

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)»



**Кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой КИПР

_____ **В.Н. Татаринов**

“ ___ ” _____ 2012 г.

Знакомство с системой автоматизированного проектирования печатных плат **P-CAD**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Информационные технологии проектирования РЭС» для студентов очного и заочного обучения специальностей 211000.62 и 162107.65

Разработчик:

Доцент кафедры КИПР

_____ **Ю.П. Кобрин**

СОДЕРЖАНИЕ

1	Цель работы	3
2	Порядок выполнения работы.....	3
3	Отчетность	3
4	Контрольные вопросы	4
5	Автоматизированное проектирование печатных плат (ПП).....	4
5.1	Характеристика основных этапов процесса проектирования РЭС.....	4
5.2	Автоматизированные системы проектирования РЭС.....	6
5.3	САПР печатных плат	9
5.4	Состав и возможности САПР семейства <i>P-CAD</i>	14
5.5	Запуск системы.....	18
5.6	Организация пользовательского интерфейса	19
5.6.1	Экраны графических редакторов.....	19
5.6.2	Команды обзора рабочего окна	21
5.6.3	Выбор и редактирование объектов	21
5.7	Основные этапы проектирования ПП в системе <i>P-CAD</i>	24
6	Учебное задание на сквозное проектирование печатного узла РЭС	25
	Список литературы	27

1 Цель работы

1) Знакомство с наиболее характерными проблемами проектирования печатных плат.

2) Рассмотрение возможностей и характеристик важнейших программных модулей семейства САПР печатных плат *P-CAD*;

3) Изучение методики автоматизированного проектирования печатных плат с помощью САПР *P-CAD*.



2 Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться со структурой и назначением основных программ САПР *P-CAD* (раздел 5 настоящих методических указаний).

2) Ознакомиться с расположением и взаимосвязью программ и библиотек САПР *P-CAD*, способом их подключения.

3) Изучить способы управления работой над проектом (меню, горячие клавиши и т.д.).

4) Подготовить каталог для файлов своего проекта.

5) Ответить на контрольные вопросы.

6) Получить у преподавателя задание - схему электрическую принципиальную блока РЭС. Эта схема будет использоваться во всех дальнейших лабораторных работах.

7) Внимательно изучить назначение проектируемого блока РЭС, условия его эксплуатации и т.п. Подумать над вариантами возможных конструктивных решений проекта и обсудить их с преподавателем.

8) Выполнить все предусмотренные программой лабораторной работы практические задания.

9) Выполнить и защитить отчет о выполненной работе.

3 Отчетность

Для получения зачета по работе студент должен:

- знать назначение и основные технические характеристики важнейших программ САПР *P-CAD*;
- уметь самостоятельно загрузить необходимые модули САПР *P-CAD* и организовать работу над своим проектом;
- знать назначение основных элементов интерфейса программных модулей *P-CAD*;
- представить результаты выполненного практического задания.

4 Контрольные вопросы

- 1) Какие этапы автоматизированного проектирования РЭС Вы знаете?
- 2) Какие задачи решает система P-CAD?
- 3) Перечислите состав программных модулей системы P-CAD.
- 4) Назовите основные технические характеристики системы P-CAD.
- 5) Каково назначение каждого из программных модулей системы?
- 6) Поясните порядок запуска программных модулей системы?
- 7) Как организован экран пользовательского интерфейса системы?
- 8) Перечислите основные проектные процедуры и используемые программные модули при проектировании ПП средствами системы?

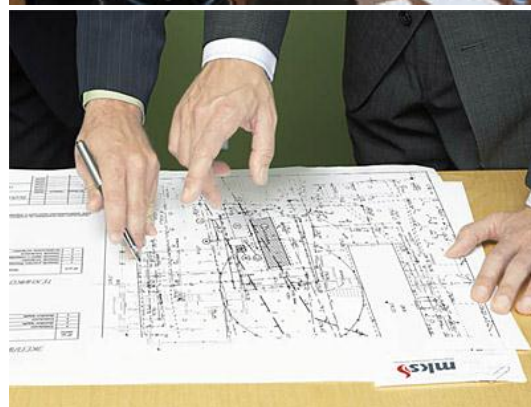
5 Автоматизированное проектирование печатных плат (ПП)

5.1 Характеристика основных этапов процесса проектирования РЭС

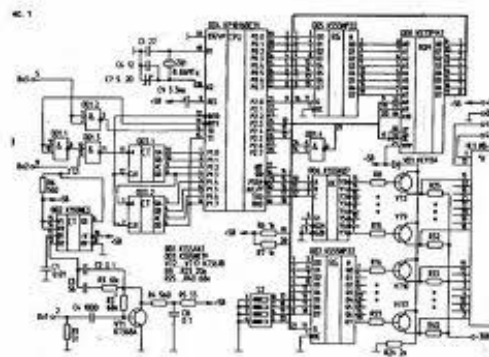
Проектирование РЭС представляет собой сложный многосторонний итерационный процесс, состоящий из множества этапов:

Техническое задание (ТЗ). Устанавливаются основное назначение разрабатываемого изделия, его технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предписание по выполнению необходимых стадий создания документации (конструкторской, технологической, программной и т.д.) и её состав, а также специальные требования.

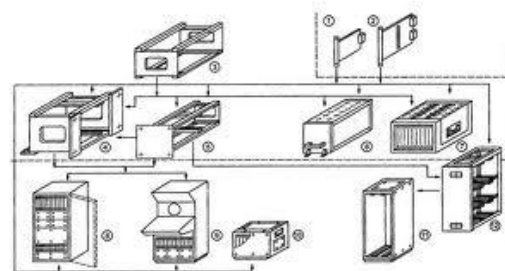
Техническое предложение. Выявляются дополнительные или уточненные требования к изделию (технические характеристики, показатели качества и др.), которые не могли быть указаны в техническом задании, и это целесообразно сделать на основе предварительной конструкторской проработки и анализа различных вариантов изделия.



Функциональное (схмотехническое) проектирование, в ходе которого выбирается функционально-логическая база, разрабатываются принципиальные электрические схемы изделия электронной техники в целом и его составных частей, перечень элементов. Выполняется моделирование (а иногда и макетирование) отдельных узлов или всего изделия в целом. Разрабатывается и выпускается соответствующая документация.



Техническое (конструкторское) проектирование решает задачи синтеза конструкции изделия в целом. Определяется компоновка и размещение элементов, разрабатывается конструкция печатной платы, топология электрических соединений и выпускается комплект необходимой конструкторской документации.



Проектирование технологических процессов. Предусматривает определение состава технологического оборудования для изготовления РЭС, подготовку необходимых организационно-технических мероприятий, связанных с обеспечением функционирования технологических линий изготовления, разработку правил подготовки проекта изделия для изготовления в единичном, мелкосерийном или крупносерийном вариантах.



Проводится **сборка, настройка и регулировка** спроектированного РЭС, проведение испытаний, доработка по их результатам принципиальных или функциональных схем, внесение изменений и т.п.



Все эти трудоёмкие этапы повторяются до тех пор, пока не будут удовлетворены все требования технического задания.

Острая конкурентная борьба за рынки сбыта показывает, что реализация процессов проектирования и производства современных электронных средств невозможна без использования информационных технологий проектирования РЭС. С их помощью можно организовать сквозной цикл автоматизированного проектирования аппаратуры, охваты-

вающий как моделирование исходной схемы электрической принципиальной, так и разработку реальной конструкции.

5.2 Автоматизированные системы проектирования РЭС

Автоматизированная система (АС) - это комплекс технических, программных, других средств и персонала, предназначенный для автоматизации различных процессов. Существует большое разнообразие АС: управления (АСУ, англ. *automatized management system, AMS*), проектирования электронных приборов (англ. *Electronic Design Automation, EDA*), банковских, обучающих систем (АОС), научных исследований (АСНИ) и т.п.

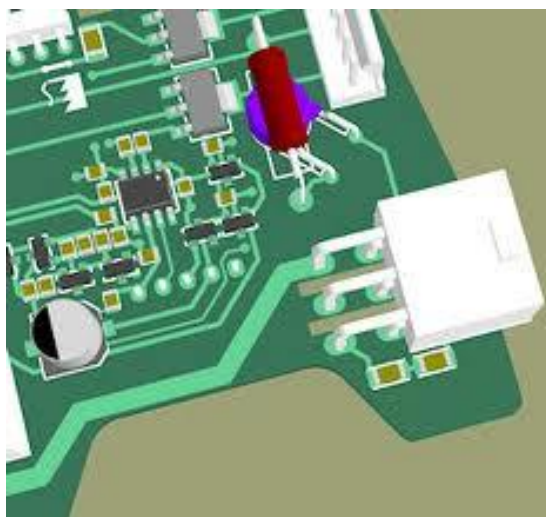
Для инженеров-проектировщиков особое значение имеют **Системы автоматизированного проектирования (САПР)**, реализующие *информационные технологии* выполнения функций проектирования.

Главная цель информационных технологий - *повышение эффективности труда инженеров*, которое достигается за счет сокращения трудоёмкости, сроков и себестоимости проектирования и изготовления РЭС, уменьшения затрат на их эксплуатацию, повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования, сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

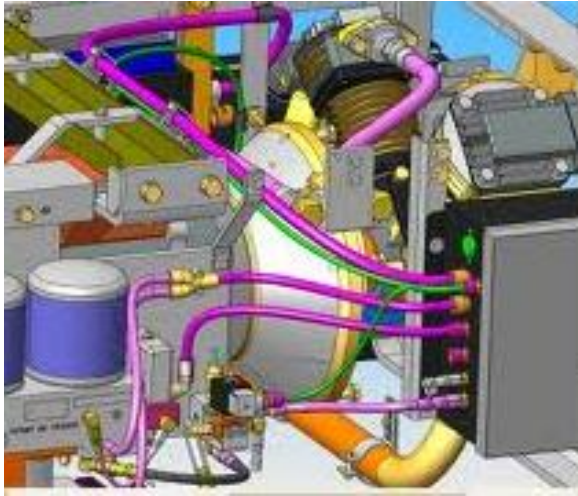


По целевому назначению различают САПР:

- **CAD** (англ. *computer-aided design/drafting*) - для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, САПР общего назначения. Для разработчиков РЭС в первую очередь представляют интерес:



Интегрированные CAD печатных плат (*P-CAD* [1], *OrCAD* [2] [3], *Altium Designer* [4] [5])

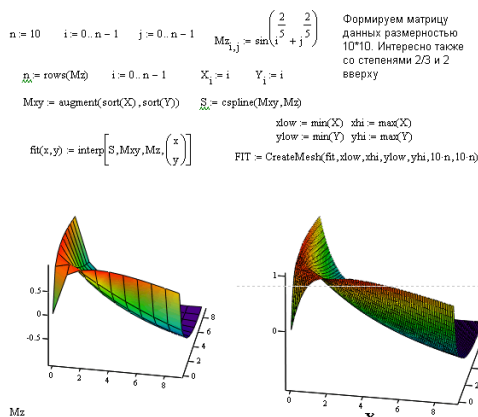


Универсальная система *SolidWorks* [6] [7] для трехмерного моделирования, разработки конструкций деталей, сборок, чертежей, работы с листовым металлом, сварными конструкциям и поверхностями произвольной формы

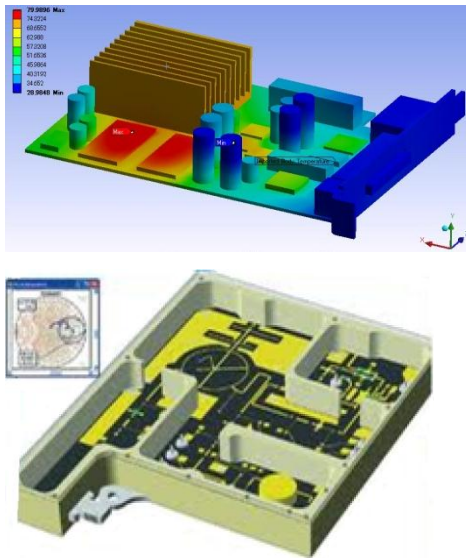
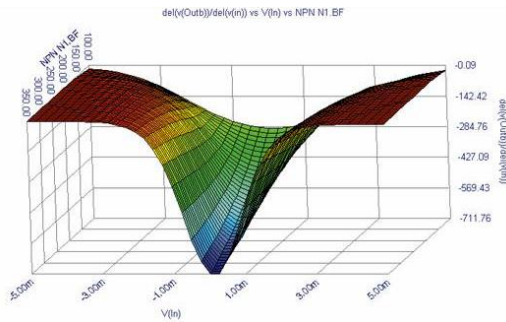
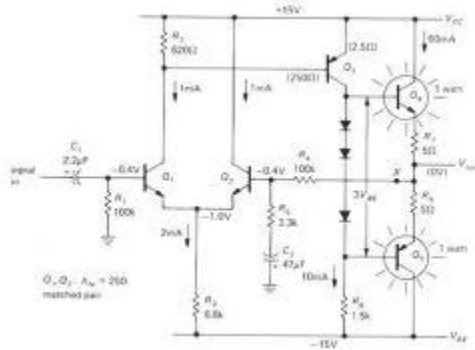


Компас-3D [8] - семейство универсальных CAD трехмерного твердотельного моделирования (с разрезами, сечениями, местными разрезами, видами, видами и т.п.) с возможностями оформления проектной и конструкторской документации согласно отечественным стандартам серии *ЕСКД*.

▪ **CAE** (англ. *computer-aided engineering*) – АС для автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий. Среди CAE следует обратить внимание на:



Mathcad - система компьютерной алгебры, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением [9], отличается простым и интуитивным для использования интерфейсом пользователя.



- **CAM** (англ. *computer-aided manufacturing*) - для технологической подготовки производства изделий. Русским аналогом термина является АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства. Среди множества CAM выделим:



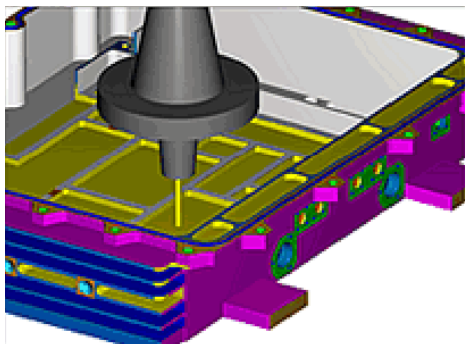
PSpice (*Personal Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*), *Electronics Workbench* - программа моделирования аналоговой и цифровой логики проектируемых РЭС [3] [10].

Micro-Cap [11] - программа для аналогового и цифрового моделирования электронных устройств средней степени (в том числе и смешанных аналого-цифровых электронных устройств). Полная совместимость со SPICE-моделями и SPICE-схемами, дружелюбный интерфейс, нетребовательность к ресурсам компьютера и возможность анализировать электронные устройства с достаточно большим количеством компонентов делают эту САПР очень привлекательной.

ANSYS — универсальная CAE конечно-элементного анализа [12], используемая для решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики конструкций, задач теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики и т.п.

Microwave Office [13] - комплекс мощных и гибких программ для проектирования ВЧ/СВЧ оборудования.

CAMtastic [14] - (сопрягается с *P-CAD* и *Altium Designer*), позволяет осуществлять первичную подготовку производства печатных плат: редактирование топологий, генерацию управляющих файлов для аппаратуры контроля и монтажа компонентов.



SolidCAM [15] - (сопрягается с *Solid Works*) позволяет создавать управляющие программы для станков с ЧПУ механообработки в машиностроении, приборостроении, производстве РЭС и т.д.

5.3 САПР печатных плат

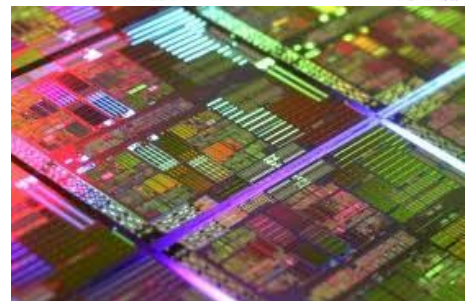
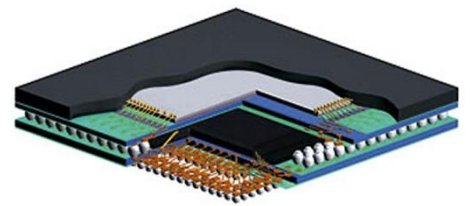
Для электрического и механического соединения различных электронных компонентов РЭС в настоящее время используются **печатные платы** (от англ. *printed circuit board, PCB*). Это пластины из диэлектриков (стеклотекстолит, керамика, фторопласт и др.), на которых сформированы электропроводящие цепи электронной схемы. Электронные компоненты на печатной плате обычно соединяются своими выводами с элементами проводящего рисунка пайкой.

Многочисленные виды печатных плат (ПП) в настоящее время имеются практически в любой радиоэлектронной аппаратуре и во многом определяют её качество. Наиболее существенными проблемами при проектировании ПП являются:

- Возросшая сложность радиоэлектронной аппаратуры - приходится использовать многослойные печатные платы (с 4-мя и более слоями).



- Переход к более высоким диапазонам частот и умножившихся в связи с этим проблем с обеспечением электромагнитной совместимости.
- Появление поверхностно-монтируемых интегральных микросхем (микропроцессоров, ПЛИС и т.п.) в корпусах с малым шагом, с шариковыми выводами BGA (от англ. *Ball grid array* — массив шариков). BGA выводы представляют собой шарики из припоя, нанесённые на контактные площадки с обратной стороны микросхемы. Микросхему располагают на ПП согласно маркировке первого контакта на микросхеме и на плате, после чего микросхему нагревают с помощью паяльной станции или инфракрасного источника, так что шарики начинают плавиться. Обычно для BGA микросхем необходимо 6 и более слоев ПП, и лишь изредка можно обойтись четырьмя.
- Необходимость учета влияния паразитных эффектов, присущих как электронным компонентам, так и проводникам печатных плат¹.
- Обеспечение минимизации радиочастотных и электромагнитных помех при проектировании смешанных аналого-цифровых устройств (вводятся дополнительные экранирующие слои, оптимизируется длина и расположение проводников с сигнальными цепями и т.п.).

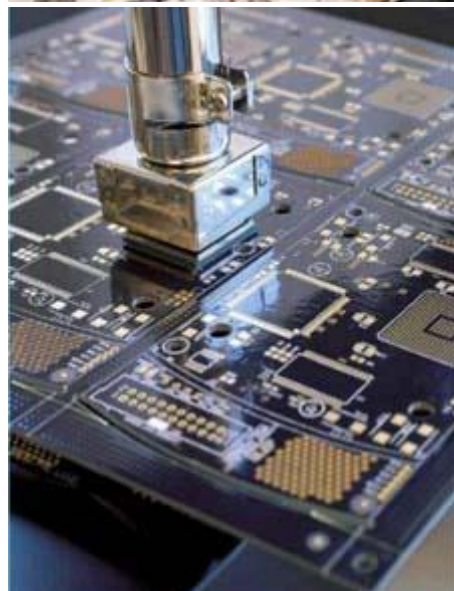


¹ Например, на фирме *Phillips Semiconductor* при разработке радиочастотных схем для обеспечения надлежащего качества часто приходится изготавливать не менее трёх вариантов печатных плат, и которых затем выбирают оптимальный.

- Необходимость резкого сокращения сроков проектирования (конкуренты не ждут!).



- Обеспечение постоянно возрастающих требований к качеству, надежности.



По оценке специалистов, в настоящее время в промышленности России среди САПР многослойных печатных плат (ПП) обеспечивающих сквозное проектирование от начала до конца наиболее популярными считаются интегрированные САПР семейства P-CAD, разработки компании Personal CAD Systems Inc [1] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25]. Эти САПР функционируют на персональных компьютерах класса IBM PC и представляют собой комплект взаимосвязанных основных и вспомогательных программ, позволяющих автоматизировать практически весь процесс проектирования вычислительных и радиоэлектронных средств (EDA). Технология проектирования с помощью P-CAD предусматривает:

- подготовку библиотек символов, топологических посадочных мест и моделей компонентов;
- графический ввод схем электрических принципиальных;
- смешанное аналого-цифровое моделирование на основе ядра SPICE3;
- упаковку схемы на печатную плату;
- интерактивное размещение компонентов;
- ручную, интерактивную и автоматическую трассировку печатных проводников;
- контроль ошибок в схеме и печатной плате;
- анализ целостности сигналов и перекрестных искажений;
- получение и выпуск конструкторской документации;
- подготовку файлов Gerber и NC Drill для производства печатных плат на автоматизированном технологическом оборудовании (фотоплоттерах, сверлильных станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и т.п.)

В 1996 г. фирма *ACCEL Technologies* (преемник *Personal CAD Systems Inc*) впервые представила версию широко известной системы разработки печатных плат P-CAD на платформе *Windows*. Обновленный продукт получил новое название *ACCEL EDA*. С этого момента продукт *ACCEL EDA* приобрел широкую популярность среди разработчиков электронных устройств. В сентябре 1999 г. вышла последняя 15 версия продукта. 17 января 2000 г. произошло слияние двух ведущих разработчиков систем САПР печатных плат - фирм *Protel International* и *ACCEL Technologies*, которые объединили свои усилия под торговой маркой *Protel* (ныне *Altium*). В марте 2000 г. новой версии программы — *ACCEL EDA 15.1*, вернули старое название (удачный маркетинговый ход), и она стала называться *P-CAD 2000*. В состав *P-CAD 2000* был внедрен новый бессеточный трассировщик, который составил серьезную конкуренцию использовавшемуся ранее трассировщику *SPECCTRA* фирмы *CADENCE*.

В январе 2001 г. появилась очередная версия этой системы — *P-CAD 2001*, в которой добавлен модуль моделирования аналоговых, цифровых и смешанных (аналого-цифровых) схем, использующий популярный стандарт *SPICE*.

Достаточно распространены в России более поздние версии *P-CAD 2002* и *P-CAD 2004*.

В интегрированной библиотеке *P-CAD 2002* каждому условному графическому обозначению (*Symbol*) соответствуют несколько возможных вариантов корпусов (*Pattern*). Вся информация об упаковке компонентов заносится в таблицы, удобные для просмотра и редактирования, благодаря чему удается легко устранить ошибки из-за несогласованного ввода упаковочной информации, возможные в более ранних системах *P-CAD*. Библиотеки, созданные для предыдущих версий *P-CAD*, несложно переносить в *P-CAD 2002* через текстовый формат *PDF*.

Последняя выпущенная версия носит название *P-CAD 2006* и австралийская компания *Altium Limited* (последний производитель *P-CAD*) заявила о прекращении работ по усовершенствованию данного продукта. Новая версия САПР печатных плат носит название *Altium Designer*. По всей видимости, эта САПР придет на замену *P-CAD* и станет в России самой массовой.

Это не означает, что *Altium Designer* является самой лучшей в мире САПР ПП. Например, на сегодняшний день одной из наиболее сложных и дорогостоящих систем проектирования печатных плат является САПР **Mentor Graphics Expedition** [26]. *Mentor Graphics Expedition* - это огромный набор тесно интегрированных между собой модулей, ориентированный на разработку сложных высокоскоростных печатных плат. Он позволяет осуществлять сквозное проектирование на всех стадиях разработки нового радиоэлектронного устройства. Средства, входящие в эту САПР, основаны на использовании самых передовых технологий в области проектирования печатных плат и высокочастотного анализа и предназначены для рабочих групп и организаций. Эти средства и предоставляют огромный спектр возможностей, включая сквозную систему редактирования и управления ограничениями, систему редактирования и управления библиотеками компонентов и проектными данными. Единая среда позволяет моделировать наводки в проводниках непосредственно при прокладке трассы или шины и контролировать превышение ими

заданного уровня. У Mentor Graphics Expedition можно заметить только один существенный недостаток - его высокую стоимость.

Ещё один продукт компании Mentor, система PADS предлагает более дешёвое решение. Продукты PADS ориентированы на обеспечение максимально удобной для разработчика среды проектирования, не ограниченной жестким технологическим процессом. Эта система может похвастаться одним из лучших автотрассировщиков BlaseRouter, поддерживающим все необходимые при трассировке высокочастотных плат функции. Пакет имеет модули предтопологического и посттопологического анализа, тесно взаимодействующих с системой контроля ограничений. САПР PADS пришла на российский рынок позже остальных, но учитывая невысокую стоимость и серьезные возможности этой САПР, можно рекомендовать повнимательнее присмотреться к этому продукту.

На втором месте по популярности в России распространены САПР семейства OrCAD [2] корпорации Cadence Design Systems. Эти интегрированные пакеты компьютерных программ предназначены для сквозного проектирования аналоговых, цифровых и смешанных аналого-цифровых устройств, синтеза устройств программируемой логики и аналоговых фильтров. Чаще всего используются для проектирования печатных плат, а также для производства электронных схем и их моделирования.

Проектирование в OrCAD начинается с ввода принципиальной схемы, ее моделирования и оптимизации и заканчивается созданием управляющих файлов для программаторов, разработкой печатной платы и выводом управляющих файлов для фотоплоттеров и сверлильных станков.

Основные модули системы OrCad:

- OrCad Capture — управляющий модуль. При помощи этого модуля создаются принципиальные схемы проектов разного типа. При синтезе ПЛИС и моделировании цифровых устройств этот модуль работает с модулем OrCad Express. При моделировании аналоговых или аналого-цифровых устройств он работает с модулем PSPICE, при параметрической оптимизации — совместно с модулем PSPICE Optimizer, при разработке печатных плат — с модулем OrCad Layout.
- OrCad Capture Cis (Component Information System) — модуль для создания принципиальных схем с поддержкой Internet. Зарегистрированный пользователь получает доступ к каталогу из 200 000 компонентов ведущих фирм-производителей. База данных может быть обновлена путём скачивания пакетов производителей компонентов, таких как Texas Instruments.
- OrCAD PSpise — модуль моделирования аналоговых и цифровых устройств. Позволяет рассчитывать режимы по постоянному току, чувствительность характеристик к вариации параметров компонентов, передаточные функции, частотные, фазовые и шумовые характеристики; переходные процессы, проводить спектральный анализ, статистические испытания по методу Монте-Карло, многовариантный анализ, параметрическую оптимизацию.
- PCB Designer — редактор топологий печатных плат.
- SPECCTRA for OrCAD — программа автоматической и интерактивной трассировки.
- Signal Explorer — модуль анализа целостности сигналов и перекрестных искажений.

5.4 Состав и возможности САПР семейства P-CAD

Рассмотрим подробнее состав, технические характеристики и возможности системы P-CAD.

Все САПР семейства P-CAD имеют удобный пользовательский интерфейс, схожий с большинством приложений Windows, поддерживают как дюймовую, так и метрическую системы мер.

P-CAD обладает программой анализа электрических характеристик спроектированных печатных плат с учетом паразитных параметров реальных конструкций, позволяет поддерживать САМ-технологии, благодаря встроенным функциям генерации управляющих программ для технологического оборудования. Поддерживаются форматы файлов для обмена информацией с программными средствами OrCAD, Altium Designer, системами автоматизированного конструкторского проектирования AutoCAD, SolidWorks, Компас.

Таблица 5.1 - Основные характеристики САПР PCAD

Параметр	P-CAD 2002	P-CAD 2006
Число цепей в проекте	до 64000	до 64000
Число вентилях в компоненте	до 5000	до 5000
Максимальное число выводов у компонента	до 10000	до 10000
Предельное разрешение	0,001мм	0.0001 дюйма или 0.01 мм (10 микрон)
Максимальные размеры чертежа, дюймов	60×60	60x60
Число компонентов, поставляемых в библиотеках		более 27000
Автотрассировщики печатных плат	<i>Quick Route, Shape Based Router</i>	<i>SITUS</i>

Как видно, наиболее заметным отличием САПР P-CAD 2006 является наличие более современного автотрассировщика **SITUS** [27]. Далее будем рассматривать наиболее распространённую в данное время САПР P-CAD 2002, делая уточнения, если имеются какие-либо принципиальные улучшения у P-CAD поздних версий.

Система P-CAD 2002 представляет собой интегрированный пакет программ, предназначенный для проектирования многослойных печатных плат (ПП) радиоэлектронных средств (РЭС) [14] [17] [21] [22] [24]. Она адаптирована к операционной среде Windows и использует все настройки и возможности последней.

На Рис. 5.1 показаны основные программные модули P-CAD 2002.

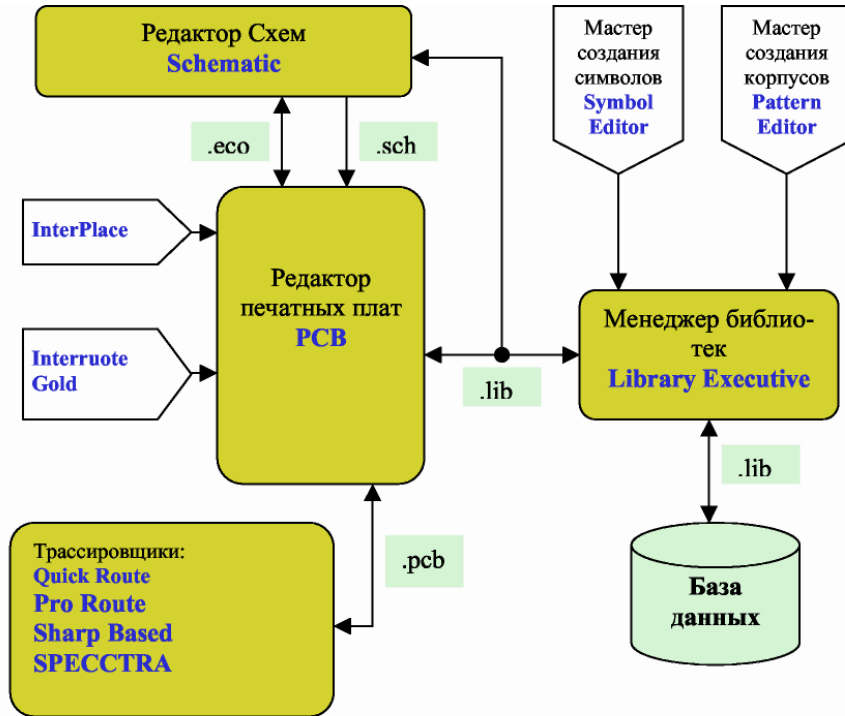


Рисунок 5.1 - Структура системы проектирования P-CAD 2002

Заметим, что обмен информацией между различными модулями осуществляется с помощью файлов различного типа. Каждый тип файла содержит необходимую информацию, соответствующую данному этапу проектирования печатного узла.

Рассмотрим более детально назначение и возможности основных программ P-CAD.



P-CAD Schematic² - графический редактор электрических схем. Он предназначен для разработки схем электрических принципиальных (файлы с расширением **.sch**) и может применяться для создания условных графических обозначений (УГО) отдельных ЭРЭ. Редактор имеет систему всплывающих меню в стиле **Windows**, а наиболее часто применяемым командам назначены пиктограммы - значки, отображающие важнейшие узнаваемые черты команды.



P-CAD PCB (printed circuit board – печатная плата схемы) - графический редактор ПП, предназначенный для конструкторско-технологического проектирования ПП. Он позволяет задавать размеры ПП, ширину проводников, величину зазоров, размеры и расположение контактных площадок, диаметры переходных отверстий (ПО), задавать экранные слои, маркировку, размещение ЭРЭ, выполнять диалоговую трассировку проводников и формирование управляющих файлов для технологического оборудования.

Редактор **P-CAD PCB** может запускаться автономно и позволяет разместить модули на выбранном монтажно-коммутационном поле и проводить ручную, полуавтоматическую и автоматическую трассировку проводников с помощью вызываемого из управляющей оболочки **P-CAD PCB** модуля-автотрассировщика **P-CAD Autorouters**.

² Здесь и далее перед названием каждого программного модуля P-CAD приведены соответствующие пиктограммы, обеспечивающие его запуск.

Если **P-CAD PCB** вызывается из редактора **P-CAD Schematic**, то предварительно *автоматически* составляется список соединений схемы, и на поле ПП переносятся изображения корпусов компонентов с указанием линий электрических; соединений между их выводами. Эта операция называется **упаковкой** схемы на **печатную плату**. Затем вычерчивается контур ПП, на нем размещаются компоненты и, наконец, производится трассировка проводников. Информацию об особенностях трассировки отдельных цепей можно с помощью стандартных атрибутов ввести на этапах создания принципиальной схемы или ПП.

Модуль **P-CAD Autorouters** включает два автотрассировщика:

- Трассировщик **Quick Route** относится к трассировщикам *лабиринтного типа*. Он предназначен для проектирования рисунка ПП не очень сложных электрических схем.
- Бессеточный трассировщик **Shape Based Router**, предназначен для проектирования многослойных ПП с высокой плотностью расположения ЭРЭ и числом сигнальных слоев до 32. Он особенно эффективен при поверхностном монтаже корпусов элементов, выполненных в различных системах координат. Имеется возможность размещения проводников под различными углами на разных слоях платы, оптимизации их длины и числа переходных отверстий.

Кроме того, из программы **P-CAD PCB** или автономно из среды **Windows** может быть осуществлен вызов **SPECCTRA** - программа ручного, полуавтоматического и автоматического размещения ЭРЭ и трассировки проводников для ПП большой сложности с числом слоев до 256, разработанная фирмой **Cadence**.

В программе **SPECCTRA** используется так называемая бессеточная **Shape-Based** - технология трассировки, позволяющая повысить эффективность трассировки ПП высокой степени сложности с высокой плотностью размещения ЭРЭ, а также обеспечивающая трассировку одной и той же цепи трассами различной ширины. Программа **SPECCTRA** имеет модуль **AutoPlace**, предназначенный для автоматического размещения компонентов на ПП. Информация о ПП в **SPECCTRA** передается через редактор **PCB**.

Применение шрифтов *True Type* позволяет использовать на схеме и ПП надписи на русском языке.



P-CAD Library Executive - менеджер (администратор) библиотек, осуществляющий ведение и контроль библиотек ЭРЭ. Интегрированные библиотеки **P-CAD** содержат как графическую информацию о символах³ и корпусах ЭРЭ, так и текстовую информацию (число секций в корпусе ЭРЭ, номера и имена выводов, коды логической эквивалентности выводов и т.д.).

В интегрированной библиотеке каждому символу могут быть сопоставлены *несколько вариантов корпусов*. Библиотеки легко пополняются с помощью графических редакторов, а упаковочная информация о выводах ЭРЭ, логической эквивалентности выво-

³ **Символ (symbol)** - файл (*.sym), содержащий условное графическое обозначение (УГО) одной секции (вентиля) ЭРЭ. Включает информацию, отражающую функционирование ЭРЭ (код эквивалентности выводов), а также о структуре ЭРЭ в его физическом корпусе (упаковочная информация о количестве секций, выводов, их типах и т.д.).

дов и т.п. координируется администратором библиотек. Вся текстовая информация об упаковке ЭРЭ и их атрибутах заносится в две таблицы, удобные для просмотра и редактирования. Тем самым исключаются ошибки несогласованного ввода этой информации. Библиотеки всех предыдущих версий *P-CAD* через текстовый формат *PDIF* переносятся в *P-CAD 2002* и затем объединяются в интегрированные библиотеки.

Имеются мастера создания символов и корпусов компонентов по всевозможным атрибутам.

Программа *P-CAD Library Executive* имеет встроенные модули:



фики:

P-CAD Symbol Editor - редактор для создания и редактирования символов элементов схем электрических принципиальных. В поставляемых вместе с системой *P-CAD* библиотеках зарубежных цифровых ИМС имеются три варианта гра-

- ***Normal*** - нормальный (в стандарте США),
- ***DeMorgan*** - обозначение логических функций,
- ***IEEE*** – в стандарте Института инженеров по электротехнике (наиболее близкий к российским стандартам).



всем возможным атрибутам.

Pattern Editor - редактор для создания и редактирования посадочных мест и корпусов электрорадиоэлементов (ЭРЭ) на ПП. Модуль имеет средства просмотра библиотечных файлов, поиска компонентов, символов и корпусов компонентов по



или повернуты.

InterPlace PCS - интерактивное средство размещения ЭРЭ и задания правил проектирования в более удобной форме⁴. Размещение ЭРЭ выполняется с учетом имеющихся технологических требований. ЭРЭ могут быть объединены в физические или логические группы и размещены на плате, выровнены, перемещены



нагрузки, анализ перекрестных искажений в двух вариантах.

Signal Integrity - программа анализа электрических параметров и паразитных эффектов в печатной плате. Информация получается непосредственно из редактора топологии. Возможен расчет сопротивлений и длины проводников, поиск



его помощью можно просмотреть и проконтролировать соблюдение технологических норм, выполнить предварительное размещение компонентов, задать информацию о ширине ряда цепей и допустимых зазорах и передать эти данные конструкторам.

Relay - упрощенный графический редактор ПП, предназначенный для коллективной работы над проектом. *Relay* является аналогом графического редактора *P-CAD PCB* с ограниченными возможностями. По окончании разработки ПП с

⁴ Базовая программа *P-CAD PCB* позволяет выполнить размещение компонентов только вручную, для автоматического размещения используется отдельная дорогостоящая программа *SPECCTRA*.

С помощью **Relay** печатные платы можно просматривать, вручную редактировать и выполнять вывод на принтеры и плоттеры. Нельзя создавать управляющие файлы фото-плоттеров и станков с ЧПУ, трассировать проводники в интерактивном и автоматическом режимах, создавать слои металлизации, выполнять корректировку проектов ECO и ряд других операций.

Relay не только средство просмотра ПП. С его помощью разработчик схем может выполнить расстановку компонентов на ПП, задать наиболее существенные атрибуты, которые будут использованы при автотрассировке (например, допустимые зазоры), и проложить наиболее критичные трассы. Затем эти результаты передаются конструктору для завершения разработки печатной платы с помощью PCB. Кроме того, с помощью **Relay** выполняется контроль технологических норм *DRC* и запускаются вспомогательные утилиты, образующие интерфейс **DBX**.

Утилиты **DBX (Data Base Exchange)** совершают перенумерацию ЭРЭ, создают отчеты в требуемом формате, автоматически создают ЭРЭ, выводы которых расположены на окружности или образуют массив, рассчитывают паразитные параметры ПП и т.п.

Document Toolbox - дополнительная опция **P-CAD PCB** и **P-CAD Schematic** для размещения на чертежах схем или ПП различных диаграмм и таблиц, составления различных списков и отчетов, которое динамически обновляется, таблиц сверловки, данных о структуре платы, технологической учетной информации, размещения на чертежах схем списков соединений, выводов подключения питания и другой текстовой информации. Программа предназначена для расширения возможностей выпуска технической документации без использования чертежных программ типа **AutoCAD**. **Document Toolbox** позволяет автоматизировать создание конструкторской документации, необходимой для производства проектируемых ПП.

- **CAMtastic!** – так как графический редактор **P-CAD PCB** создает управляющие *Gerber*-файлы⁵ не всегда корректно, их доработка выполняется с помощью специальной программы **CAMtastic!**, поставляемой бесплатно вместе с **P-CAD PCB** (это может быть выполнено и с помощью других программ, например **CAM350**).

5.5 Запуск системы

Запуск программ системы P-CAD 2002 выполняется следующим образом.

Щелчком левой кнопки мыши (ЛК) по кнопке «Пуск» в выпадающем меню команд «Программы» найти «P-CAD 2002» и щелкнуть ЛК по ней. В открывшемся меню ряд названий будет начинаться с P-CAD. Это и есть программные модули P-CAD 2002. Для запуска любого из них достаточно щелкнуть по требуемой пиктограмме, и программа откроется.

В том случае, если на компьютере запущена одна из программ **P-CAD 2002**, необходимо ЛК мыши щелкнуть по команде **Utils** (Служебные команды) во второй строке сверху. Откроется выпадающее меню, в котором несколько пунктов начинаются с аббре-

⁵ Управляющие файлы в формате *Gerber* наиболее распространены для управления станками с числовым программным управлением для автоматического сверления печатных плат

виатуры P-CAD. Щелчок ЛК мыши по требуемому названию запустит программу. При этом действующая программа не закрывается, а только свернется и к ней всегда можно будет вернуться.

5.6 Организация пользовательского интерфейса

5.6.1 Экраны графических редакторов

Экраны программных модулей P-CAD 2002 организованы по единому образцу. Небольшие отличия касаются только специфики решаемых модулями задач, что упрощает процесс изучения и работы с системой. Поэтому общий вид экрана программных модулей P-CAD 2002 рассмотрим на примере экрана графического редактора P-CAD Schematic (Рис. 5.2).

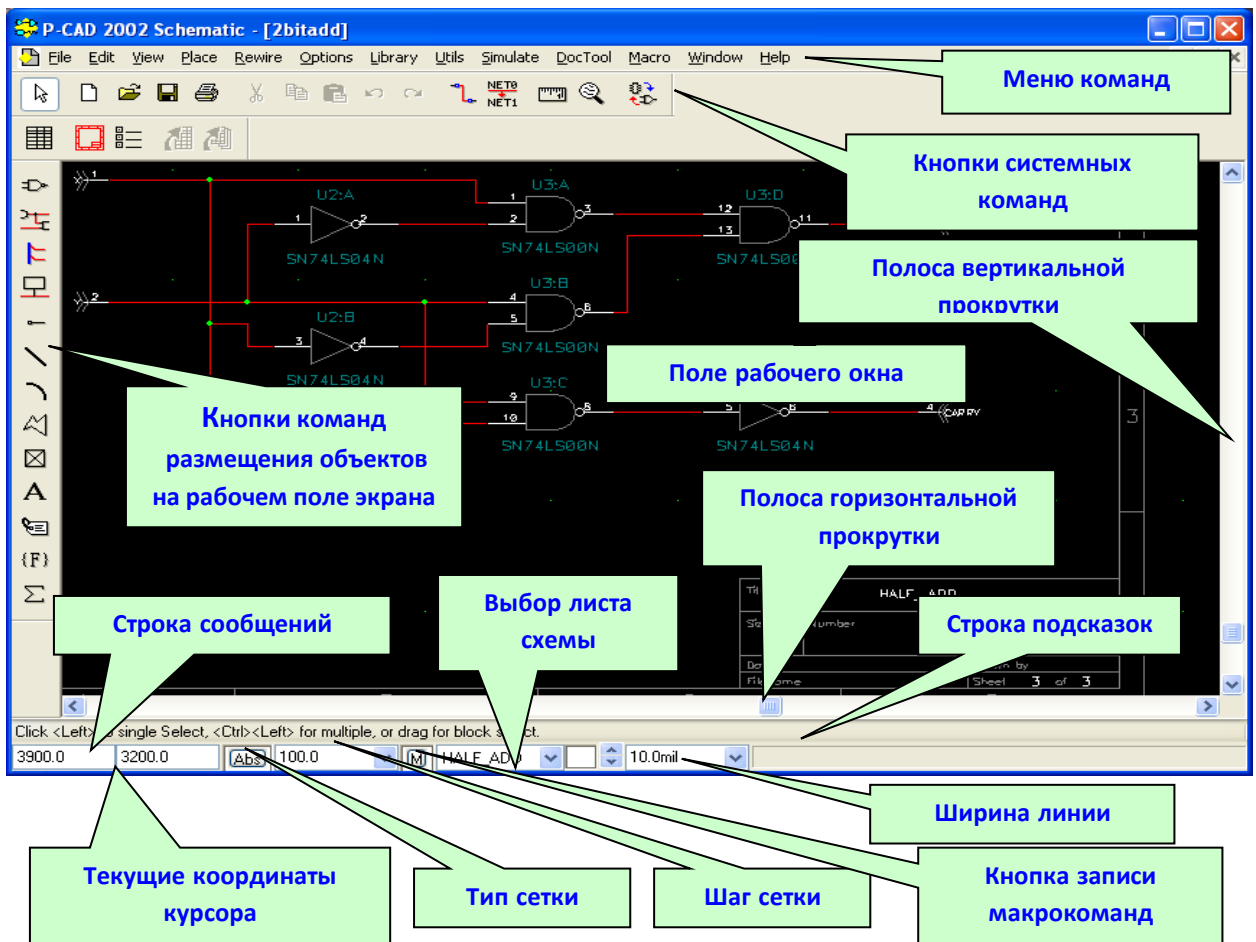


Рисунок 5.2 - Экран графического редактора P-CAD Schematic

В верхней части экрана на синем фоне *строки заголовка* окна указывается название запущенной программы и имя проекта, с которым ведется работа.

В следующей строке помещено *меню основных команд* редактора. Выбранная команда выполняется установкой на нее курсора и щелчком левой кнопки (ЛК) мыши. В результате открывается соответствующее выпадающее меню.

Горизонтальная панель инструментов содержит пиктограммы системных команд, а вертикальная панель - команды. Здесь же могут быть различные панели инструментов программного модуля, местоположение которых определяется пользователем.

В левой части экрана вертикально расположены кнопки (пиктограммы), предназначенные для быстрого вызова наиболее часто употребляемых *команд размещения объектов* на рабочем поле экрана.

В поле *рабочего окна* располагают символы принципиальных схем и собственно схемы, составленные из символов, электрических соединений, шин и т.п. Справа и снизу от этого поля имеются *полосы прокрутки*, предназначенные для перемещения изображения на экране.

Вторая строка снизу на экране - *строка сообщений*, на которую выводится информация, связанная с выполняемой командой.

Самая нижняя строка - *строка состояний*. Значения полей строки состояния (слева направо) перечисляются ниже.

- Координаты *X* и *Y* - числа в полях указывают текущие координаты курсора.

Перемещение курсора в заданную пользователем точку производится следующим образом. Если активизирован режим выбора объекта (команда *Edit/Select*), то нажатие клавиши *J* передает управление полю *X*. На клавиатуре можно набрать значение координаты *X*, затем нажать клавишу *Tab*, набрать значение Координаты *Y* и нажать клавишу *Enter*. В результате указанных действий курсор переместится в заданную точку. Если выбрана одна из команд размещения *Place*, то можно указанными выше операциями расположить объект в заданную точку.

Значения координат вводят в милах (*mil*), миллиметрах (*mm*) или в дюймах (*inch*). Выбор системы единиц измерения производится при выполнении команды *Options/Configure/Units*. Если координаты точки заданы в *mil*, то точность - один десятичный знак, а если в *mm* - три десятичных знака после запятой.

- Кнопка переключения типа сетки, имеющая два значения: абсолютную *Abs* и относительную *Rel* сетки.
- Абсолютная сетка *Abs* имеет начало координат в нижнем левом углу рабочего поля. Относительная сетка *Rel* может иметь начало координат в любой точке рабочего поля, указанной пользователем. Сетка *Rel* включается в том случае, если в окне команды *Options/Grids* активен режим *Prompt for Origin*.
- Значение шага сетки устанавливается щелчком ЛК мыши по кнопке выбора, находящейся справа от поля шага сетки. При этом разворачивается список значений шагов сетки, в котором можно выбрать нужное значение курсором. Набор шагов сеток устанавливается в поле *Grid Spacing* после выполнения команды *Options/Grids*.
- При активизации **кнопки записи макрокоманд M** (или клавиши - *M*) начинается запись во временный файл всех выполняемых команд (запоминается вся последовательность действий). Повторное нажатие кнопки *M* (или клавиши *M*) прекращает запись файла с именем *default.mac*. Этот файл доступен только в течение текущего сеанса.
- Поля **текущего имени схемы (Sheet)** и кнопка **выбора имени листа** отражают установки, проведенные по команде *Options/Sheets* в закладке *Sheets*. После щелчка по кнопке выбора появляется список всех листов проекта, а кнопками

прокрутки открывается необходимый лист. Все листы схемы одного проекта содержатся в одном файле с расширением *.sch*. Добавление листов в проект осуществляется командой **Options/Sheets/Sheets/Add**.

- Поля **ширина линии** и **выбор ширины линии** дублируют команду **Options/CurrentLine**. Для добавления в список новой толщины линии необходимо щелкнуть по кнопке **Line Width** и ввести новое значение толщины линии (в **мм** - миллиметрах, **mil** - милах или **in** - дюймах). Тип линии устанавливается командой **Options/ Current Line** в области **Style** диалогового окна.

5.6.2 Команды обзора рабочего окна

Команды обзора рабочего окна сгруппированы в меню **View** (Рис 5.3) и изменяют вид, масштаб изображения объекта и его положение в пределах рабочего окна⁶.

Команда **View/Redraw** перечерчивает экран с целью удаления «следов», оставшихся после редактирования изображения.

Команда **View/Extent** масштабирует изображение так, что на экран выводится все введенные на данный момент фрагменты проекта.

Команда **View/Last** выводит предыдущее изображение экрана.

Команда **View/All** выводит на экран все содержимое активного окна вместе с рамкой.

Команда **View/Center** (или нажатие на клавишу **C**) центрирует изображение относительно текущего положения курсора. Эта же клавиша используется для панорамирования изображения при установке курсора на край экрана. Если курсор расположить на границе экрана, то смещение изображения (панорамирование) выполняется при нажатии одной из клавиш со стрелками (**←**, **↑**, **→**, **↓**).

Команды **View/Zoom In** или **View/Zoom Out** увеличивают или уменьшают изображение относительно координаты, указанной курсором, на величину параметра **Zoom Factor**, указанного в меню **Options/ Configure**. Изменение масштаба изображения удобнее производить при установке курсора в точку, относительно которой будет произведено изменение, и последующем нажатии на клавиши **серый «+»** или **серый «-»**. Команда **View/Jump Location** перемещает курсор в точку с координатами, которые указываются в окнах диалогового окна, появляющегося после выполнения указанной команды.

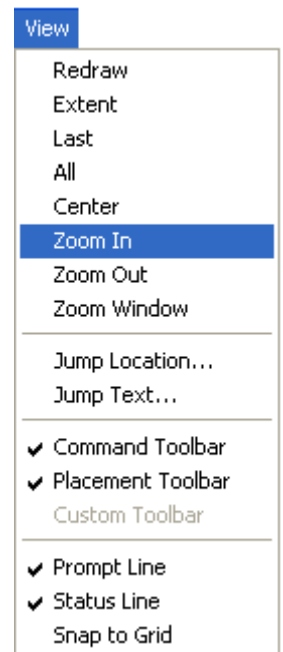



Рисунок 5.3 - меню **View**

5.6.3 Выбор и редактирование объектов

Режим выбор объектов активизируется при нажатии клавиши **S** или щелчком мыши по пиктограмме **Select Объект**  выбирается щелчком мыши, при этом имя выбранного объекта и его данные выводятся в строку информации. Если один объект за-

⁶ Аналогичный вид и функции имеют меню **View**, **Edit** и т.п. и все остальные графические редакторы **P-CAD 2002**.

крывает другой, то выбор невидимого объекта осуществляется повторным щелчком мыши или повторным нажатием на клавишу <Пробел> (при этом курсор должен находиться на выделенном объекте). Для добавления выбранных объектов к уже выделенным перед щелчком мыши нажимается и удерживается клавиша **Ctrl**. Щелчком мыши в свободной части рабочего окна выбор объектов отменяется.

Двойной щелчок левой клавишей по объекту позволяет редактировать все его атрибуты. Щелчок правой клавишей мыши (ПК) вызывает контекстно-зависимое меню команд.

При перемещении объекта его можно сдвигать на один или несколько шагов сетки (не отпуская кнопку мыши нажимать соответствующую клавишу со стрелкой). Для изменения положения точки привязки после выбора объекта в меню команд редактирования компонента выбирают команду **Selection Point** и щелчком мыши устанавливают новое положение точки привязки.

После выбора объекты можно:

- вращать (**B**),
- отображать зеркально (**F**),
- выравнивать (**Align**) по горизонтали и вертикали,
- копировать в буфер обмена (**Copy**)
- копировать в файл (**Copy to File**),
- вставлять из буфера
- передвигать в нужное место рабочего поля.

В **P-CAD** можно выбрать отдельный элемент сложного компонента, например вывод символа, схемное имя или номер контакта компонента. Для этого перед щелчком мыши необходимо нажать и удерживать клавишу **Shift**. После выделения объекта и последующего щелчка правой кнопкой мыши по объекту вызывается контекстное меню, пример которого показан на Рис. 5.4.

Полный перечень команд контекстного меню таков:

- **Properties...** - просмотр и редактирование характеристик выбранного объекта;
- **Copy** - копирование объекта в буфер обмена;
- **Copy Matrix...** - множественное копирование объекта;
- **Cut** - удаление выбранного объекта с сохранением его копии в буфере обмена;
- **Delete** - удаление выбранного объекта;
- **Edit Nets...** - редактирование атрибутов цепи;
- **Select Contiguous** – выбор соприкасающихся элементов цепи;
- **Select Net** - выбор всей цепи (включая фрагменты цепи, связанные с общей шиной);
- **Net Info...** - вывод информации о цепи;

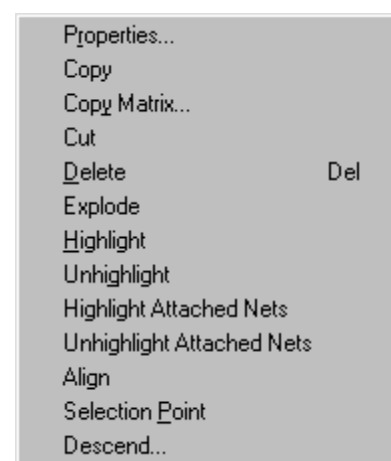


Рисунок 5.4 - Контекстное меню команд редактирования компонента

- **Highlight** - окрашивание выбранного объекта;
- **Unhighlight** - отмена предыдущей команды;
- **Highlight Attached Nets** - окрашивание цепей, подсоединенных к выбранным объектам;
- **Unhighlight Attached Nets** - отмена предыдущей команды;
- **Align** - выравнивание компонентов на рабочем поле;
- **Selection Point** - изменение положения точки привязки выбранного объекта или группы объектов.

Дополнительные возможности по выбору и редактированию параметров выбранных объектов предоставляют команда **Options/Block Selection** для редактора **P-CAD Schematic**, и команда **Options/Selection Mask** для редактора **P-CAD PCB**, которые настраивает фильтры и режимы выбора параметров. Диалоговые окна указанных команд для соответствующих редакторов представлены на *рис. 5.5* и *рис. 5.6*

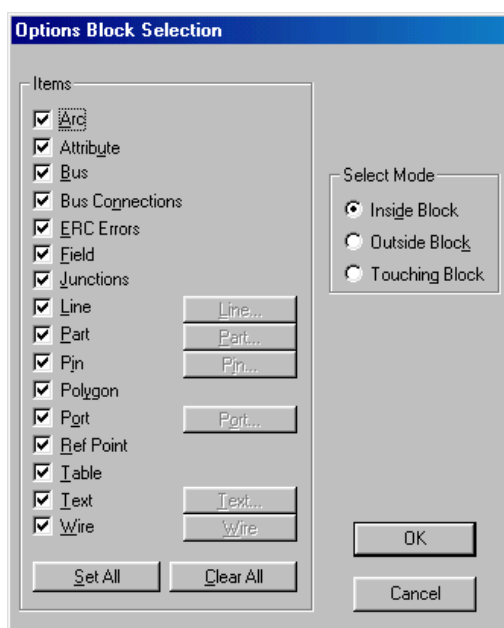


Рисунок 5.5 - Настройка параметров блока выбора редактора **P-CAD Schematic**

В секции **Items (Элемент)** диалогового окна указывают элементы, которые должны быть выбраны после выполнения операции блочного выбора. Некоторые элементы левого столбца имеют кнопки для задания дополнительных параметров. В секции **Select Mode** можно задать способ выбора: **Inside Block** - выбор элементов, находящихся внутри блока, **Outside Block** - выбор всех элементов, находящихся вне блока, **Touching Block** - выбор всех элементов, находящихся внутри блока и касающихся его контура. Выбор объектов, удовлетворяющих заданным условиям, производится заданием на рисунке прямоугольного контура с помощью мыши. Все выбранные объекты подсвечиваются, и в дальнейшем их можно копировать, перемещать и редактировать.

При копировании графические данные из буфера обмена можно передавать в другие программы, работающие под управлением **Windows: MS Word, Paintbrush** и др. Эти же данные не передаются из графического редактора **P-CAD PCB** в редактор **P-CAD SCHEMATIC** и наоборот. Для ускорения копирования в пределах одного листа необходи-

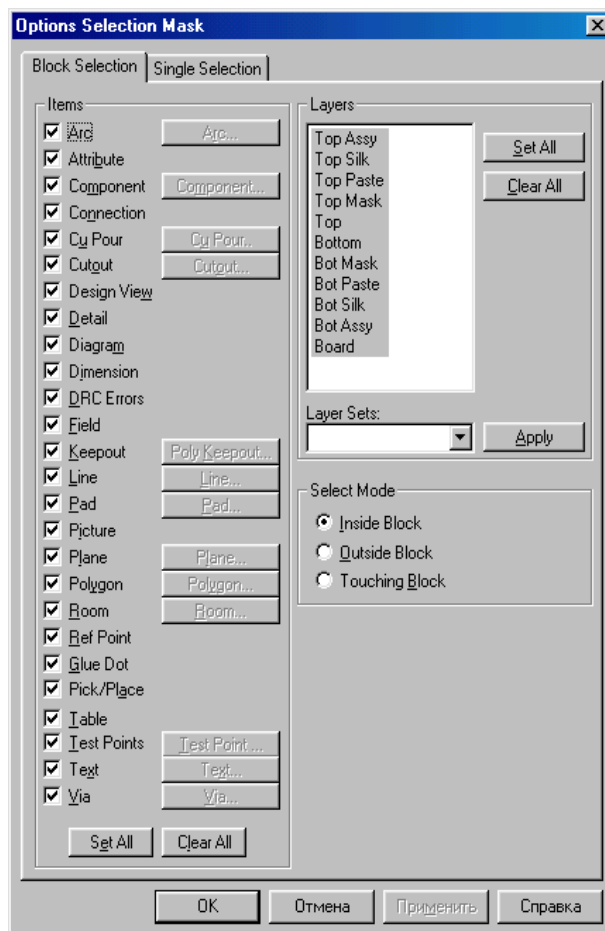


Рисунок 5.6 - Настройка параметров блока выбора редактора P-CAD PCB

мо выбрать нужный объект, нажать клавишу **Ctrl**, и, не отпуская левую кнопку мыши, переместить копию объекта на новое место.

Изменение размеров объекта производится после его выделения, удерживанием курсора на одной из узловых точек объекта и последующим перемещением курсора в нужном направлении. Изменяются, таким образом, размеры линий, проводников, шин питания и полигоны при захвате концов или изломов объектов.

5.7 Основные этапы проектирования ПП в системе P-CAD

Проектировщик узла ПП РЭС обычно вместе с техническим заданием на проектирование получает и исходную электрическую схему.

Проект в САПР **P-CAD** представляется в двух видах - в виде *схемы электрической принципиальной* и в виде *печатной платы (PCB)*. В соответствии с этим в САПР **P-CAD** имеются два графических редактора:

- схемный редактор **P-CAD Schematic**, обеспечивающий создание схемы электрической принципиальной,
- технологический редактор **P-CAD PCB**, предназначенный для редактирования топологии печатной платы.

Основой проекта является библиотека радиоэлементов. Библиотечные элементы содержат как графическое описание, так и *упаковочную информацию*. Упаковочная информация представляет собой текстовое описание контактов и взаимные ссылки на ну-

мерацию контактов в символах схемной библиотеки и посадочных местах технологической библиотеки. При этом состав электронной библиотеки с условными схемными обозначениями элементов может быть либо неполным, либо вообще отсутствовать. В этом случае такая библиотека должна пополняться самостоятельно.

Создание библиотечных элементов является очень ответственным этапом, поскольку ошибки, внесенные с библиотечными элементами, обычно трудно исправляются.

Типичный порядок использования модулей системы *P-CAD 2002* при выполнении процедур проектирования узлов печатных плат следующий.

- Создание условных графических обозначений отдельных элементов электрических схем с помощью редактора символов *P-CAD Symbol Editor*.
- Разработка посадочных мест для всех конструктивных электрорадиоэлементов (ЭРЭ) электрической принципиальной схемы с помощью редактора корпусов *P-CAD Pattern Editor*.
- Упаковка выводов конструктивных элементов (перенос схемы на ПП) средствами программы *P-CAD Library Executive*.
- Разработка схемы электрической принципиальной с помощью графического редактора *P-CAD Schematic*.
- Формирование контура печатной платы и размещение конструктивных элементов на ней с помощью графического редактора печатных плат *P-CAD PCB*.
- Трассировка проводников печатных плат.

6 Учебное задание на сквозное проектирование печатного узла РЭС

Для ознакомления с типовыми проектными процедурами на всех этапах сквозного проектирования РЭС, на лабораторных занятиях будем использовать следующие исходные данные. *P-CAD 2002*

Дан фрагмент схемы электрической принципиальной [22], включающий основные электрорадиоэлементы, применяемые в современной радиоэлектронной аппаратуре: микросхемы, транзистор, диод, резистор, конденсатор, катушку индуктивности, электрический соединитель (*Рис. 6.1*).

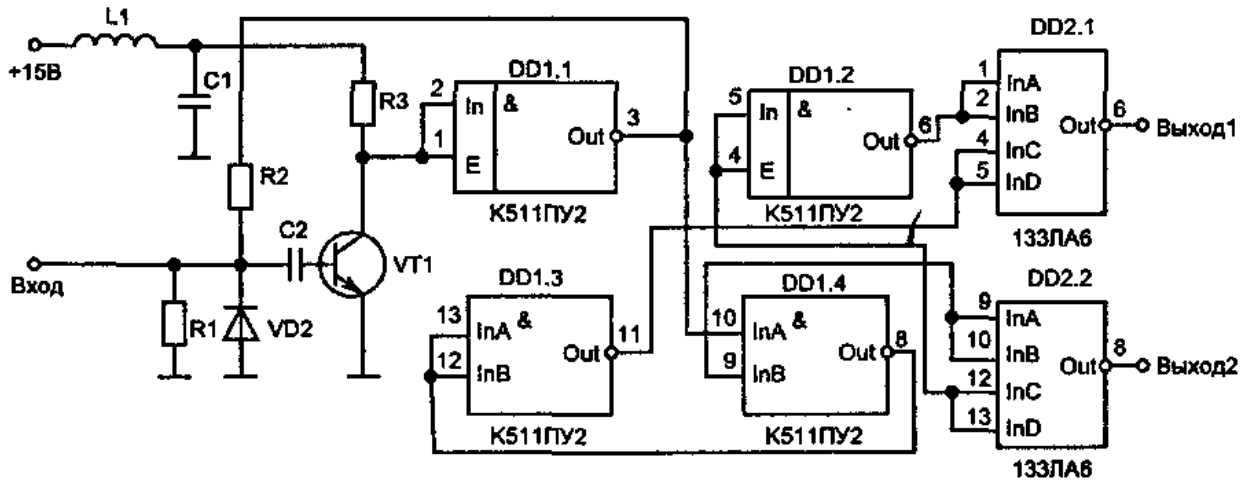


Рисунок 6.1 - Учебный узел РЭС

При этом известно, что схема реализована на микросхемах типа К511ПУ2 и 133ЛА6, транзисторе КТ3102Г, диоде КД403А, резисторах ОМЛТ-0,125 (с номиналами 2,4 кОм, 10 кОм и 120 кОм), конденсаторах К73-15 и К10-43А, катушке индуктивности Д1-1.2-1 и электрическом соединителе ОН-КС-10.

Требуется разработать узел печатной платы с использованием системы *P-CAD 2002*.

Необходимые чертежи должны быть оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД [28].

Список литературы

1. **Уваров, А.С.** P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств. - М. : Горячая линия - Телеком, 2004. - 760 с.
2. **Болотовский Ю.Б., Таназлы Г.И.** OrCAD. Моделирование. "Поваренная" книга. - М. : Горячая линия - Телеком, 2005. 454 с.
3. **Кеонун, Дж.** OrCAD Pspice. Анализ электрических цепей. — М. : ДМК Пресс, 2008. — 640 с.
4. **Сабунин, А. Е.** Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. - М. : Солон-Пресс, 2009. 432 с.
5. Система сквозного проектирования Altium Designer. ЗАО "НПП "РОДНИК". [В Интернете] июль 2012 г. http://www.rodnik.ru/product/sapr/pp_i_plis/altium/altium_designer_soft_vhdl/.
6. **Дударева, Н.Ю.** SolidWorks 2007. - СПб : БХВ-Петербург, 2007. -- 1328 с.
7. Программный комплекс SolidWorks. Компания SolidWorks Russia. [В Интернете] ноябрь 2010 г. http://www.solidworks.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=174&Itemid=35.
8. **Теверовский, Л. В.** КОМПАС-3D в электротехнике и электронике . -М. : ДМК-Пресс, - 2009, 168 с.
9. **Гурский Д.А., Турбина Е.С.** Вычисления в Mathcad 12. - СПб. : Питер , 2006. - 544 с.
10. **Хайнеман, Р.** Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: Пер. с нем. - М. : ДМК Пресс, 2008. - 336 с.
11. **Касьянов, А.Н.** Micro-Cap в схемотехнике: Учебное пособие. - Тамбов Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. - 112 с.
12. **Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф.** ANSYS для инженеров: Справ, пособие. - М. : Машиностроение-1, 2004. 512 с.
13. Microwave Office. Родник - системный интегратор. [В Интернете] июль 2012 г. http://www.rodnik.ru/product/sapr/sapr_svch/AppliedWaveResearch/microwave_office/.
14. **Стешенко, В.Б.** P-Cad технология проектирования печатных плат. - СПб. : БХВ-Петербург, 2003. - 720 с.
15. Статьи о продукте "SolidCam" из журнала CADMasterI. CadMacter - журнал профессионалов в области САПР. [В Интернете] 2011 г. <http://www.cadmater.ru/magazin/products/solidcam.html>.
16. **Сучков, Д.И.** Проектирование печатных плат а САПР P—CAD 4.5, P—CAD 8.5 и ACCEL EDA. — М. : Малип, 1998. - 576 с.
17. **Уваров, А.С.** PCAD 2002 и SPECCTRA. Разработка печатных плат. . — М. : СОЛОН-Пресс, 2003. - 544 с.
18. **Стешенко, В.Б.** P-CAD. Технология проектирования печатных плат. - СПб. : БХВ-Петербург, 2003. - 720 с.
19. **Уваров, А.С.** Программа P-CAD. Электронное моделирование. - М. : Диалог-МИФИ, 2008. - 192 с.
20. **Саврушев, Э.Ц.** P-CAD 2006. Руководство схемотехника, администратора библиотек, конструктора. — М. : ООО «Бином-Пресс», 2007. — 768 с.

21. —. P-CAD для Windows. Система проектирования печатных плат. Практик. пособие. - М. : ЭКОМ, 2002. - 320 с.
22. **Мактас, М.Я.** Восемь уроков по P-CAD 2001. - М. : СОЛОН-Пресс, 2003. — 224 с.
23. **Лопаткин, А.В.** P-CAD 2004. - СПб. : БХВ-Петербург, 2006. — 560 с.
24. **Иванова Н.Ю., Романова Е.Б.** . Проектирование печатных плат в САПР P-CAD-2002: Методическое пособие. - СПб. : СПбГУ ИТМО, 2007. - 118 с.
25. **Динц К.М., Куприянов А.А., Прокди Р.Г. и др.** P-CAD 2006. Схемотехника и проектирование печатных плат. Самоучитель. Книга + видеокурс. — СПб. : Наука и Техника, 2009. — 320 с.
26. Средства автоматизации проектирования, анализа и верификации электронных систем и встроенного программного обеспечения Mentor graphics. Megratec (Mentor graphics technologies). [В Интернете] <http://megratec.ru/>.
27. Новый топологический трассировщик. **Джейсон Хингстон. Фил Логхид, Роб Ирвин.** - М. : Евроинтех, февраль 2002 г., EDA Expert - журнал о САПР электронных устройств, с. 60 - 64.
28. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э.Т. Романычева, А. К. Иванова, А. С. Куликов и др; Под ред. Э.Т. Романычевой. - 2-е изд., перераб. и доп. -М. : Радио и связь, 1989. - 448 с.