного блока сборки пластин и печатных плат. Чтобы создать пластины, нужно просто определить размеры листа и выбрать материал и тип поверхностей в меню, после чего пластина появляется на экране компьютера. При этом не нужно самому вводить теплопроводности или другие свойства.

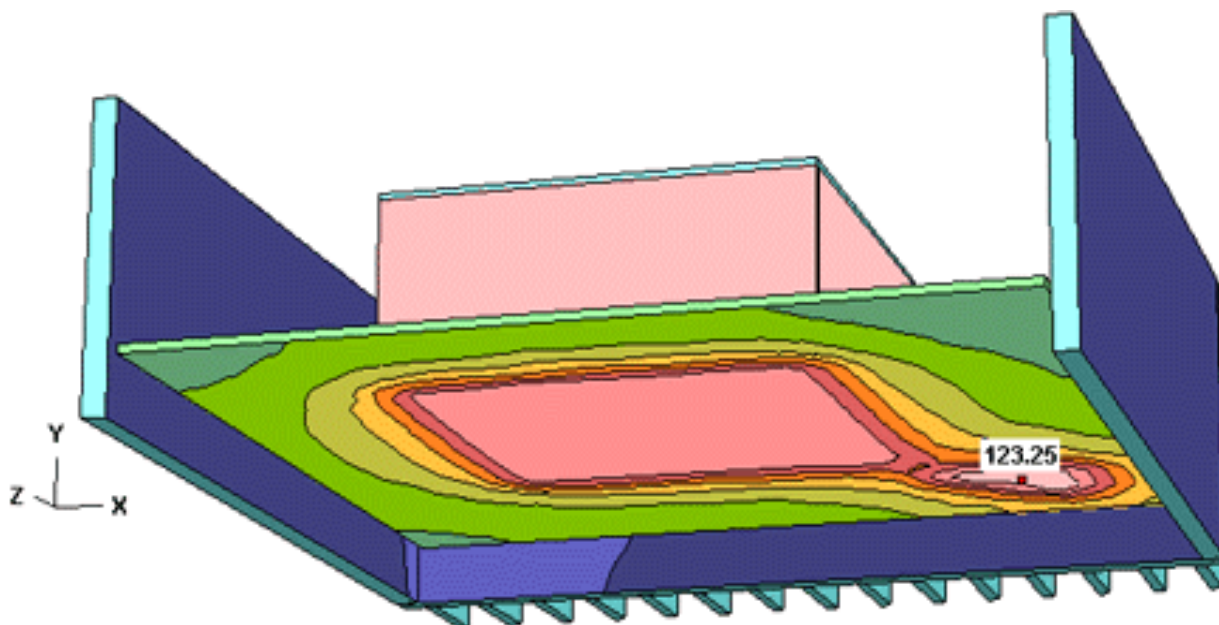


Рис. 41. Результат работы программы Sauna

Sauna использует классический метод расчета тепловой сети, ввод тепловых узлов, резисторов и конденсаторов не требуется. Программа вычисляет значения автоматически, основываясь на материалах и размерах. Sauna создает модель, которую легко проверить или изменить.

Так же легко создать сборку печатной платы. В меню выбирается количество слоев, сплав меди и толщина покрытия. Очень быстро создается полная модель платы и выводится на экран. Все необходимые технические данные, в том числе библиотеки стандартных материалов, встроены в программу.

АСОНИКА-Т (КГТУ). Программа АСОНИКА-Т разработки Красноярского государственного технического университета предназначена для автоматизации процесса проектирования РЭС и позволяет реализовать следующие задачи:

- определение тепловых режимов работы всех электрорадиоизделий (ЭРИ) и материалов несущих конструкций;
- внесение изменений в конструкцию с целью достижения заданных коэффициентов нагрузки;
- выбор лучшего варианта конструкции из нескольких имеющихся вариантов с точки зрения тепловых режимов работы;
- обоснование необходимости и оценка эффективности дополнительной защиты РЭС от тепловых воздействий;
- создание эффективной программы испытаний аппаратуры на тепловые воздействия (выбор испытательных воздействий, наиболее удачных мест установки датчиков).

АСОНИКА-Т позволяет анализировать следующие типы конструкций: микросборки, радиаторы и теплоотводящие основания, гибридно-интегральные модули, блоки этажерочной и кассетной конструкции, шкафы, стойки, а также нетиповые (произвольные) конструкции.

Программа дает возможность провести анализ стационарных и нестационарных тепловых режимов аппаратуры, работающей при естественной и вынужденной конвекциях в воздушной среде как при нормальном, так и при пониженном давлениях. При анализе нетиповых конструкций определяются температуры выделенных изотермических объемов; при анализе типовых узлов – температуры ЭРИ, а также дискретное температурное поле типовых узлов и их интегральные температуры (рис. 42).

Сервисное обеспечение АСОНИКА-Т включает в себя базу данных со справочными геометрическими и теплофизическими параметрами ЭРИ и конструкционных материалов, графический ввод исходных данных для конструкций, графический вывод результатов расчета.

Полученные в результате расчета температуры используются в качестве граничных условий для моделирования теплового режима печатного узла с помощью программы АСОНИКА-ТМ, в результате которого могут быть получены температуры всех ЭРИ.

Для проведения сеанса моделирования при помощи данной программы необходима следующая исходная информация:

- эскиз или чертеж конструкции РЭС;
- теплофизические параметры материалов конструкции РЭС;
- мощности тепловыделений в элементах РЭС;
- условия охлаждения (граничные условия) конструкции РЭС.

В результате моделирования при помощи программы могут быть получены значения температур конструктивных элементов, конструктивных узлов и электрорадиоэлементов РЭС, значения температур воздушных потоков, охлаждающих РЭС.

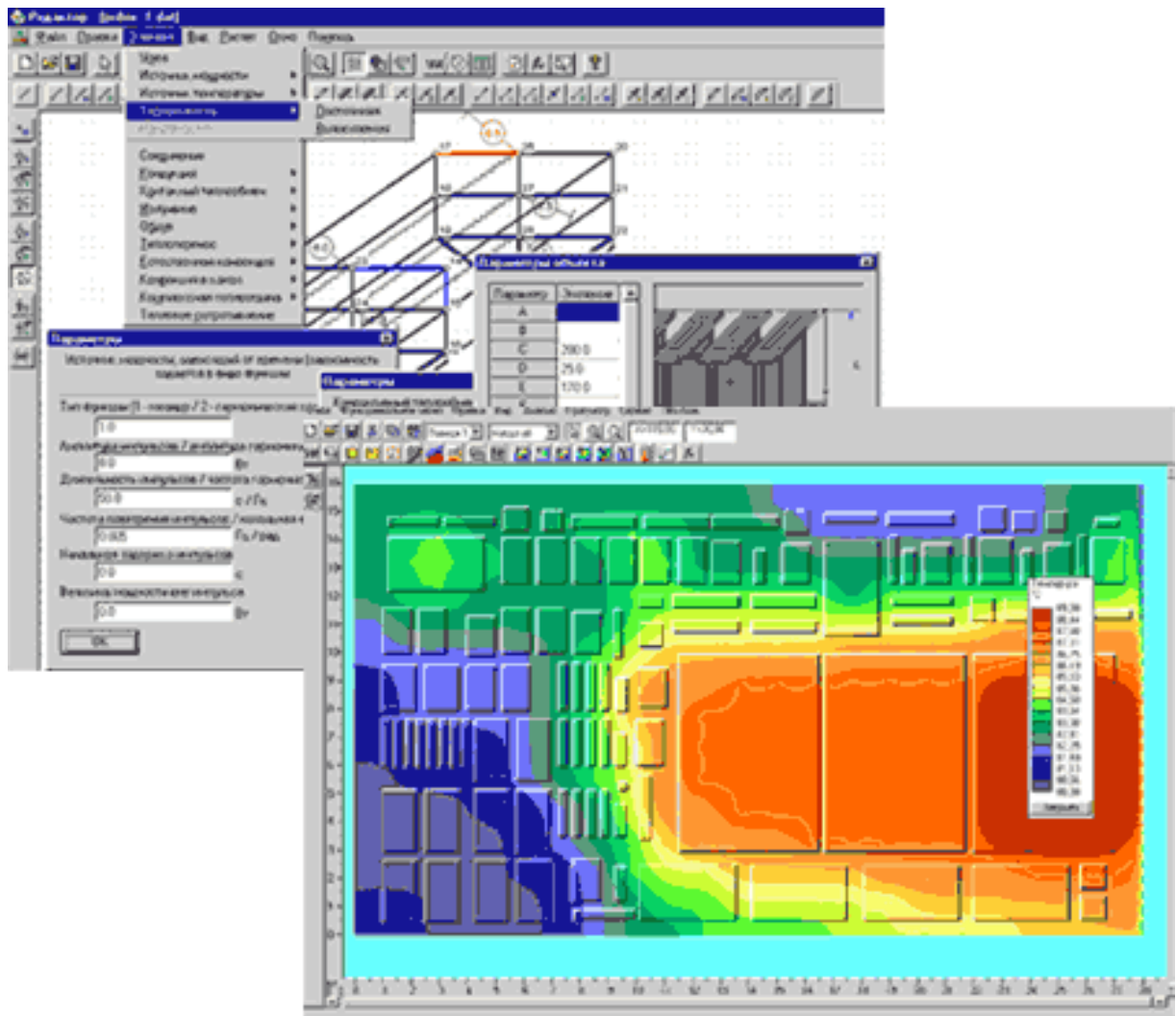


Рис. 42. Результат работы АСОНИКА-Т

5.3. Программы подготовки производства

SAM350 (Downstream Technologies). Компания DownStream Technologies относится к числу тех небольших предприятий, которые, имея в своем активе удачный продукт, продолжают динамично развиваться, отыскивая ниши, еще не занятые на рынке САПР печатных плат. Основной продукт компании – система SAM350, обеспечивающая подготовку производства печатных плат (рис. 43). Она широко применяется во всем мире и входит в число лидеров среди САМ-систем.

Средства автоматизированной подготовки производства печатных плат (Computer Aid Manufacturing, САМ) служат мостиком между разработчиками и производителями печатных плат. Хотя большинство современных САПР печатных плат содержат основные инструменты, необходимые для подготовки передачи проекта в производство, потребность в специализированных САМ-системах сохраняется. Разработчикам печатных плат использование САМ-систем позволяет подготовить один и тот же исходный проект для передачи различным производителям, оформив его в соответствии с их требованиями. Производители с помощью таких средств могут адаптировать поступившие проектные данные к своей технологии с учетом известных им нюансов технологического процесса. САМ-системы также удобно использовать в качестве средств входного контроля со стороны производителя, поскольку они обеспечивают независимую проверку поступивших данных и обычно могут работать с данными, подготовленными во всех популярных САПР печатных плат. Система SAM350 имеет четыре базовые конфигурации, две из которых ориентированы на потребности разработчиков (SAM350-110 и SAM350-265), а две – на инженеров подготовки производства (SAM350-465 и SAM350-765). Но по сути это один и тот же продукт, только с ограничениями на использование отдельных функций.

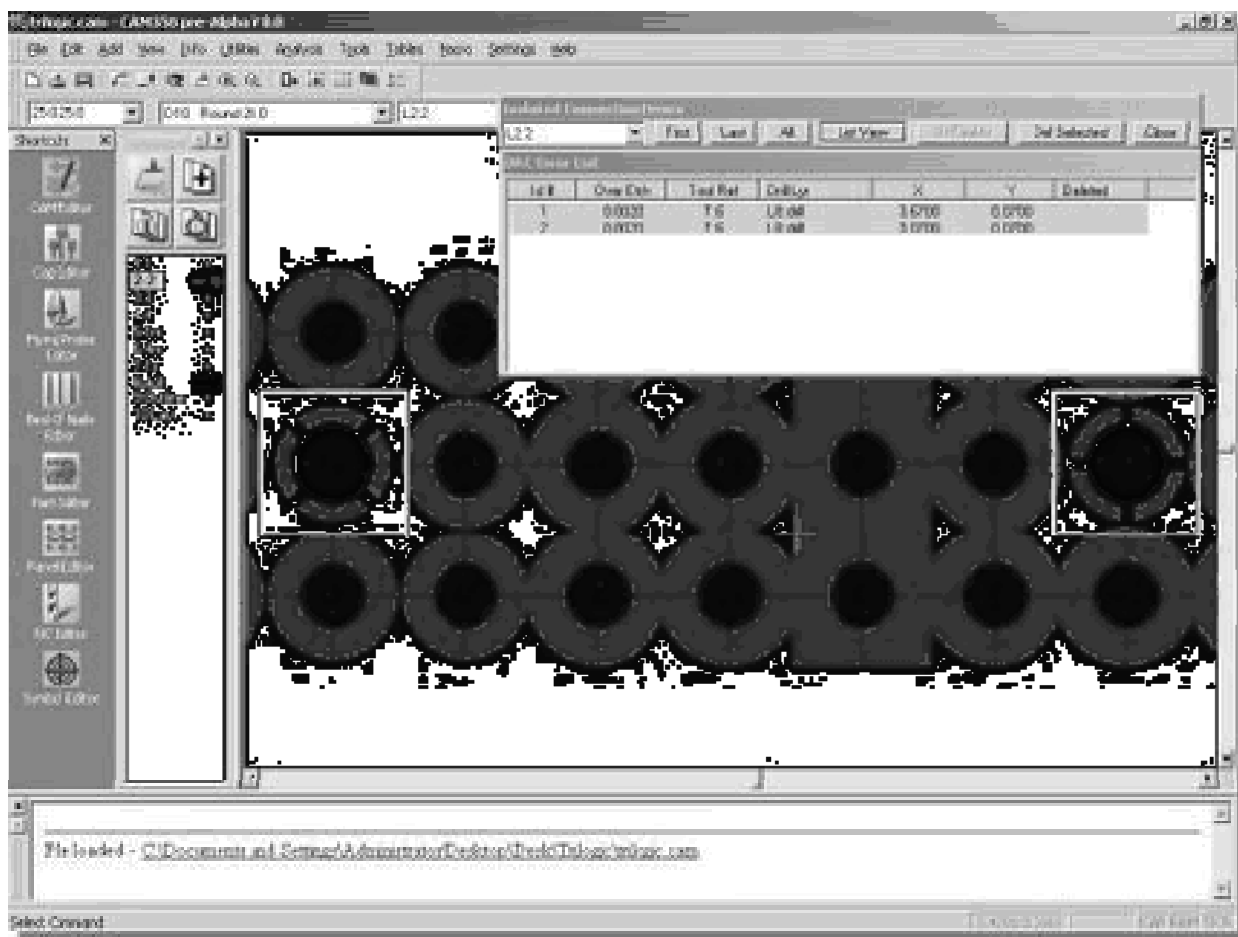


Рис. 43. Окно программы CAM350

Система CAM350 содержит следующие функциональные блоки:

- графический редактор;
- средства экспорта/импорта данных;
- средства контроля правил проектирования/производства (DRC/DFE);
- средства подготовки данных для технологического и тестового оборудования;
- средства размещения заготовок плат на стандартном листе базового материала.

Ядро системы – графический редактор CAM Editor – позволяет редактировать геометрию соединений печатной платы и контактных площадок, корректировать размещение компонентов. В редакторе предусмотрены средства автоматизированной обработки и оптимизации графических данных, которые включают такие операции, как различные преобразования многоугольников, удаление лишних площадок, сглаживание переходов между трассами и контактными площадками и другие полезные процедуры.

Средства экспорта/импорта обеспечивают работу с различными модификациями формата Gerber (описание топологии), с форматом ODB++ (промышленный стандарт для САМ-систем), графическими форматами DXF, HGPL, HGPL/2, а также работу с базами данных систем Accel EDA, Allegro, P-CAD 2004, PowerPCB (Pads), TangoPRO. Поддерживается экспорт данных в форматы оборудования для сверления/фрезерования Excellon 2 и Sieb&Meier.

В системе CAM350 производится контроль толщины трасс, зазоров между различными типами геометрических объектов, проверяется соответствие исходной принципиальной схемы и данных о топологии печатной платы, правильность формирования кольцевых контактных площадок и геометрии термических барьеров. Выявляются места потенциальных отслоений и подтравов, изолированные участки на негативных слоях. Есть функции сравнения геометрии слоев, определения площади областей различных типов, сбора статистики, построения гистограмм и другие инструменты анализа готовности платы к производству. Предусмотрены также средства автоматической коррекции для некоторых типов нарушений.

Редактор NC-Editor обеспечивает подготовку данных для сверлильного и фрезерального оборудования. Эта программа позволяет выявить и устранить ситуации, реализация которых либо невозможна, либо может приводить к браку. Управляющая программа сверления и фрезеровки оптимизируется для получения максимальной производительности используемого оборудования при работе с рассматриваемым образцом печатной платы.

Хотелось бы упомянуть еще о нескольких интересных возможностях, предусмотренных в САМ350. Это, в первую очередь, возможность установления посредством системы перекрестных ссылок прямой связи с системами проектирования печатных плат: Allegro компании Cadence и PADS Layout компании Mentor Graphics. Другой интересный инструмент – программа Quote Agent – позволяет оценить весь комплекс затрат, связанный с производством печатных плат. Наконец, специалисты компании DownStream Technologies предлагают воспользоваться специальным набором инструментов САМ350, ориентированным на организацию процесса обратного проектирования (reverse engineer). Смысл обратного проектирования состоит в восстановлении проекта из существующих Gerber-файлов. Это актуально в случае необходимости реанимации старых проектов, исходная информация по которым утрачена, или восстановления проектов, выполненных в других системах проектирования.

Последняя на декабрь 2014 г. – версия САМ350 v10. В ней обеспечена стабильность работы и учтены замечания пользователей.

САМtastic! (Altium). Еще одной популярной САМ-программой является САМtastic! компании Altium (рис. 44). Эта программа была изначально разработана фирмой Innovative CAD Software и сейчас в разных исполнениях поставляется бесплатно в качестве штатного САМ-средства совместно с пакетами P-CAD и Protel DXP. Как автономный продукт поставляется только самая последняя версия САМtastic DXP, построенная на базе интегрированной среды проектирования Design Explorer. В ней исправлены прежние ошибки, связанные с неправильной обработкой таблиц метрических апертур и русских шрифтов, некорректной экстракцией списка соединений. В дополнение к обработке формата Gerber введена качественная поддержка формата ODB++.

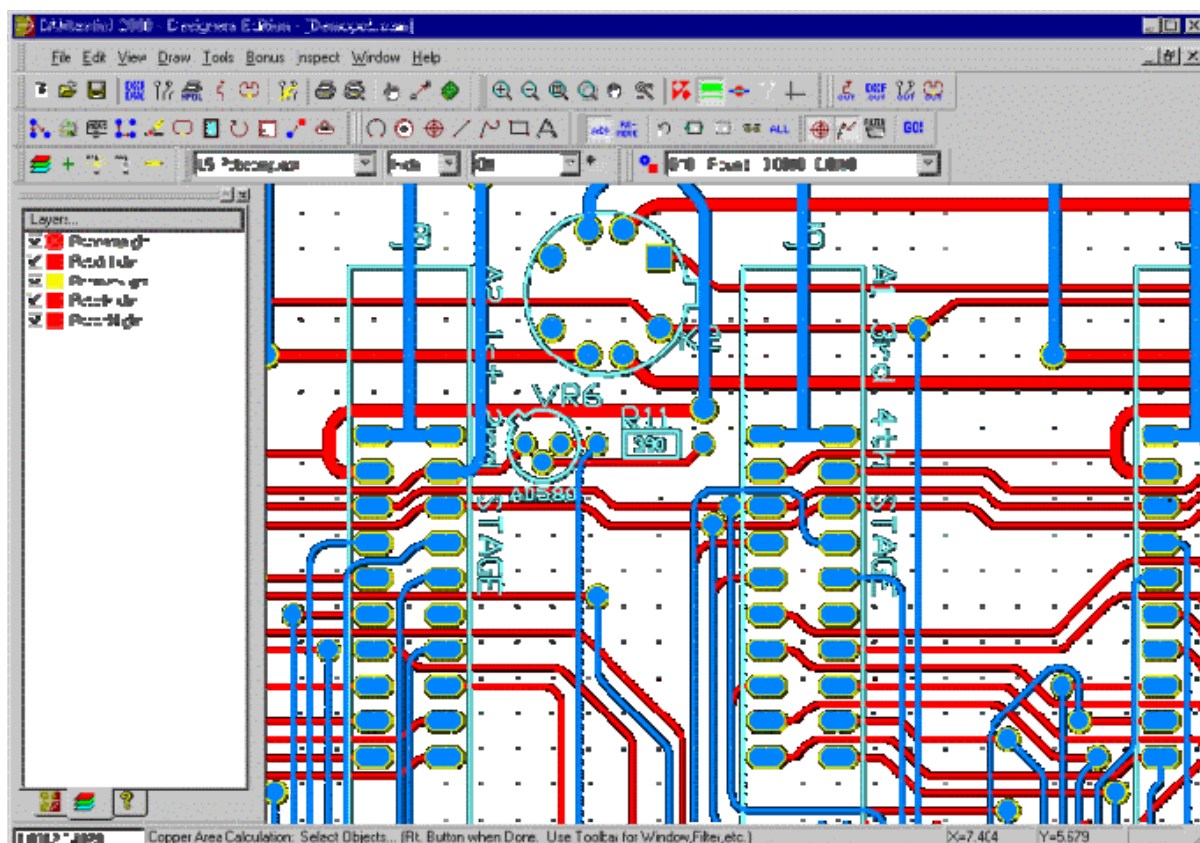


Рис. 44. Окно программы САМtastic!

САМtastic! могут пользоваться не только производители, но и разработчики печатных плат. Так, например, P-CAD генерирует не совсем корректные Gerber-файлы, которые нельзя сразу отправить на фотоплоттер, а нужно сначала открыть и пересохранить в одной из программ проектирования печатных плат.

Программа САМtastic! обладает основными функциями САМ-350: она позволяет просматривать и дорабатывать изображения фотошаблонов перед их изготовлением, создавать файлы сверления отверстий и многое другое.

К достоинствам этой программы относится удобный интерфейс. Основным недостатком является отсутствие возможности автоматизации (макросов). В целом САМtastic! подходит скорее проектировщикам, чем производителям.

Последней на декабрь 2014 г. версией программы является САМtastic 2004. Сведения о дальнейшем развитии продукта отсутствуют.

GERBTOOL (Wise Software Solutions). OrCAD GerbTool – полнофункциональная CAM-программа, которая позволяет просматривать, редактировать, расширять и верифицировать управляющие Gerber-файлы для фотоплоттеров, созданные как в программах семейства OrCAD Layout, так и в других редакторах печатных плат (рис. 45). Программа разработана фирмой WISE Software Solutions специально для OrCAD и является аналогом программы CAM350. На декабрь 2014 г. выпущена 16-я версия программы.

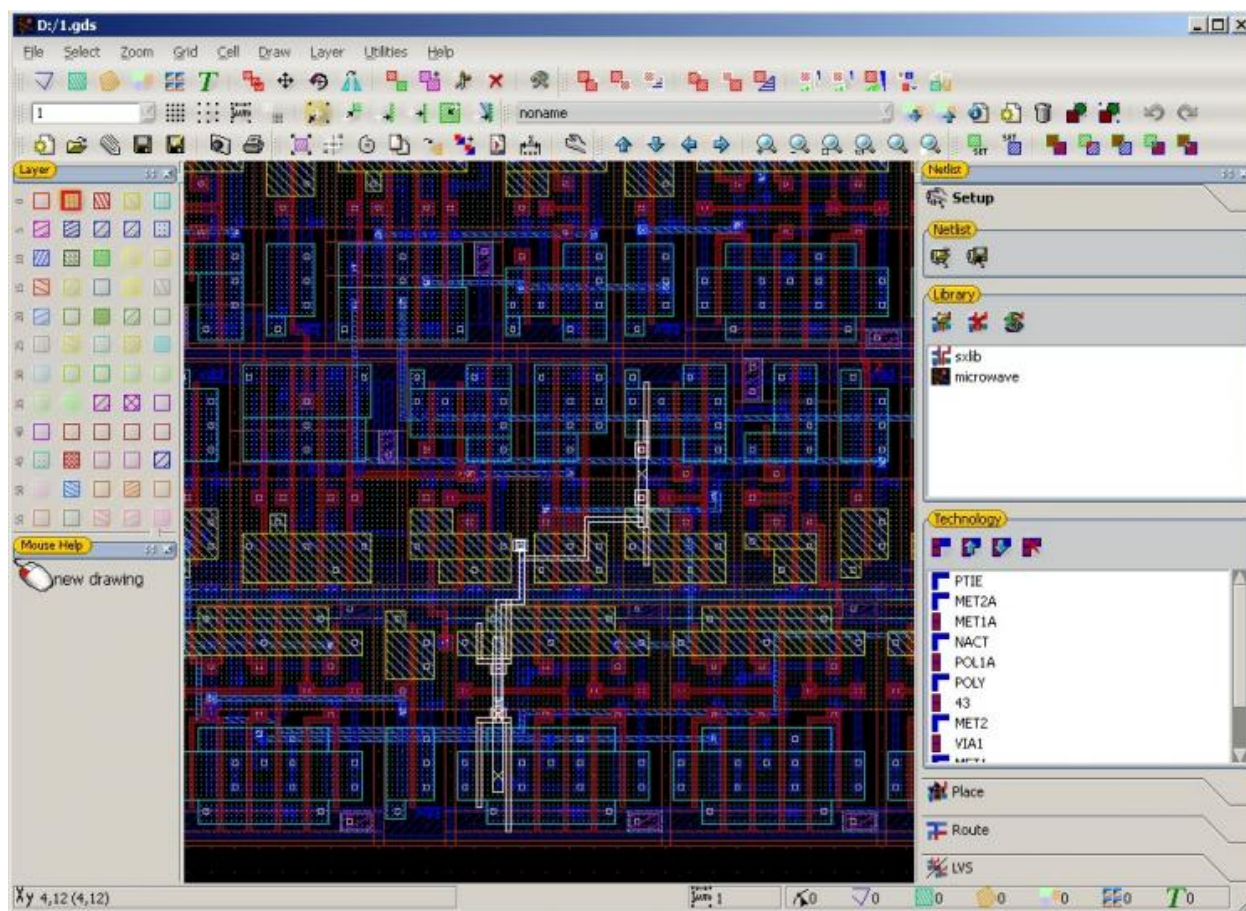


Рис. 45. Окно программы GerbTool

GENESYS (PCB Frontline). Одной из наиболее мощных CAM-систем является пакет Genesis 2000 компании PCB Frontline. Эта программа ориентирована на мощные аппаратные платформы, работающие под управлением операционной системы Unix, что определяет ее относительно высокую стоимость. Основная особенность пакета Genesis 2000 – высокий уровень автоматизации обработки топологий печатных плат. Имеются специальные средства верификации и корректировки, которые позволяют увеличить технологичность платы и учесть особенности производства. Широкий набор интерфейсов импорта/экспорта позволяет обмениваться данными с большинством известных систем проектирования печатных плат. Genesis 2000 обеспечивает разработчика системно-интегрированным комплексом программ, работающим с единой базой данных в формате ODB++ (рис. 46).

В состав пакета входит инструментарий для анализа и корректировки топологий:

- анализ проекта более чем по 70 параметрам;
- графический редактор;
- вывод информации в различных форматах для производства;
- оптимизация сверления и фрезерования;
- оптимизация размещения плат на заготовке оригинальных конфигураций;
- автоматическая проверка печатных плат на соответствие требованиям конструкторской документации.

Кроме того, существует недорогое программное решение, в состав которого входит весь необходимый базовый инструментарий для анализа и доработки топологий, – Genesis LT.

В 2013 г. выпущена версия 10.0 Genesis 2000, в которой появились новые функциональные возможности и усовершенствования. Новые встроенные средства резервного копирования защищают данные, что позволяет быстро восстановить проекты при необходимости.

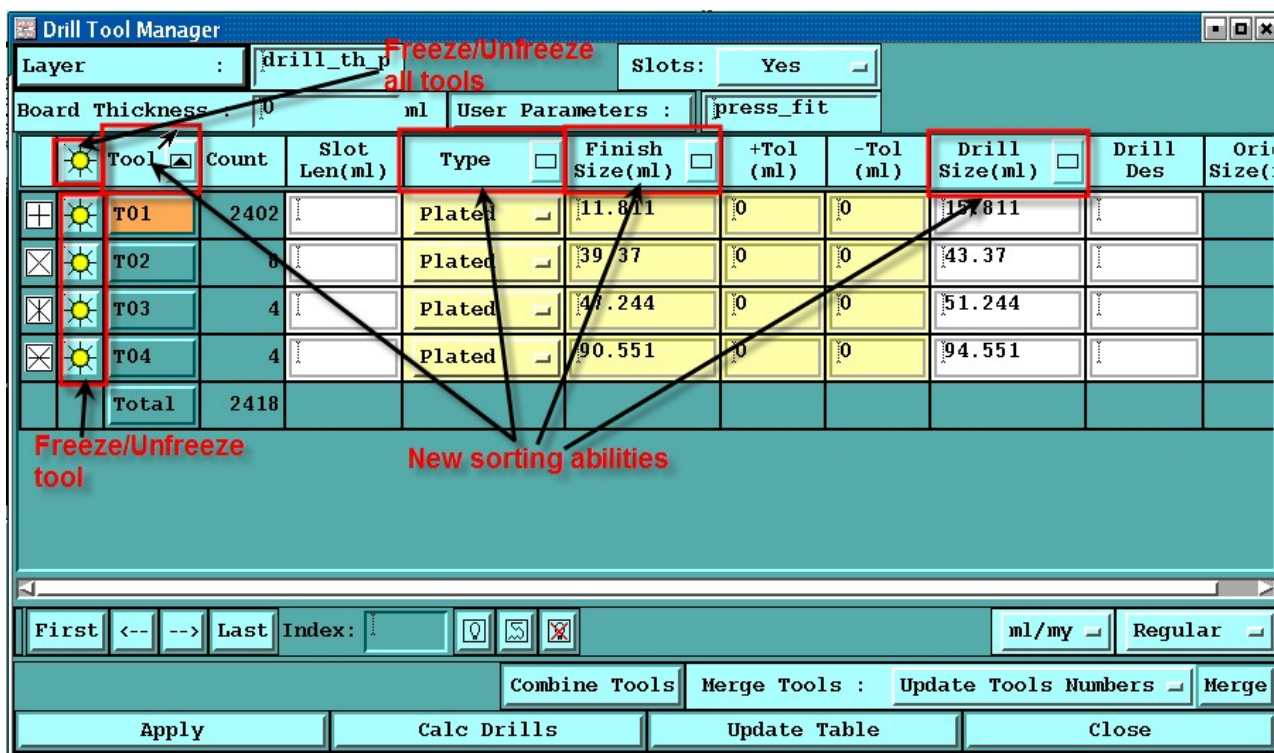


Рис. 46. Расчет отверстий для сверления в программе Genesis 2000

6. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ САПР

6.1. САПР СВЧ- и антенных устройств

MicroWave Office (Applied Wave Research). Программа MicroWave Office в настоящий момент является современным пакетом проектирования планарных СВЧ-устройств, включающим средства разработки и моделирования линейных и нелинейных схем, 2.5D-электромагнитного анализа планарных структур, топологический редактор, обширные наборы библиотек элементов с сосредоточенными и распределенными параметрами (рис. 47).

Счетное ядро программы может работать как в частотной, так и временной областях, и позволяет выполнять следующие виды анализа схем:

- одночастотный и многочастотный методы гармонического баланса для анализа нелинейных схем;
- анализ на основе рядов Вольтерра;
- анализ смесителей (также называемый конверсионно-матричным анализом);
- высокоскоростной метод линейного анализа;
- высокоскоростной метод анализа шумов;
- анализ переходных процессов.

В то время как существующие реализации метода гармонического баланса построены на базе кода, разработанного для схемотехнического анализа низкочастотных аналоговых схем, пакет MicroWave Office был разработан исключительно для ВЧ- и СВЧ-приложений. Это делает его значительно быстрее всех существующих продуктов. Например, стало возможным, используя метод гармонического баланса, настраивать несложные нелинейные схемы фактически в реальном времени.

Многие из возможностей пакета MicroWave Office просто недоступны в существующих системах моделирования. Например, применение метода анализа на основе рядов Вольтерра, являющихся самым быстрым методом анализа интермодуляционных искажений в приближенно-линейных схемах позволяет увеличить скорость анализа в 10...100 раз по сравнению с методом гармонического баланса. Более того, анализ на основе рядов Вольтерра легко интегрируется с методом линейного анализа, что позволяет оптимизировать коэффициент шума и такие линейные характеристики, как коэффициент передачи, коэффициент стоящей волны входов, одновременно с уровнем интермодуляционных составляющих.

Для анализа интермодуляционных искажений в смесителях пакет MicroWave Office использует изменяющиеся во времени ряды Вольтерра, по мнению разработчиков программы, единственный точный и реальный способ решить эту задачу.

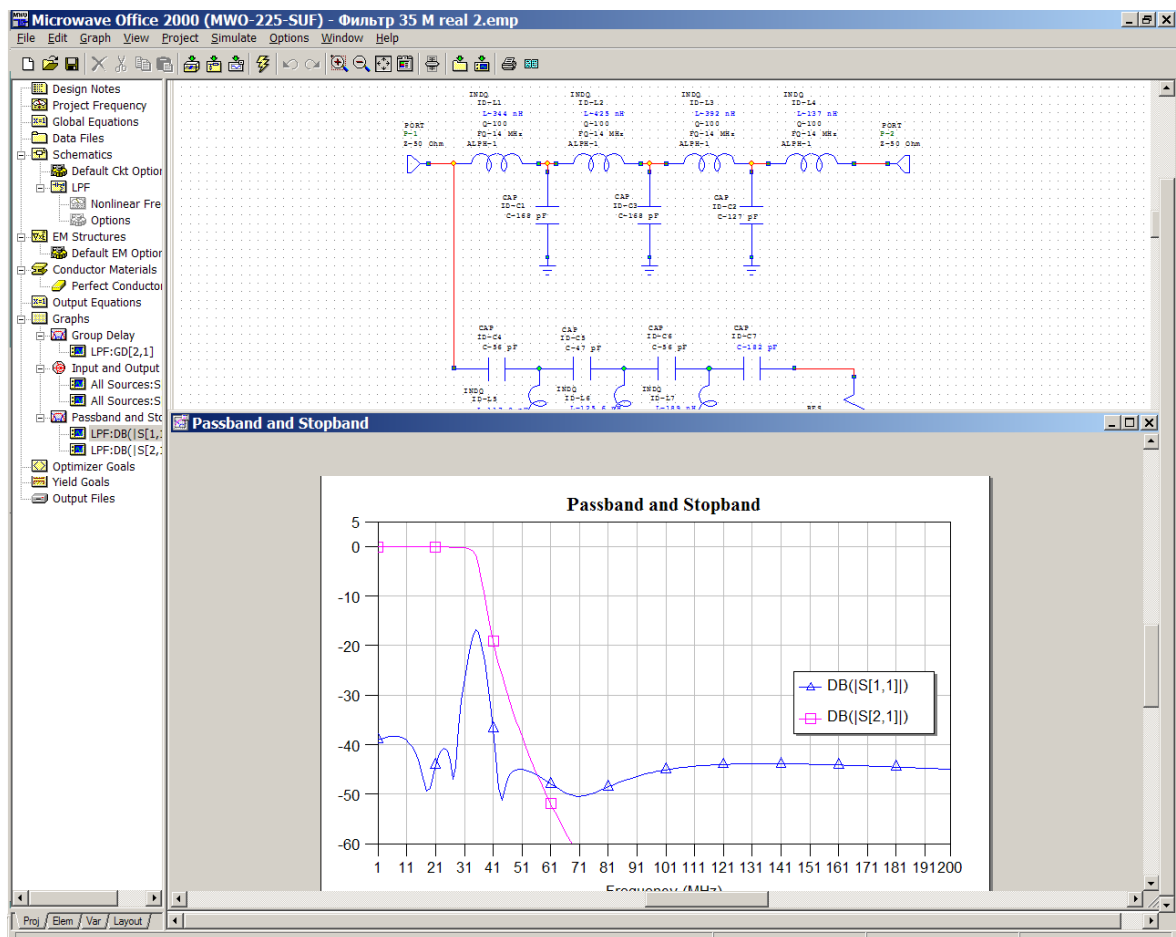


Рис. 47. Окно программы Microwave Office

Однако многочастотный метод гармонического баланса не сдает своих позиций, и Microwave Office поддерживает его, но в отличие от других продуктов предлагает более быстрое решение за счет использования самой современной технологии моделирования.

Линейный, нелинейный и шумовой методы анализа реализуются в пакете Microwave Office чрезвычайно эффективно. Высокая скорость здесь является следствием объектно-ориентированного подхода, а также того, что система уравнений формируется непосредственно из схематического представления без дополнительного преобразования списка соединений схемы в файл. В результате пользователи имеют возможность настраивать и оптимизировать параметры схем в режиме реального времени. Простым щелчком мыши можно изменить, например, длину шлейфа, а затем наблюдать изменение характеристик схемы на диаграмме Смита или на графиках в зависимости от движения мыши (рис. 48).

В Microwave Office компания AWR реализовала вычислительное ядро, интегрирующее собственную математику и алгоритмы HSpice компании Synopsys, соглашение о партнерстве с которой было подписано в ноябре 2002 г. В результате взаимодействия двух компаний стала возможной разработка новых моделей, библиотек элементов и измерений, использующих анализ во временной области. Доступные ранее только для анализа в частотной области EM-модели микрополосковых и щелевых линий теперь можно использовать как стандартные Spice-элементы. Аналогичным образом поддерживаются элементы, описанные матрицами S-параметров.

Библиотеки элементов включают свыше 500 моделей сосредоточенных и распределенных элементов, а также свыше 150 000 компонентов различных фирм-производителей. Сюда входят полосковые, микрополосковые и копланарные, активные и пассивные, различные стандартные подложки (например, компании Rogers), а также многие другие распространенные элементы, используемые для построения ВЧ-схем.

В случаях, когда правильная модель используемого устройства отсутствует или эффект близкого расположения элементов подрывает точность модели, пользователи могут обратиться к модулю 2.5D-электромагнитного моделирования, использующего метод моментов Галеркина. Если необходимо выполнить полное трехмерное моделирование микрополоскового элемента, то это может быть сделано с помощью внешней программы 3D-электродинамического анализа, обмен данными с которой осуществляется через специальный интерфейс EM Socket, использующий COM-технологии для интеграции с системами моделирования других фирм. Текущая версия Microwave Office поддерживает совместный анализ с системами Sonnet Suite, Zealand IE3D, Analyst и CST Microwave Studio.

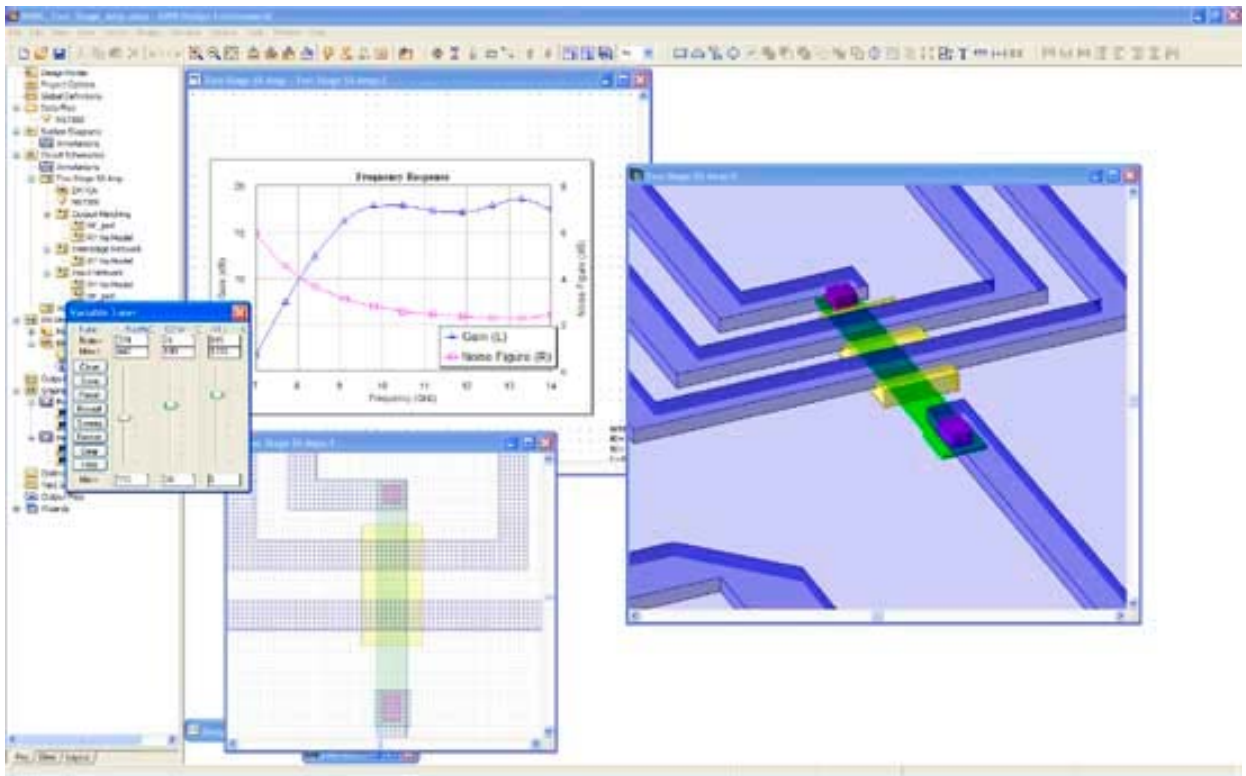


Рис. 48. Результаты работы программы Microwave Office

Мощные графические возможности Microwave Office позволяют пользователю наблюдать цветное трехмерное анимационное изображение токов высокой частоты, на котором отображается не только амплитуда, но и направление этих токов, что дает новое представление о поведении СВЧ-структур. Кроме того, имеется широкий набор "традиционного" представления расчетных данных: диаграммы Смита, графики в декартовой и полярной системах координат, таблицы данных.

Средства электромагнитного моделирования Microwave Office позволяют выполнять анализ антенн в дальней зоне, в частности построение диаграмм направленности RHCP, LHCP, EPH и ETheta. Имеется возможность экстракции эквивалентной схемы замещения антенны на сосредоточенных элементах (вывод в виде списка соединений в формате Spice).

Одним из наиболее мощных модулей программы является редактор топологий, работающий в режиме горячей связи с редактором схем. Каждому элементу на схеме в библиотеке соответствует его топологический эквивалент. Большинство таких элементов уже разработаны компанией AWR, но редактор имеет богатые возможности для создания новых, заимствования и изменения уже имеющихся элементов. Таким образом, топология создается автоматически по мере создания схемы. Изменение параметров элементов схемы влечет за собой соответствующее изменение топологии. И наоборот, изменение рисунка в редакторе топологий изменяет параметры планарных элементов на схеме.

В редакторе имеется возможность создания многослойных плат, а также учета различных технологических подслоев. Информация о слоях и способах их отображения содержится в специальных технологических файлах. Помимо плоского послойного отображения топологии редактор топологий может просматривать трехмерное представление проектируемого СВЧ-устройства как в "прозрачном" режиме, так и с наложением различных, в том числе и пользовательских, текстур. Имеется настройка на технологию конкретного производителя с помощью специальных технологических библиотек.

В редакторе топологий присутствует модуль контроля топологических норм Design Rule Checking (DRC), позволяющий отслеживать минимальную ширину микрополосковых линий, зазоры между двумя межслойными соединениями на разных слоях, перекрытие элементов, расположенных на разных слоях, удаление элементов, расположенных на разных слоях; наличие небольших зазоров между торцами элементов, не выявленных визуально (рис. 49). Удобная система просмотра и устранения выявленных нарушений позволяет значительно повысить эффективность труда разработчиков монолитных СВЧ-микросхем (МММС).

Последняя версия пакета (по состоянию на декабрь 2014 г.) содержится в сборке AWR Design Environment v11.02, 2014 г.

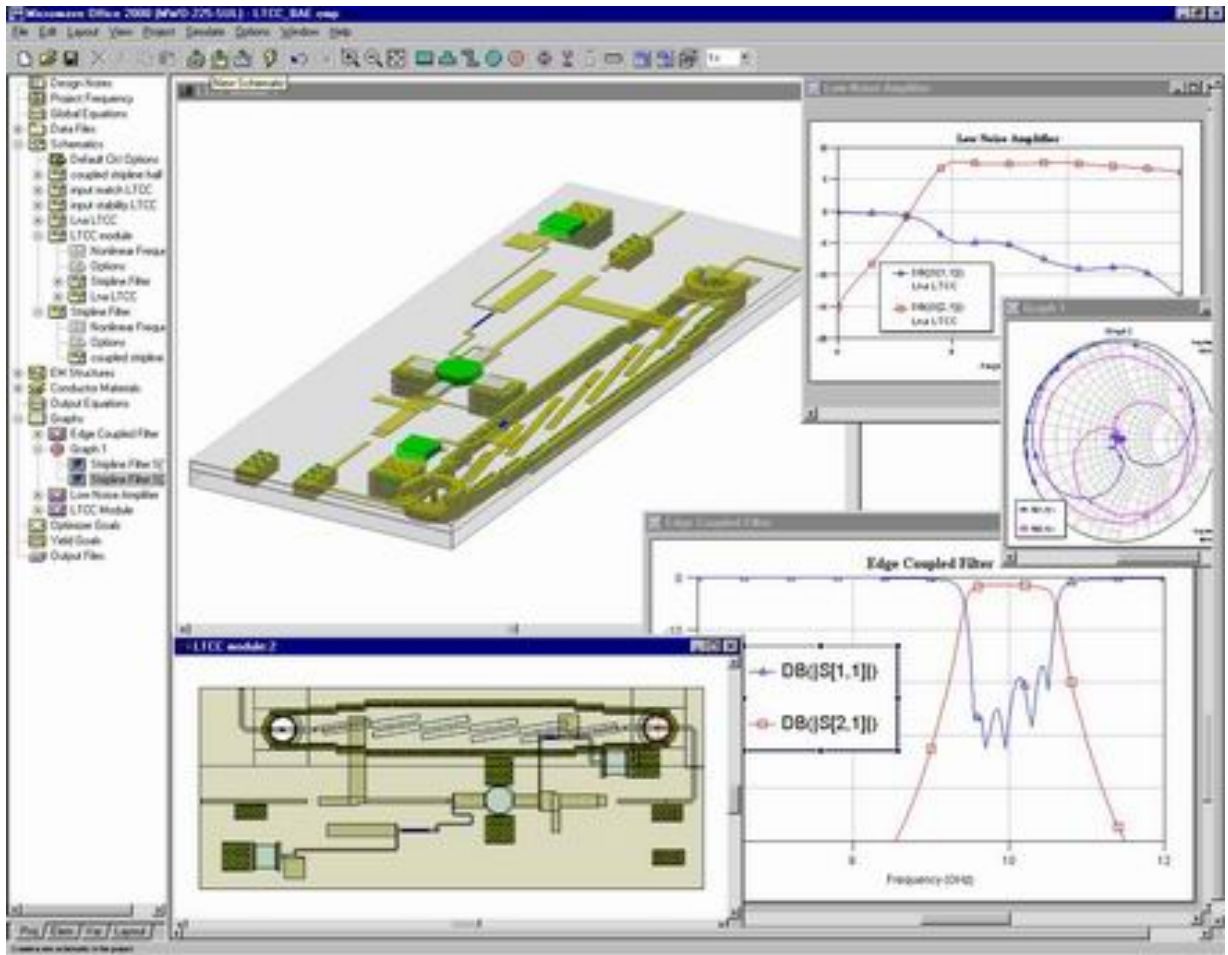


Рис. 49. Моделирование полосковой антенны в Microvave Office

HFSS ANSOFT (Agilent Technology). Корпорация Ansoft, входящая в состав компании Ansys, занимается разработками ПО для автоматизации проектирования электронных приборов и устройств. Одним из продуктов компании является САПР HFSS (рис. 50).

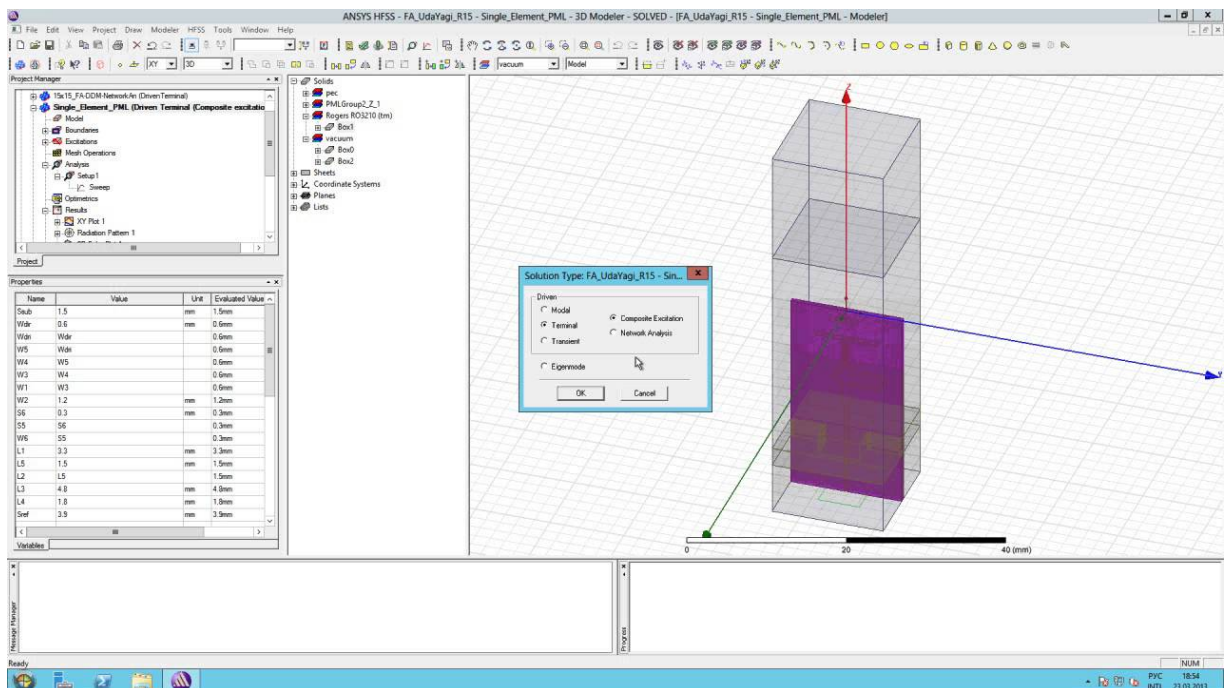


Рис. 50. Окно программы HFSS

HFSS – это стандартизованный в промышленности инструмент для моделирования трехмерных электромагнитных полей. Технология HFSS позволяет выполнять расчет электрических и магнитных полей, токов, S-параметров, излучений полей в ближней и дальней зоне. Процесс выполнения расчета полностью автоматизирован, пользователю необходимо всего лишь определить геометрические параметры, свойства материалов и желаемый результат. HFSS автоматически построит точную сеточную модель, соответствующую конкретному случаю, для решения задачи при помощи метода конечных элементов. В технологии HFSS физика определяет параметры сеточной модели, а не наоборот. Модуль HFSS может быть связан с Ansys Mechanical и Ansys DesignXplorer для выполнения междисциплинарного анализа и изучения возможностей оптимизации изделия. Технология HFSS является надежным инструментом, используемым при разработке высокоскоростных компонентов, в том числе расположенных на кристалле пассивных компонентов, корпусов интегральных схем, соединительных элементов печатных плат и ВЧ-компонентов, таких как антенны, СВЧ/ВЧ-компоненты, биомедицинские устройства (рис. 51).

HFSS позволяет рассчитывать S , Y , Z -параметры, визуализировать трехмерные электромагнитные поля и излучения, создавать Spice-совместимые модели для расчета качества сигнала.

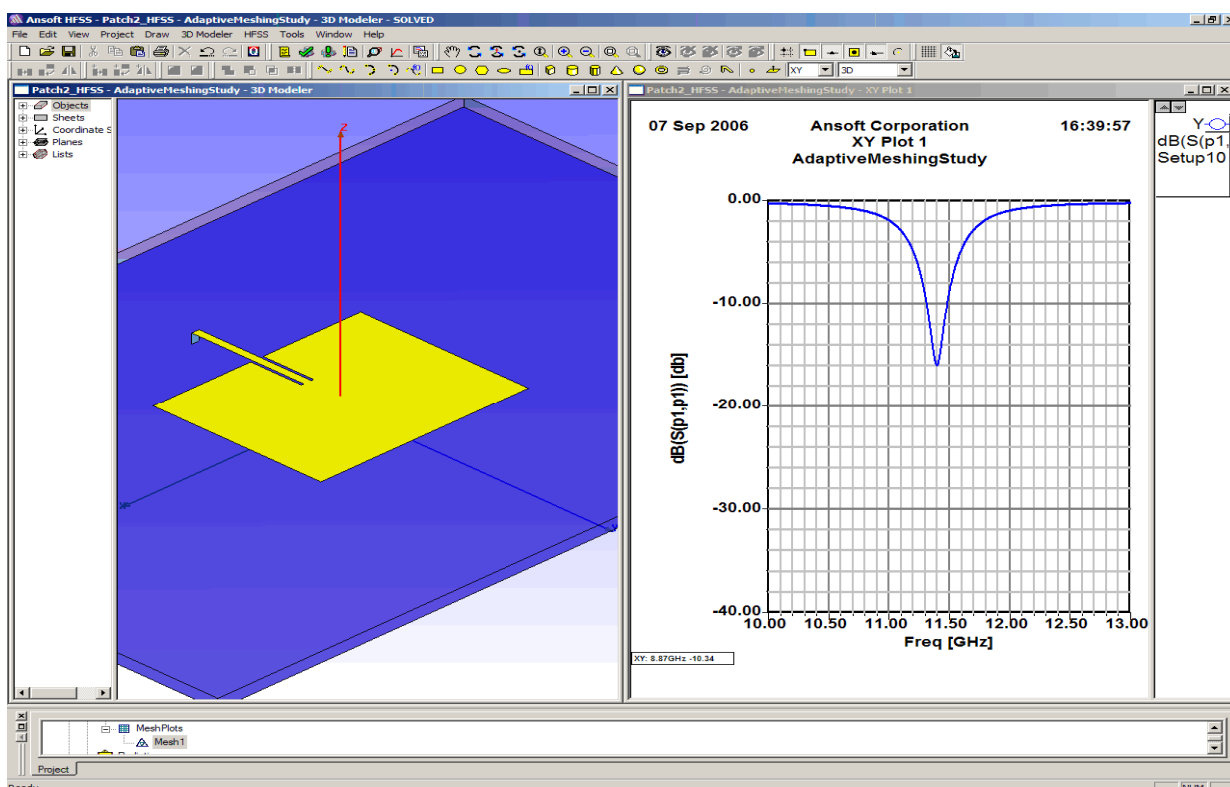


Рис. 51. Окно результатов работы программы HFSS

Использование HFSS позволяет решать задачи расчета радиочастотных и микроволновых устройств, например, при разработке ВЧ-компонентов, применяемых в принимающих и передающих частях коммуникационных систем, радиолокационных системах, спутниках и сотовых телефонах (рис. 52). Кроме того, HFSS используется для расчета электромагнитного взаимодействия между соединительными элементами, линиями электропередачи, переходными отверстиями печатных плат, а также для расчета высокоскоростных компонентов, применяемых в компьютерных серверах, устройствах хранения данных, мультимедийных ПК, развлекательных и телекоммуникационных системах.

HFSS может решать следующие задачи:

- моделирование трехмерного электромагнитного поля;
- конечные элементы, описываемые тангенциальными векторами;
- автоматическое адаптивное создание и сгущение сетки;
- расчет S , Y , Z -параметров через трансфинитные элементы;
- восстановление модели, автоматическое определение свойств, управление разрешающей способностью сеточной модели, отказоустойчивые алгоритмы построения сетки при импорте модели из CAD-системы;
- базисные функции низшего, среднего и высшего порядков;
- прямые и итерационные решатели матриц (возможность для 64-битных систем);
- обобщенные многорежимные описания портов, в том числе портов с большими потерями и портов Флоке;

- автоматическое назначение управляемых портов;
- различные случайные источники электромагнитных полей, в том числе диполи и произвольные плоские волны.

По состоянию на декабрь 2014 г. имеется версия R2.1 только для ОС Windows. Последняя рабочая версия – Ansys HFSS 15 (2013 г.).

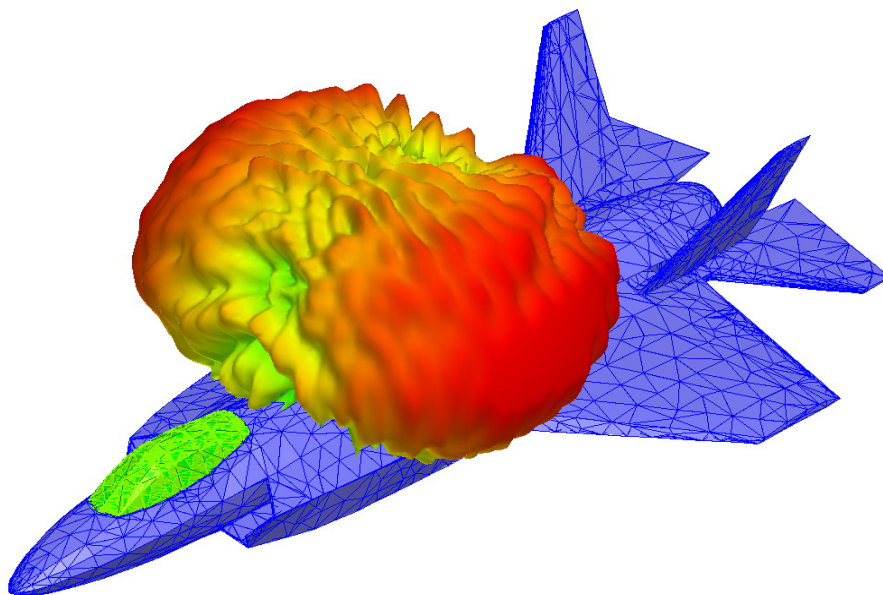


Рис. 52. Модель антенны с частотой 350 МГц, установленной на истребитель-бомбардировщик F-35: диаграмма направленности излучения

6.2. САПР ПЛИС

Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС, англ. programmable logic device, PLD) – электронный компонент, используемый для создания цифровых интегральных схем. В отличие от обычных цифровых микросхем, логика работы ПЛИС не определяется при изготовлении, а задаётся посредством программирования (проектирования). Для программирования используются программаторы и отладочные среды, позволяющие задать желаемую структуру цифрового устройства в виде принципиальной электрической схемы или программы на специальных языках описания аппаратуры: Verilog, VHDL, AHDL и др.

Продукты Altera. Altera – одна из крупнейших разработчиков ПЛИС, была основана в 1983 г. Как предприятие без собственных производственных мощностей, Altera концентрируется в первую очередь на разработке схем и модулей на основе таких языков описания аппаратуры, как VHDL, Verilog и собственный AHDL. В области производства микросхем сотрудничает с различными производителями.

Основные изделия – это программируемые микросхемы, а также услуги по преобразованию проектов под ПЛИС для массового производства. Компания также выпускает программы для разработки встроенного ПО для ПЛИС, а также компиляторы под ядро процессора собственной разработки. На сегодняшний момент это два программных продукта для обеспечения ПЛИС: Max +Plus II и Quartus II.

Программный продукт Max + Plus II представляет собой интегрированную среду для разработки цифровых устройств на базе ПЛИС фирмы Altera и обеспечивает выполнение всех этапов, необходимых для выпуска готовых изделий (рис. 53):

- ввод проектов;
- подготовку данных для программирования или конфигурирования ПЛИС (компиляцию);
- верификацию проектов (функциональное моделирование и временной анализ);
- программирование или конфигурирование ПЛИС.

Фирма Altera предлагает бесплатную версию САПР Max + Plus II BASELINE, которая поддерживает все этапы проектирования от ввода проекта до программирования (поддерживаются не все микросхемы). Бесплатные версии САПР доступны на сайте фирмы Altera.

САПР Max + Plus II менее требователен к характеристикам компьютера. Он поддерживает семейства Max, Flex и Aсех. Этот САПР фирма Altera не развивает и рекомендует переходить на Quartus II, который является для нее основным. Он поддерживает все новые семейства микросхем.

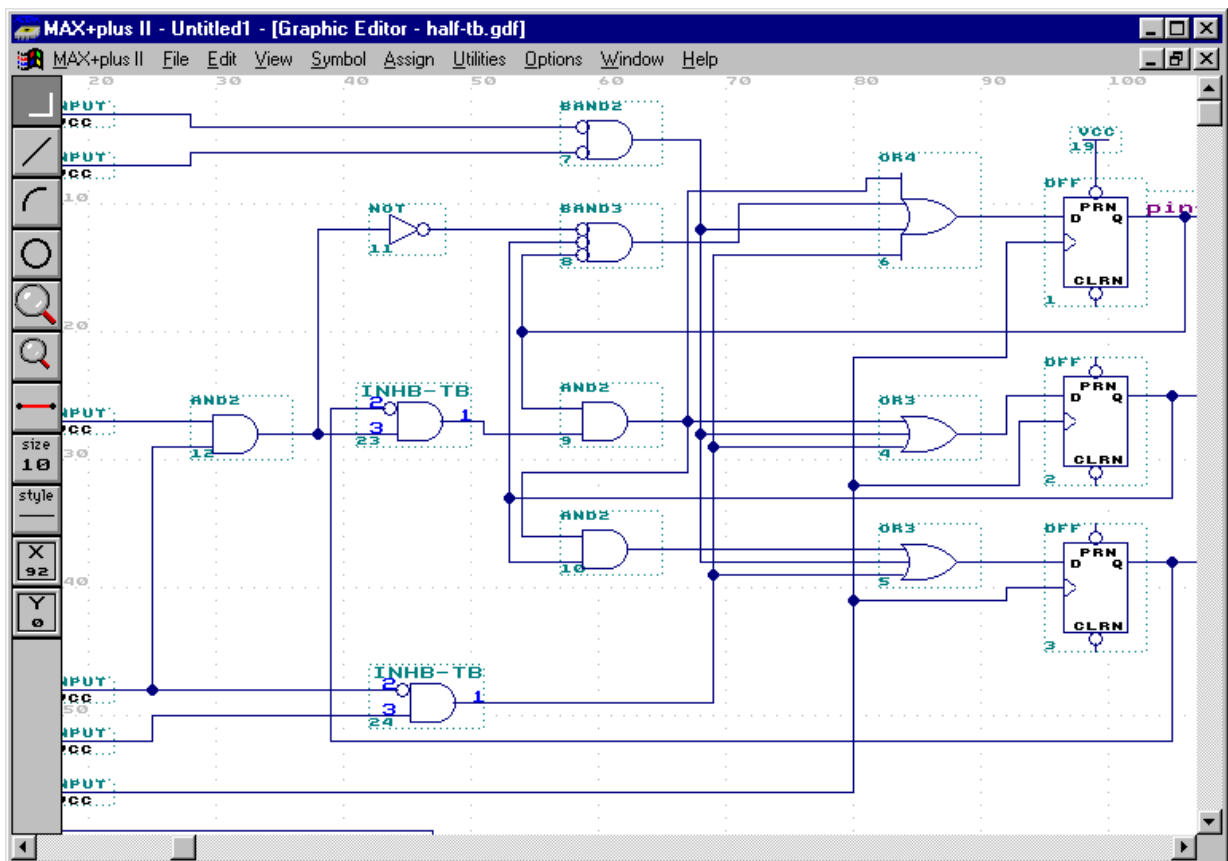


Рис. 53. Окно программы Max + Plus II

ПО Quartus II предоставляет полный цикл для создания высокопроизводительных систем на кристалле и объединяет в себе все этапы проектирования (ввод проекта, компиляция, верификация и программирование), связь с системами проектирования других производителей, возможность реализации проектов для любого кристалла фирмы Altera; подключаются библиотечные модули. Программирование микросхем происходит непосредственно из системы проектирования.

Quartus II поддерживает разнообразные средства описания проекта: схемный ввод, описания проекта языками AHDL, VHDL или Verilog, также введен редактор блоков (Block Editor), графическое средство описания параметризуемых модулей. Система предоставляет разработчику широкие возможности по различным изменениям при компиляции проекта. Если изменения при очередной итерации проекта затронули не весь проект, а его небольшую часть, то в системе имеется возможность так называемой nSTEP-компиляции, чем достигается высокая эффективность размещения на кристалле, приводящая к высокой производительности конечного изделия.

Фирма Altera предлагает бесплатные версии САПР Quartus II Web Edition, которая поддерживает все этапы проектирования – от ввода проекта до программирования. Пакет Quartus II Web Edition является бесплатной версией начального уровня САПР Quartus II и позволяет выполнять проекты на базе ПЛИС ограниченного числа кристаллов.

Последней рабочей версией (по состоянию на декабрь 2014 г.) является Quartus II v.14.1.

Продукты Xilinx. С 1984 г., когда впервые в мире Xilinx выпустила ПЛИС с архитектурой FPGA, и по настоящее время компания является ведущим мировым производителем микросхем программируемой логики. Технологии Xilinx позволяют производителям электронного оборудования минимизировать риски за счет сокращения времени на разработку новой продукции и сроков ее выхода на рынок. Разработчики могут проектировать и заниматься отладкой своих уникальных устройств на базе ПЛИС Xilinx гораздо быстрее, чем при использовании традиционных методов, при которых микросхемы получают фиксированную структуру в момент их изготовления. Более того, поскольку ПЛИС Xilinx представляют собой готовые к программированию стандартные изделия, разработчикам не требуется ждать изготовления прототипов или идти на существенные затраты для подготовки производства, как при использовании фиксированной логики или ASIC (Applications Specific Integrated Circuit).

ПО ISE фирмы Xilinx (рис. 54) давно известно как средство, обеспечивающее высокую производительность разрабатываемых устройств с программируемой логикой, при этом ISE является простым в освоении и недорогим продуктом. В версии ПО ISE 8.1i фирма Xilinx представляет новую технологию ISE Fmax, которая, как следует из ее названия, разработана для повышения производительности создаваемых устройств

на базе ПЛИС и устранения узких мест проектов. САПР ISE позволяет значительно сократить сроки реализации проектов.

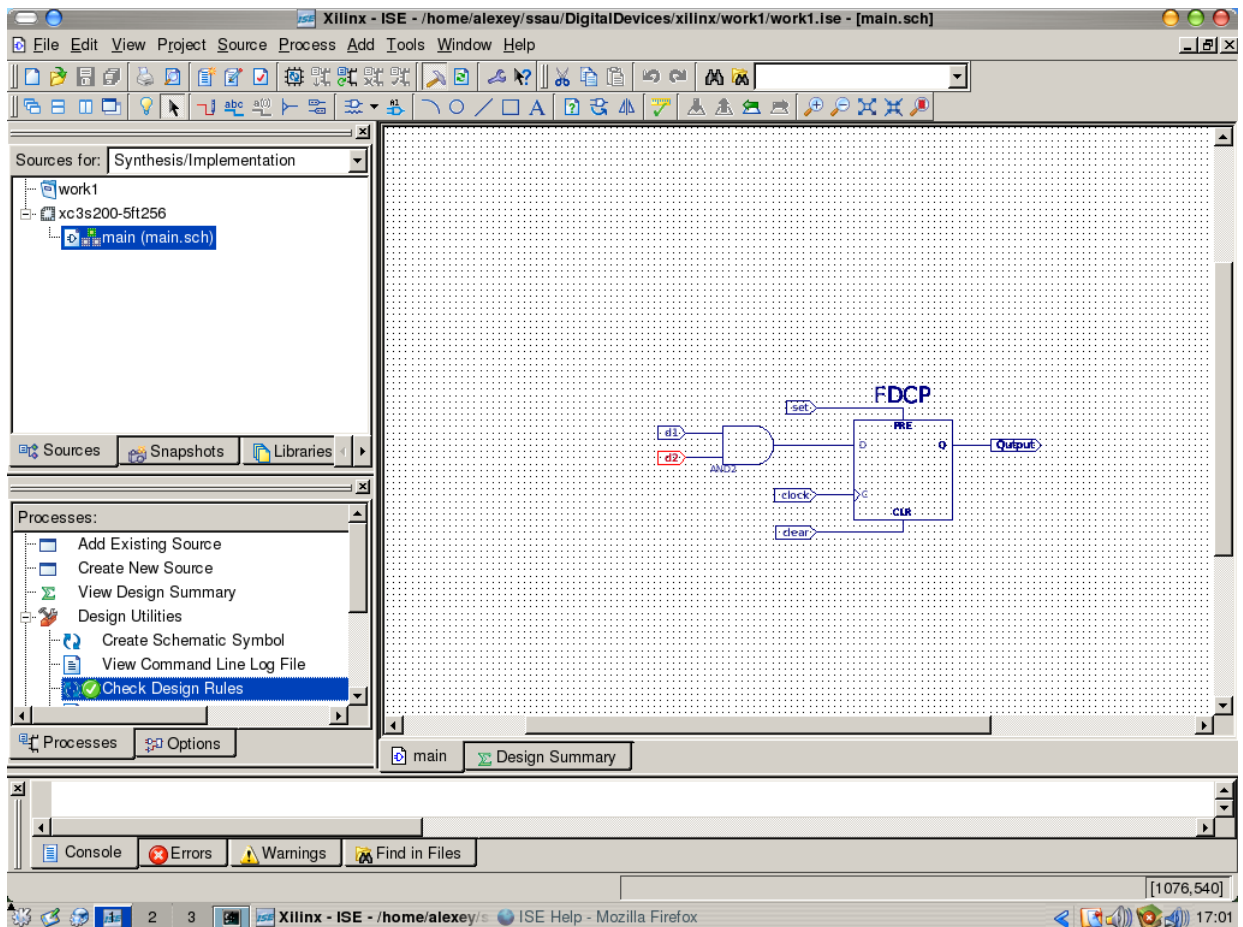


Рис. 54. Окно программы Xilinx ISE

Для проектов с большим логическим объемом и высокой производительностью Xilinx предлагает семейство ПЛИС Virtex-4 – аппаратная платформа для реализации наиболее сложных проектов. Для крупносерийных проектов предлагаются семейство Spartan-3 и ПЛИС CPLD, которые предназначены для разработки изделий, рассчитанных на большие тиражи при низкой стоимости. Одновременно Xilinx предоставляет разработчикам полноценный набор средств проектирования, позволяющих раскрыть всю мощь аппаратных решений.

ISE WebPACK 8.1i является бесплатным, свободно загружаемым через Интернет средством проектирования, которое обеспечивает сквозной маршрут проектирования для ПЛИС FPGA и CPLD. Эта САПР включает синтез и моделирование на HDL, размещение и трассировку проектов, а также программирование кристаллов по JTAG-интерфейсу. ISE WebPACK создает простую в освоении и полнофункциональную среду проектирования, как и отмеченная призами САПР Xilinx ISE Foundation, только бесплатно. Таким образом, компанией Xilinx разработано удобное для работы средство проектирования. Его легко актуализировать путем загрузки обновлений или полной инсталляции из одного файла.

ISE Foundation – полнофункциональная версия ПО ISE, сочетающая поддержку всех ведущих семейств ПЛИС FPGA и CPLD фирмы Xilinx. Это наиболее полное средство проектирования для устройств с программируемой логикой, обеспечивающее оптимальную производительность, управление потребляемой мощностью, снижение стоимости изделия, а также имеющее лучшую по отрасли службу технической поддержки Xilinx. ISE Foundation также поддерживает методологию частичного реконфигурирования, что позволяет уменьшить размер проектируемого устройства, его массу, потребляемую мощность и стоимость. И ISE Foundation, и ISE WebPACK в настоящее время поддерживают технологию Fmax, которая обеспечивает повышение производительности до 70% для ПЛИС Virtex-4 по сравнению с аналогичными решениями других фирм.

Алгоритмы синтеза нового поколения предусматривают технологию, определяемую термином retiming, отображение проекта на физические ресурсы с учетом заданных временных параметров, глобальную оптимизацию и оптимизацию по итогам размещения. При использовании новой версии САПР в режиме «по умолчанию» (при незадаваемых физических ограничениях) по сравнению с предыдущими версиями повышается про-

изводительность на 37%. Утилита Xplorer – бесплатное, простое в использовании программное средство, обеспечивающее 10%-ный прирост производительности для проектов с временными ограничениями.

Помимо ISE Foundation и WebPACK компания Xilinx предлагает пакет дополнительных средств разработки, предназначенный для проектирования на системном уровне, достижения максимальной производительности, а также отладки и анализа проектов.

ПО PlanAhead позволяет разработчикам анализировать топологию кристалла и улучшать производительность проектов.

ChipScore Pro – система внутрисхемной отладки. Она работает посредством внедрения в проект IP-ядер логического анализатора, шинного анализатора и виртуального ввода/вывода, позволяя наблюдать за любым заданным внутренним сигналом или узлом, включая встроенные аппаратные или софт-процессоры.

Xilinx Embedded Development Kit (EDK) – интегрированный программный пакет для сквозной разработки встраиваемых процессорных систем.

6.3. САПР виртуальных измерительных приборов LabVIEW

Среда разработки лабораторных виртуальных приборов LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, разработчик компания National Instruments) представляет собой среду прикладного графического программирования, используемую в качестве стандартного инструмента для проведения измерений, анализа их данных и последующего управления приборами и исследуемыми объектами. LabVIEW может использоваться на компьютерах с операционными системами Windows, MacOS, Linux, Solaris и HP-UX. Компьютер, оснащенный измерительно-управляющей аппаратной частью и LabVIEW, позволяет полностью автоматизировать процесс физических исследований. Создание любой программы для достижения этих целей (виртуального прибора) в графической среде LabVIEW отличается большой простотой, поскольку исключает множество синтаксических деталей.

Особо следует отметить динамику развития LabVIEW. Первая его версия была создана в 1986 г. компанией National Instruments в результате поисков путей сокращения времени создания новых измерительных приборов. Версии LabVIEW со второй по седьмую появлялись в 1990, 1992, 1993, 1996, 2000 и 2003 гг. Каждая последующая версия существенно расширяла возможности предыдущей, прежде всего по обмену данными с измерительными приборами и работе с другими программными продуктами. Последняя версия программы (по состоянию на декабрь 2014 г.) – LabVIEW 2014. В последних версиях сделан акцент на интеграции современных информационных технологий, совершенствовании среды разработки для упрощения процесса разработки приложений, а также обеспечении доступа к обучающей экосистеме LabVIEW и готовым библиотекам.

Сфера применимости LabVIEW также непрерывно расширяется. В образовании она включает лабораторные практикумы по электротехнике, механике, физике. В фундаментальной науке LabVIEW используют такие передовые центры, как CERN (в Европе), Lawrence Livermore, Batelle, Sandia, Oak Ridge (США), в инженерной практике – объекты космические, воздушного, надводного и подводного флота, промышленные предприятия и т.д.

LabVIEW является идеальным программным средством для создания систем измерения, а также систем автоматизации управления на основе технологии виртуальных приборов. LabVIEW-программа в комплексе с такими аппаратными средствами, как встраиваемые в компьютер многоканальные измерительные аналого-цифровые платы, платы захвата и синхронизации видеоизображения для систем машинного зрения, платы управления движением и исполнительные механизмы, а также измерительные приборы, подключаемые к компьютеру через стандартные интерфейсы RS-232, RS-485, USB, GPIB (КОП), PXI, VXI, позволяет разрабатывать системы измерения, контроля, диагностики и управления практически любой сложности.

Программа LabVIEW называется и является виртуальным прибором (англ. Virtual Instrument) и состоит из двух частей: блочной диаграммы, описывающей логику работы виртуального прибора, и лицевой панели, описывающей внешний интерфейс виртуального прибора. Пример построения такого виртуального прибора показан на рис. 55. Виртуальные приборы могут использоваться в качестве составных частей для построения других виртуальных приборов.

Лицевая панель виртуального прибора содержит средства ввода-вывода: кнопки, переключатели, светодиоды, верньеры, шкалы, информационные табло и т.п. Они используются человеком для управления виртуальным прибором, а также другими виртуальными приборами для обмена данными.

Блочная диаграмма содержит функциональные узлы, являющиеся источниками, приемниками и средствами обработки данных. Также компонентами блочной диаграммы являются терминалы («задние контакты» объектов лицевой панели) и управляющие структуры (аналоги таких элементов текстовых языков программирования, как условный оператор «IF», операторы цикла «For» и «While» и т.п.). Функциональные узлы и терминалы объединены в единую схему линиями связей.

LabVIEW имеет собственную мощную математическую поддержку. Кроме того, может интегрировать в себя программы, написанные в среде Matlab. Большое количество встроенных алгоритмов позволяет осуществлять весьма сложную цифровую обработку сигналов, изображений и экспериментальных данных

во временной, пространственной и спектральной областях. Программная среда LabVIEW постоянно пополняется новыми средствами обработки сигналов на основе вейвлет-анализа, алгоритмов нечеткой логики, сетевых технологий и т.д.

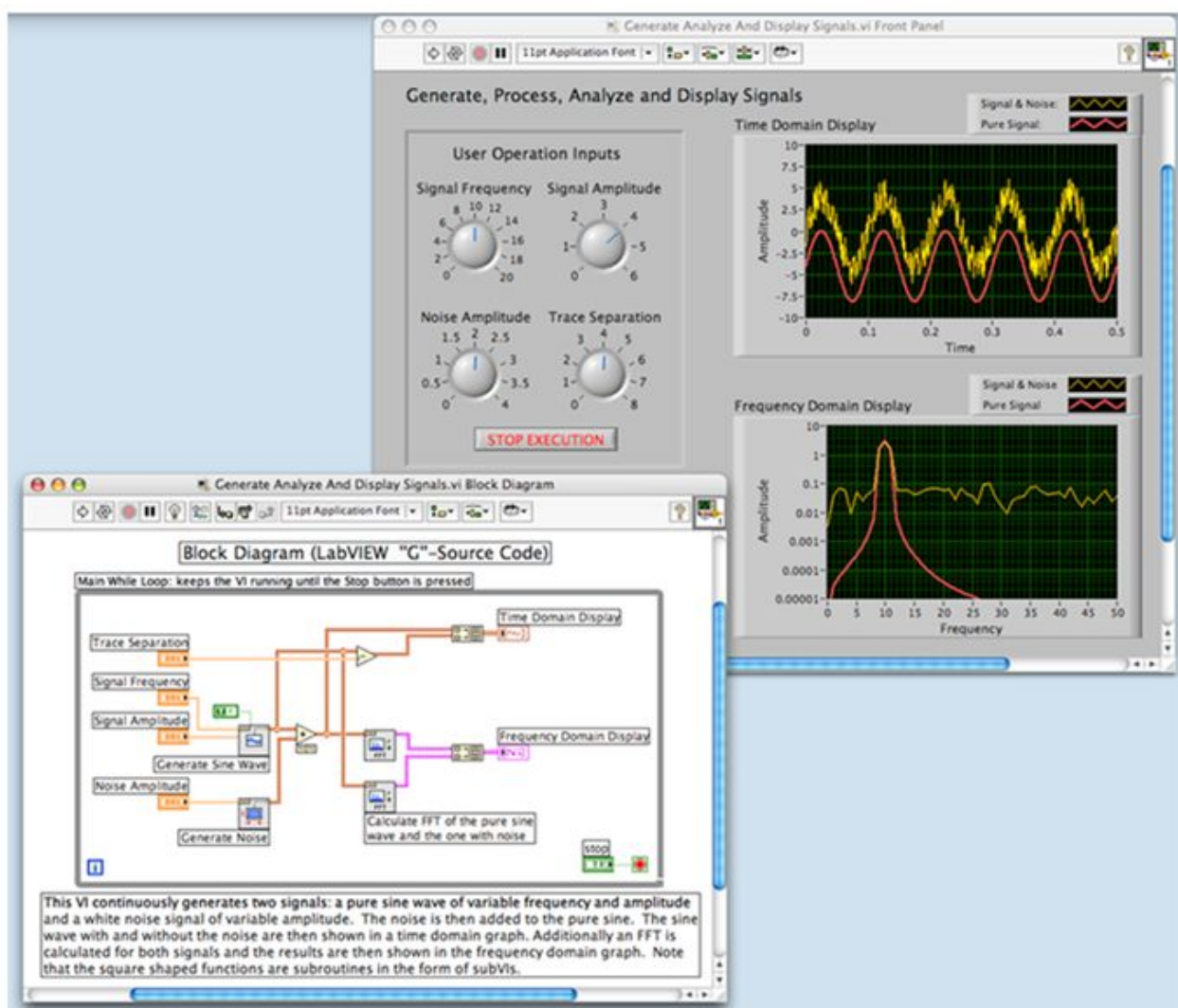


Рис. 55. Окно приложения, разработанного в LabView

Роль программных сред, подобных LabVIEW, в научных исследованиях и технических экспериментах весьма велика. В настоящее время в науке наблюдается своего рода «ренессанс» эксперимента. Вызвано это развитием и совершенствованием измерительной техники и появлением нового поколения высокоточных и высокочувствительных измерительных приборов и автоматизированных измерительных систем, с помощью которых регистрируются тонкие эффекты 3-4-го порядка малости. Несмотря на свою «малость» эти эффекты часто играют ключевую роль в формировании основного явления, влияя на качество конечной продукции и т.д. Анализ подобных эффектов, как правило, оказывается вне досягаемости теоретических моделей. Поэтому в большинстве случаев эксперимент является единственным источником качественно новой и надежной информации. При этом результат достигается гораздо быстрее, чем методами «чистой» теории. Зачастую это выгодно и экономически, так как рядовой экспериментатор, вооруженный современным инструментарием, подобным LabVIEW, может достаточно быстро получить нужную информацию.

Традиционно в работе исследователя функции моделирования и экспериментирования разделены: моделирование осуществляется в среде математических программных пакетов, а эксперименты поддерживаются другими программными средствами, что отнюдь не повышает эффективность работы. Эффективность использования среды LabVIEW в научных исследованиях состоит в том, что, оставаясь в ее рамках, можно разрабатывать математическую модель объекта, а также снабжать ее экспериментальными данными с помощью аппаратных средств ввода-вывода, сопряженных с реальным объектом.

Библиографический список

1. ГОСТ 23501.108-85 «Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение».
2. *Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств*: учеб. пос. / Под ред. О.В. Алексеева. М.: Высшая школа, 2000.
3. *Афанасьев, А.О.* OrCAD 7.0...9.0. Проектирование электронной аппаратуры и печатных плат / А.О. Афанасьев, С.А. Кузнецова // Наука и техника. М., 2001. 464 с.
4. *Банков, С.Е.* Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ структур с помощью HFSS / С.Е. Банков, А.А. Курушин, В.Д. Разевиг. М.: Солон-Пресс, 2004. 208 с.
5. *Елишин, Ю.М.* Справочное руководство по работе с подсистемой SPECCTRA в PCAD 2000 / Ю.М. Елишин. М.: СОЛОН-Р, 2002. 272 с.
6. *Загидуллин, Р.Ш.* SystemView. Системотехническое моделирование устройств обработки сигналов / Р.Ш. Загидуллин, С.Н. Карутин, В.Б. Стешенко. М: Горячая линия-Телеком, 2005. 294 с.
7. *Исследование тепловых характеристик РЭС методами математического моделирования* / В.В. Гольдин [и др]. М.: Радио и связь, 2003. 456 с.
8. *Кузнецова, С.А.* OrCAD 10. Проектирование печатных плат / С.А. Кузнецова, А.В. Нестеренко, А.О. Афанасьев. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. 454 с.
9. *Методы математического моделирования радиотехнических систем*: учеб. пос. / Под ред. Ю.В. Петрова; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2005. 120 с.
10. *Митин, Г.П.* Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах / Г.П. Митин. М: Изумруд, 2003. 224 с.
11. *Моделирование радиоэлектронных и телекоммуникационных устройств в САПР OrCAD. Ч.2.* Программа моделирования OrCAD PSpice: практ. пос. / Ю.В. Петров [и др.]; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2009. 66 с.
12. *Норенков, И.П.* Автоматизированное проектирование: учебник / И.П. Норенков. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 188 с.
13. *Норенков, И.П.* Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / И.П. Норенков. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. 430 с.
14. *Петров, Ю.В.* Проектирование печатных плат радиоэлектронных и телекоммуникационных устройств в САПР OrCAD. Ч.3. Редактор печатных плат OrCAD Layout: практ. пос. / Ю.В. Петров, В.А. Рогожин, С.Н. Аникин; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2009. 50 с.
15. *Петров, Ю.В.* Система автоматизированного проектирования электронных устройств OrCAD. Ч.1. Редактор принципиальных схем OrCAD Capture: практ. пос. / Ю.В. Петров, Д.В. Боголепов, К.Л. Хохлов; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2006. 94 с.
16. *Пирогова, Е.В.* Проектирование и технология печатных плат / Е.В. Пирогова. М.: Форум, 2005. 559 с.
17. *Потапов, Ю.В.* Система проектирования печатных плат Protel / Ю.В. Потапов. М.: Горячая линия-Телеком, 2003. 704 с.
18. *Разевиг, В.Д.* SystemView — средство системного проектирования радиоэлектронных устройств / В.Д. Разевиг, Г.В. Лаврентьев, И.Л. Златин; Горячая линия-Телеком, 2002. 352 с.
19. *Разевиг, В.Д.* Проектирование печатных плат в P-CAD 2001 / В.Д. Разевиг. М.: СОЛОН-Р, 2001. 560 с.
20. *Разевиг, В.Д.* Проектирование СВЧ-устройств с помощью Microwave Office / В.Д. Разевиг, А.А. Курушин, Ю.В. Потапов. М.: Солон-Пресс, 2003. 496 с.
21. *Разевиг, В.Д.* Система проектирования OrCAD 9.2 / В.Д. Разевиг. М.: СОЛОН-Р, 2001. 530 с.
22. *Разевиг, В.Д.* Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0 / В.Д. Разевиг. М.: СОЛОН-Р, 1999. 700 с.
23. *Разевиг, В.Д.* Система схемотехнического моделирования Micro-Cap 6 / В.Д. Разевиг. М.: Радио и связь, 2001. 344 с.
24. *Сабунин, А.Е.* Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств / А.Е. Сабунин. М.: СОЛОН-Пресс, 2009. 432 с.
25. *Саврушев, Э.Ц.* P-CAD для Windows. Система проектирования печатных плат: практ. пос. / Э.Ц. Саврушев. М.: ЭКОМ, 2002. 320 с.
26. *Стешенко, В.Б.* EDA. Практика применения САПР в проектировании радиоэлектронных устройств / В.Б. Стешенко. М.: Нолидж, 2001.
27. *Уваров, А.С.* PCAD 2002 и SPECCTRA. Разработка печатных плат / А.С. Уваров. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 544 с.
28. *Уваров, А.С.* P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств / А.С. Уваров. М.: Горячая линия-Телеком, 2004. 760 с.
29. *Фриск, В.В.* Основы теории цепей. Использование пакета Microwave Office для моделирования электрических цепей на персональном компьютере / В.В. Фриск. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 200 с.
30. *Хайнеман Р.* PSpice. Моделирование работы электронных схем / Р. Хайнеман. М.: ДМК-Пресс, 2001. 336 с.

Ссылки на сайты компаний-производителей E-CAD

<http://www.autodesk.ru>
<http://www.ascon.ru>
<http://www.altium.com/>
<http://www.agilent.com/home>
<http://www.awrcorp.com/ru>
<http://matlab.ru>
<http://www.cadence.com>
<http://www.interactiv.com/>
<http://www.cadprofi.ru>
<http://www.electronics.ru>
<http://www.rodnik.ru>
<http://www.chipinfo.ru>
<http://www.wssi.com/>
<http://www.thermalsoftware.com/>
<http://www.quantec-emc.com/>
<http://www.asonika-k.ru/>
<http://www.downstreamtech.com/>
<http://www.frontline-pcb.com/>
<http://www.eurointech.ru/>
<http://www.cae-expert.ru/>
<http://jre.cplire.ru/>
<http://www.altera.ru/>
<http://kit-e.ru/>
<http://www.labview.ru>

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Список обозначений и сокращений.....	3
1. ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ.....	4
1.1. История развития автоматизации проектирования.....	4
1.2. Определение САПР.....	5
1.3. Обеспечение САПР.....	6
1.4. Классификация САПР.....	7
1.5. Основные черты современных САПР электроники.....	8
2. ПРОГРАММЫ ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	9
2.1. AutoCAD (AutoDesk).....	9
2.2. Компас («Аскон»).....	10
3. ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ.....	11
3.1. Программы моделирования электронных устройств на уровне структурных схем.....	11
<i>SystemVue (Elanix, Agilent Technologies)</i>	11
<i>ACOLADE (Icucom), Visual System Simulator (AWR, NI)</i>	13
<i>Matlab и Simulink (The MathWorks)</i>	15
3.2. Программы моделирования электронных устройств на уровне принципиальных схем.....	16
<i>PSpice (MicroSim, Cadence)</i>	16
<i>Electronics Workbench (Interactive Image Technologies), MultiSim (National Instruments)</i>	18
<i>Micro-CAP (Spectrum Software)</i>	21
4. СИСТЕМЫ «СКВОЗНОГО» ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ.....	23
4.1. Продукты Cadence.....	23
<i>Orcad Capture</i>	24
<i>OrCAD/Allegro PCB Editor</i>	26
<i>PSpice/AMS Simulator</i>	28
<i>SPECCTRA</i>	29
4.2. Продукты ALTIUM.....	30
<i>P-CAD</i>	30
<i>Altium Designer</i>	32
<i>CircuitMaker</i>	36
4.3. Продукты Mentor Graphics.....	37
<i>Mentor Board Station</i>	37
<i>Mentor PADS PowerPCB</i>	38
<i>Mentor Graphics Expedition</i>	39
5. ПРОГРАММЫ ПОСТОБРАБОТКИ ПРОЕКТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ.....	39
5.1. Программы анализа целостности сигналов и электромагнитной совместимости.....	39
<i>Omega Plus, Compliance (Quantic EMC)</i>	39
<i>SpeedXP Suite (Sigrity)</i>	41
<i>Программные пакеты анализа ЭМС и целостности сигналов</i>	41
5.2. Программы теплового анализа.....	44
<i>BETASoft (Dynamic Soft Analysis)</i>	44
<i>Sauna (Thermal Solutions)</i>	45
<i>АСОНИКА-Т (КТТУ)</i>	46
5.3. Программы подготовки производства.....	47
<i>SAM350 (Downstream Technologies)</i>	47
<i>SAMtastic! (Altium)</i>	49
<i>GERBTOOL (Wise Software Solutions)</i>	50
<i>GENESYS (PCB Frontline)</i>	50
6. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ САПР.....	51
6.1. САПР СВЧ- и антенных устройств.....	51
<i>MicroWave Office (Applied Wave Research)</i>	51
<i>HFSS ANSOFT (Agilent Technology)</i>	54
6.2. САПР ПЛИС.....	56
<i>Продукты Altera</i>	56
<i>Продукты Xilinx</i>	57
6.3. САПР виртуальных измерительных приборов LabVIEW.....	59
Библиографический список.....	61
П р и л о ж е н и е. Ссылки на сайты компаний-производителей E-CAD.....	62

*Петров Юрий Витальевич, Аникин Сергей Николаевич, Рогожин Василий Александрович,
Бызов Алексей Николаевич, Быстров Сергей Юрьевич, Петров Никита Юрьевич*

**Системы автоматизированного проектирования
электронных устройств и систем
(E-CAD / EDA-системы)**

Редактор *Г.М. Звягина*
Корректор *Л.А. Петрова*

Подписано в печать 24.08.2015. Формат 60x84/8. Бумага документная.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 8. Тираж 100 экз. Заказ № 83.
Балтийский государственный технический университет
Типография БГТУ
190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1