

Н.А. КОЛЬТЮКОВ

# ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ РЭС



• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •



Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**Н.А. Кольтюков**

# **ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ РЭС**

*Лабораторные работы для студентов специальности 210303  
«Бытовая радиоэлектронная аппаратура»  
дневной и заочной форм обучения*



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2010

УДК 621.38(076)  
ББК з85я73-5  
К14

Рекомендовано Редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т

Кандидат технических наук,  
доцент кафедры «КРЭМС» ТГТУ  
*О.А. Белоусов*

**Кольтюков, Н.А.**  
К14 Основы компьютерного проектирования и моделирования :  
лабораторные работы / Н.А. Кольтюков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос.  
техн. ун-та, 2010. – 48 с. – 100 экз.

Представлены лабораторные работы по курсу «Основы компьютерно-  
го проектирования и моделирования РЭС», в которых рассмотрены основ-  
ные принципы автоматизированного проектирования РЭС, примеры созда-  
ния библиотек электронных компонентов, схем электрических принципи-  
альных, печатных плат.

Предназначены для студентов специальности 210303 «Бытовая радио-  
электронная аппаратура» дневной и заочной форм обучения, могут быть  
полезны при изучении дисциплины «Информационные технологии» для  
студентов, обучающихся по направлению 210200 «Проектирование и техно-  
логия электронных средств».

УДК 621.38(076)  
ББК з85я73-5

## ВВЕДЕНИЕ

Данные лабораторные работы предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Основы компьютерного проектирования и моделирования РЭС» в рамках учебного плана подготовки бакалавров и дипломированных специалистов по направлению 210300 «Радиотехника» специальности 210303 «Бытовая радиоэлектронная аппаратура».

Все лабораторные работы выполняются на компьютере в специализированном компьютерном классе. В лабораторных работах рассматриваются задачи автоматизированного проектирования электронных средств. При выполнении лабораторных работ студент получает возможность ознакомиться с системой проектирования радиоэлектронной аппаратуры P-CAD. Данная система на сегодняшний день является одной из самых мощных, полных и последовательных систем автоматизированного проектирования для персональных компьютеров. Раздел моделирования представлен лабораторными работами, использующими такие программные средства, как Electronics Workbench и MMANA. Первая из них позволяет с достаточной для учебного процесса точностью моделировать электрические принципиальные схемы, отображать процессы, протекающие в них и создавать модели своих компонентов. Второй программный продукт предназначен для моделирования антенн и антенных систем. С её помощью нарисовав на экране любую конфигурацию из проводов и труб, можно посмотреть, как это «творение» будет работать в качестве антенны, и получить все её характеристики. Помимо этого можно исследовать антенну и, изменяя её параметры, оптимизировать под конкретные условия и требования. В качестве заданий на лабораторные работы предлагается материал из смежных курсов.

### *Лабораторная работа 1*

#### **СОЗДАНИЕ И ПОПОЛНЕНИЕ БАЗ ДАННЫХ (библиотек) КОМПОНЕНТОВ РЭС**

**Цель работы:** научиться создавать и редактировать библиотеки радиоэлектронных компонентов для системы автоматизированного проектирования P-CAD 2000.

#### **Задание**

1. Изучить структуру и принципы построения библиотек в системе P-CAD 2000.
2. Получить вариант задания у преподавателя.
3. Используя графические редакторы P-CAD Symbol Editor, P-CAD Pattern Editor и менеджер библиотек P-CAD Library Executive, создать свою библиотеку из 10 элементов.
4. Оформить отчёт о проделанной работе, сдать созданную библиотеку в электронном виде.

## Методические указания

**Общие сведения о системе P-CAD.** Система P-CAD предназначена для проектирования многослойных печатных плат (ПП) вычислительных и радиоэлектронных устройств. В состав P-CAD входят четыре основных модуля – P-CAD Schematic, P-CAD PCB, P-CAD Library Executive, P-CAD Autorouters и ряд других вспомогательных программ (рис. 1).

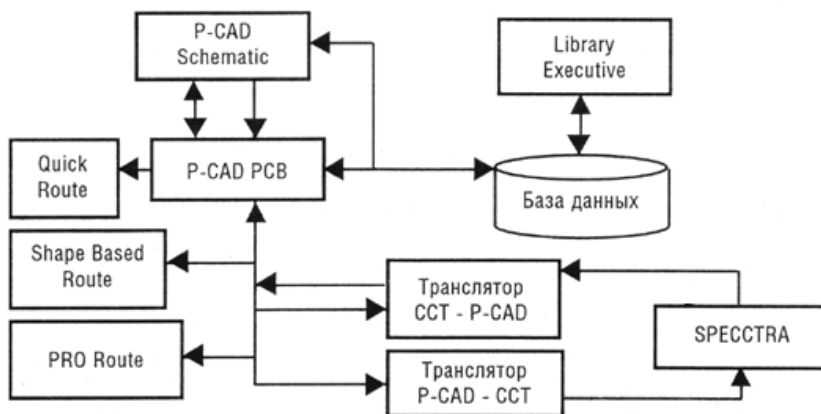


Рис. 1. Структура системы проектирования P-CAD

P-CAD Schematic и P-CAD PCB – соответственно графические редакторы принципиальных электрических схем и ПП. Редакторы имеют системы всплывающих меню в стиле Windows, а наиболее часто применяемым командам назначены пиктограммы. В поставляемых вместе с системой библиотеках зарубежных цифровых ИМС имеются три варианта графики: Normal – нормальный (в стандарте США), DeMorgan – обозначение логических функций, IEEE – в стандарте Института инженеров по электротехнике (наиболее близкий к российским стандартам).

Редактор P-CAD PCB может запускаться автономно и позволяет разместить модули на выбранном монтажно-коммутационном поле и проводить ручную, полуавтоматическую и автоматическую трассировку проводников. Если P-CAD PCB вызывается из редактора P-CAD Schematic, то 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 нём размещаются компоненты и, наконец, производится трассировка проводников.

Автотрассировщики вызываются из управляющей оболочки P-CAD PCB, где и производится настройка стратегии трассировки. Информацию об особенностях трассировки отдельных цепей можно с помощью стандартных атрибутов ввести на этапах создания принципиальной схемы или ПП. Первый трассировщик Quick Route относится к трассировщикам лабиринтного типа и предназначен для трассировки простейших ПП. Второй автоматический трассировщик PRO Route трассирует ПП с числом сигнальных слоёв до 32. Трассировщик Shape-Based Autorouter – бессеточная программа автотрассировки ПП. Программа предназначена для автоматической разводки многослойных печатных плат с высокой плотностью размещения элементов, эффективна 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.

SPECCTRA – программа ручного, полуавтоматического и автоматического размещения компонентов и трассировки проводников. Трассирует ПП большой сложности с числом слоёв до 256. В программе используется так называемая бессеточная Shape-Based-технология трассировки. За счёт этого повышается эффективность трассировки ПП с высокой плотностью размещения компонентов, а также обеспечивается трассировка одной и той же цепи трассами различной ширины. Программа SPECCTRA имеет модуль AutoPlace, предназначенный для автоматического размещения компонентов на ПП. Вызов программы производится автономно из среды Windows или из программы P-CAD PCB.

P-CAD Library Executive – менеджер библиотек. Интегрированные библиотеки P-CAD содержат как графическую информацию о символах и типовых корпусах компонентов, так и текстовую информацию (число секций в корпусе компонента, номера и имена выводов, коды логической эквивалентности выводов и т.д.). Программа имеет встроенные модули: Symbol Editor – для создания и редактирования символов компонентов и Pattern Editor – для создания и редактирования посадочного места и корпуса компонента. Упаковка вентиля компонента, ведение и контроль библиотек осуществляются модулем Library Executive. Модуль имеет средства просмотра библиотечных файлов, поиска компонентов, символов и корпусов компонентов по всем возможным атрибутам.

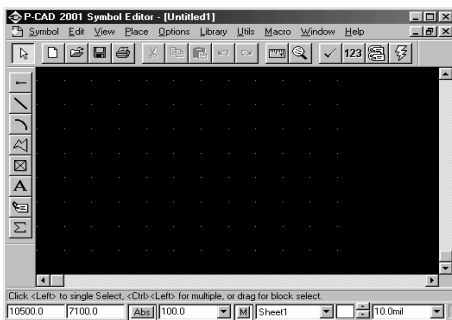
Вспомогательные утилиты, образующие интерфейс DBX (Data Base Exchange), в частности, производят перенумерацию компонентов, создают отчёты в требуемом формате, автоматически создают компоненты, выводы которых расположены на окружности, или образуют массив, рассчитывают паразитные параметры ПП и т.п.

**Создание компонентов и менеджер библиотек проекта.** Если при проектировании пользователь и применяет уже созданные им ранее или кем-либо другим библиотеки компонентов, то в процессе работы неизбежно возникает задача или создания новых, или редактирования ранее созданных компонентов для привязки их к требованиям конкретного проекта.

**Создание символов компонента для схем электрических принципиальных.** Для решения поставленной задачи используется встроенный в систему специальный графический редактор P-CAD Symbol Editor. Указанный редактор может быть запущен автономно исполняемым модулем SYMED.EXE, или из редактора P-CAD Schematic, или из редактора P-Cad PCB, или из менеджера библиотек P-CAD Library Executive после выполнения команды Utils/P-CAD Symbol Editor.

Экранный интерфейс указанного редактора, основные элементы которого описаны выше, представлен на рис. 2. Отличием данного интерфейса является наличие четырех дополнительных кнопок:

- Validate Symbol – средства проверки правильности созданного символа;
- Renumber Pins – средства перенумерации выводов символа;
- Symbol Attributes – средства просмотра атрибутов символа;
- Symbol Wizard – мастер создания символа компонента.



**Рис. 2.** Экран редактора P-CAD Symbol Editor

Слева расположена панель Placement Toolbar с пиктограммами для размещения вывода символа, рисования линии, дуги, полигона, установки точки привязки символа, ввода текста, задания атрибутов символа и размещения стандартного символа IEEE, указывающего функциональное назначение символа.

После загрузки редактора P-CAD Symbol Editor для создания символа компонента необходимо проделать операции, указанные ниже.

**Настройка конфигурации графического редактора.** Выполнить команду Options/Configure. Установить систему единиц – мм, размер



форматки – A4. Нажать кнопку ОК. Размер рабочего поля составит, примерно, 280 × 210 мм.

Выполнить команду Options/Grids. Появится диалоговое окно (рис. 3) для определения списка нужных сеток. Для установки сетки с нужным шагом надо в поле Grid Spacing ввести числовое значение шага (например, 5 мм) и нажать кнопку Add (добавить), а затем – кнопку ОК. В случае необходимости можно добавить и другие размеры шагов сетки. После ввода каждого значения шага сетки необходимо нажимать кнопку Add. Переключение шагов сетки в дальнейшем можно производить непосредственно в окне строки состояний экрана.

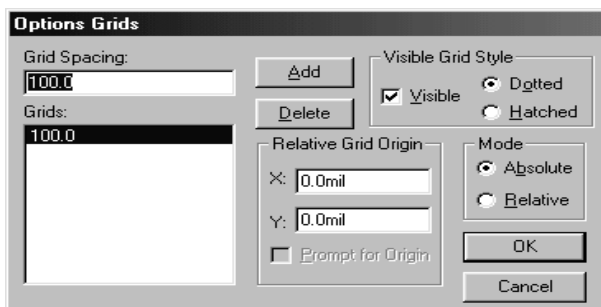


Рис. 3. Список установленных сеток экрана

**Рисование контура графического изображения символа компонента.** Рисование контура изображения символа производится при помощи команд Place/Line и Place/Arc линиями выбранной толщины. Рисование линии (Place/Line) производится указанием начальной точки линии и последующим перемещением курсора с нажатой левой кнопкой мыши (будущая линия видна) или перемещением курсора с отжатой левой кнопкой мыши (будущая линия не видна). В местах изгиба линии, в зависимости от указанного способа рисования, отпускается (или нажимается) левая кнопка мыши. В процессе рисования курсор имеет форму косоугольного креста, что указывает на возможность продолжения рисования. По окончании рисования линии нажимают правую кнопку мыши или клавишу Esc. Проявляется линия заданной ширины и конфигурации.

Рисование дуги (Place/Arc) производится в следующем порядке: курсор помещается в начальную точку дуги, затем нажимается левая кнопка мыши и курсор протягивается в конец дуги, кнопка мыши отпускается. В результате подсвечивается дуга с центром, расположенным посередине линии, соединяющей конечные точки дуги. Поместить курсор в центр линии и щёлкнуть мышью. Дуга рисуется окончательно. Для редактирования дуги её нужно выделить, и, перетаскивая появившиеся на дуге мет-

ки, можно придать дуге нужную форму и размеры. После выделения дуги можно использовать клавишу *R* для поворота на  $90^\circ$  (нажатие клавиш *Shift + R* поворачивает дугу в обратную сторону) и клавишу *F* – для зеркального отображения дуги относительно оси *Y*.

Для рисования окружности необходимо вначале указать точку на линии окружности, а затем щёлкнуть в точке центра окружности.

#### **Создание символов компонентов.**

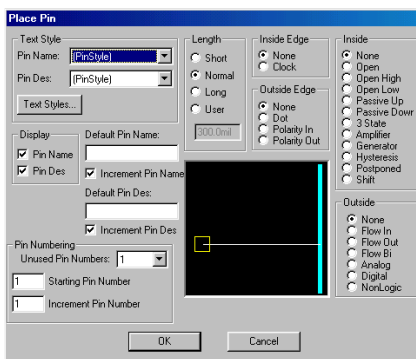
*Внимание! Изображение символа компонента, его размер и пропорции элемента определяются требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).*

Последовательность операций для создания образа символа рассмотрим на примере вентиля (секции) для микросхемы K155ЛА3. Условимся, что шаг между выводами символа кратен 5 мм. Устанавливаем шаг сетки 2,5 мм и рисуем прямоугольник размером  $10 \times 12,5$  мм.

Выбираем команду *Place/Pin*. В появившемся диалоговом окне (рис. 4) в поле *Length* (длина) устанавливаем флажок *User* (длина контакта выбирается пользователем) и в появившемся поле устанавливаем длину 5 мм.

В поле *Outside Edge* (выходной контакт) выбираем значение *Dot* (кружок инверсии). В окне *Default Pin Des* (позиционное обозначение первого вывода) ставим *единицу*. В поле *Display* включаем флажки *Pin Des* (позиционное обозначение контакта на схеме) и *Pin Name* (имя контакта). Включаем флажок *Increment Pin Des* (приращение номера очередного размещаемого контакта на *единицу*). В поле *Text Style* в строках *Pin Name* и *Pin Des* можно выбрать стиль текста, например *Default TTF*.

Перемещаем курсор в ту точку (в нашем случае необходимо отступить сверху от правого верхнего угла прямоугольника на 6 мм) графического изображения символа, где будет размещён выход вентиля, нажимаем левую кнопку мыши (появится изображение контакта с инверсным



**Рис. 4. Диалоговое окно для создания контактов символа**

выходом) и, не отпуская кнопку мыши, нажимаем F для симметричного отражения контакта в нужное положение, а затем отпускаем кнопку мыши. Контакт установлен.

Далее аналогичным образом устанавливаем входные контакты (необходимо только в поле Outside Edge выбрать None, т.е. убрать кружок инверсии).

В результате появится изображение символа компонента с пронумерованными двумя входными и одним инверсным выходными контактами.

Для ввода текста необходимо выполнить команду Place/Text, затем установить курсор внутри контура изображения символа и щёлкнуть мышью. В поле Text открывшегося диалогового окна набираем символ &, можно установить выравнивание текста (Justification). В списке стилей текста (Style) можно выбрать необходимый стиль текста, например Default (TTF). Если выделить текст, то его можно развернуть, нажав клавишу R необходимое число раз, или переместить в нужное место, если первоначальное размещение оказалось не очень удачным.

Далее задаём точку привязки, для чего необходимо выполнить команду Place/Ref Point. Перемещаем курсор в точку первого контакта символа и щёлкаем мышью. В результате сверху изображения первого контакта появится светлый прямоугольник с диагоналями.

Выполняем команду Place/Attribute для задания атрибутов символа: места для размещения позиционного обозначения элемента на схеме и надписи типа элемента. Для этого, щёлкнув мышью в появившемся диалоговом окне (рис. 5) в области категорий атрибута (Attribute Category), указываем назначение атрибута для элемента (Component).

В области имён атрибутов (Name) выбираем имя атрибута позиционного обозначения (Refdes). После выделения позиционного обозначения символа можно перетащить надпись в нужное место рисунка.

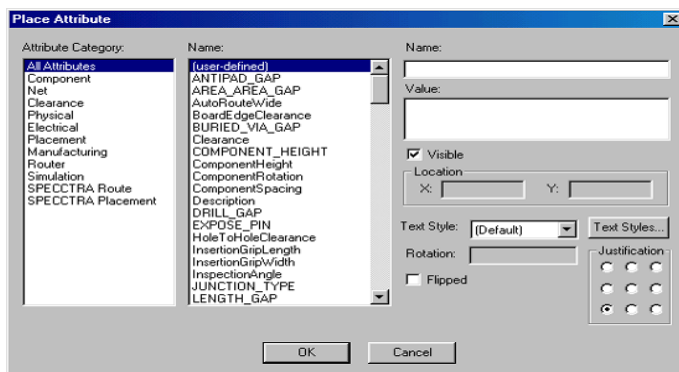


Рис. 5. Окно установки атрибутов символа

Для проверки правильности создания символа выполняем команду Utils/Validate. Появится соответствующее ситуации сообщение – правильно или неправильно выполнено кодирование символа компонента.

**Запись созданного элемента в библиотеку.** Для записи символа в имеющуюся библиотеку необходимо вызвать команду Symbol/Save As. Откроется диалоговое окно Symbol Save To Library (рис. 6).

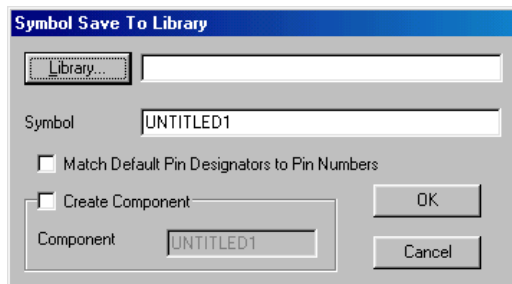


Рис. 6. Запись символа в имеющуюся библиотеку

В поле Library выбрать имя нужной библиотеки. Включить метку занесения информации в библиотеку как отдельного элемента – Create Component. В окне Symbol набрать имя символа NAND (И-НЕ), в окне Component – имя компонента K155LA3 и нажать кнопку ОК. В появившемся диалоговом окне Save Component As в области Component Type установить флажок Normal и нажать ОК.

Если выполнить команду Save To File As, то можно сохранить файл с новым именем, не включая его в библиотеку (расширение файла .sym).

Для записи символа в новую библиотеку необходимо выбрать команду Library/New и в открывшемся диалоговом окне установить нужный диск, открыть (создать) папку, дать имя библиотеке с обязательным расширением .lib и нажать кнопку Сохранить. Запись символа в созданную библиотеку производится так же, как и в предыдущем случае.

**Создание посадочного места компонента.** Посадочное место компонента можно создать с помощью графического редактора P-CAD Pattern Editor. Указанный редактор запускается исполняемым модулем PATED.EXE или из среды любого из редакторов P-CAD командой Utils/P-CAD Pattern Editor.

После запуска программы надо настроить её конфигурацию аналогично вышеописанному.

Контактные площадки для выводов компонентов и переходных отверстий могут иметь различные формы и размеры. Поэтому для элементной базы, применяемой в разработках, пользователь и создаёт собственные библиотеки стеков контактных площадок и переходных отверстий.

На печатных платах размещаются простые (Simple) и сложные (Complex) стеки контактных площадок и переходных отверстий (Via Stacks). Стек контактной площадки – это файл, который содержит описание графики контактной площадки в различных слоях ППП и номер апертуры фотоплоттера.

Стеки для штыревых выводов (DIP-корпусы) компонентов, которые имеют одинаковую форму контактных площадок на всех слоях ППП, и стеки для компонентов с планарными выводами (SMD-корпусы), имеющие контактные площадки на одном слое ППП, образуют простые стеки. Компоненты с планарными выводами размещаются на слоях Top или Bottom (на этих же слоях задаётся и графика корпусов этих компонентов). Сложные стеки на различных слоях ППП могут иметь различную геометрическую форму. Стек первого контакта компонента должен отличаться (например, квадрат) от других стеков этого же компонента.

Для формирования (редактирования) стеков выполняется команда Options/Pad Style. В области Current Style в начале работы обычно имеется только один стек контактной площадки – Default. Выделите строчку Default, нажмите кнопку Copy и в окне Pad Name введите имя нового стека контактной площадки (например, dip17) и нажмите ОК. В области Current Style появится имя новой контактной площадки. Аналогично можно последовательно ввести имена всех необходимых стеков. Примеры стеков представлены на рис. 7. После выделения имени стека и нажатии на кнопку Modify (Simple) открывается меню редактирования простых стеков контактных площадок (рис. 8).

В области Type выбирается тип контактной площадки:

- Thru – контактная площадка для штыревого вывода;
- Top — контактная площадка для планарного вывода со стороны

установки компонента на ППП;

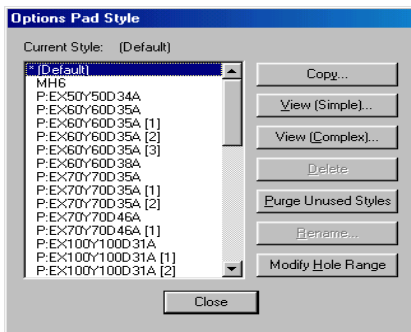


Рис. 7. Стеки контактных площадок

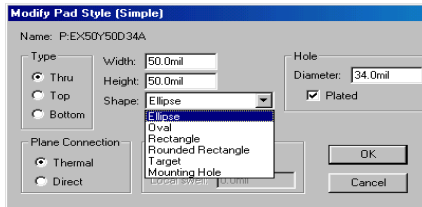


Рис. 8. Окно редактирования простых стеков

- Bottom – контактная площадка для планарного вывода со стороны монтажа компонента.

В области Plane Connection указывается тип контактных площадок при подключении их к сплошным слоям металлизации:

- Thermal – контактная площадка с тепловым барьером;
- Direct – сплошная контактная площадка, напрямую подключена к слою металлизации.

В списке окна Shape устанавливается форма контактной площадки:

- Ellipse – эллиптическая (круг);
- Oval – овальная;
- Rectangle – прямоугольная;
- Rounded Rectangle – прямоугольная со скруглёнными углами;
- Target – перекрестье для сверления;
- Mounting Hole – крепёжное (монтажное) отверстие.

Геометрические размеры контактных площадок устанавливаются в окнах Widht (ширина), Height (высота) и Diameter (диаметр отверстия для сверления). Если отверстие металлизированное, то в области Hole устанавливается флажок Plated.

В области Plane Swell устанавливается значение зазора между слоем металлизации и неподсоединёнными к нему контактными площадками и переходными отверстиями. Этот зазор выдерживается при автоматической трассировке связей на печатной плате. После всех установок нажмите ОК.

При выделении нужного имени стека и нажатии кнопки Modify (Complex) в диалоговом окне Options Pad Style (Complex) производится редактирование сложных стеков контактных площадок (рис. 9).

В окне Layers последовательно указывают имена слоёв, на которых будут размещаться контактные площадки стека. Имена слоёв появляются при раскрытии списка слоёв в окне Layer области Pad Definition, нужный слой выбирается из списка и добавляется в поле Layers при нажатии на кнопку Add. В окнах Shape, Widht и Height области Pad Definition указывают форму контактной площадки на выбранном слое, её ширину и высоту, соответственно.

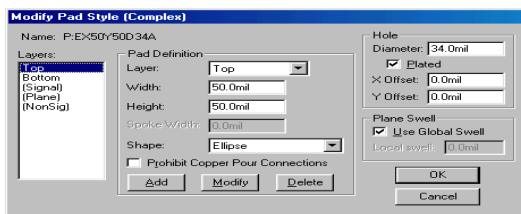


Рис. 9. Редактирование сложных стеков

В списке Shape указаны тринадцать вариантов форм контактных площадок:

- Polygon – контактная площадка, определяемая полигоном;
- Thermal 2 Spoke – контактная площадка с двумя тепловыми барьерами;
- Thermal 2 Spoke/90 – контактная площадка с двумя тепловыми барьерами, развёрнутыми на 90°;
- Thermal 4 Spoke – контактная площадка с четырьмя тепловыми барьерами;
- Thermal 4 Spoke/45 – контактная площадка с четырьмя тепловыми барьерами, развёрнутыми на 45°;
- Direct Connect – контактная площадка с прямым соединением со сплошным слоем металлизации;
- другие варианты – как для контактных площадок с простыми формами.

В области Hole в окне Diameter устанавливается диаметр металлизированного/неметаллизированного (включён/выключен флажок Plated) отверстия, соединяющего слои ПП.

После окончания установки параметров для каждой контактной площадки нажимается кнопка Modify. После окончания установок данных для стека по всем слоям нажать кнопку ОК.

Стеки переходных отверстий формируются после выполнения команды Options/Via Style аналогично формированию стеков контактных площадок. Имена стеков переходных отверстий проекта задаются по команде Pattern/Design Technology Parameters.

Все сформированные стеки контактных площадок могут быть размещены на рабочем поле ПП после выполнения команды Place/Pad программы P-CAD Pattern Editor. Такое размещение контактных площадок стеков производится для формирования установочного места компонента с целью последующей записи его в библиотеку или в отдельный файл (расширение PAT).

***Создание установочного места со штыревыми контактами.*** Загрузите программу P-CAD Pattern Editor. Сформируем установочное место для микросхемы K155ЛА3.

Настройте конфигурацию программы (см. выше). Установите шаг сетки рабочего поля равным 1,25 мм, а число сигнальных слоев – два.

Если ещё не сформированы стеки контактных площадок, выполните команды Options/Pad Style и Options/Via Style и сформируйте нужное количество стеков контактных площадок и переходных отверстий, количество и тип которых зависит от применяемой вами элементной базы и перечня элементов проекта. В нашем случае формируем два простых стека:

первый стек (квадрат со стороной 1,2 мм, диаметр внутреннего отверстия – 0,8 мм) – для первого (ключевого) контакта, второй стек (площадка диаметром 1,2 мм; диаметр внутреннего отверстия – 0,8 мм) – для всех остальных контактов; отверстия – сквозные (Thru).

Командой Pattern/Open подключите ранее созданную библиотеку или создайте новую – Library/New.

После выполнения указанных действий ещё раз выберите команду Options/Pad Style, выберите нужный стиль стека (например, стиль первого контакта компонента) и нажмите кнопку Close. На панели Placement Toolbar нажмите кнопку Place Pad и установите первый контакт (следите за стилем первого контакта!) в нужную точку рабочего поля.

Повторите команду Options/Pad Style и, последовательно выбирая стиль всех прочих контактов компонента, разместите их, сообразуясь с чертежом установочного места конкретного компонента. В нашем случае расстояние между контактами в вертикальном ряду – 2,5 мм, а расстояние между двумя вертикальными рядами – 7,5 мм. Все контакты будут автоматически нумерованы в заданной последовательности. Увеличьте изображение, если номера контактов не видны на экране.

*Внимание! При размещении контактов следите за именами слоёв, на которых размещаются контакты.*

Выберите команду Place/Kef Point (точка привязки компонента) и щёлкните по первому контакту. В результате этого на первый контакт будет наложен квадрат с диагоналями, отображающий точку привязки компонента.

Выберите команду Place Attribute и щёлкните в любом месте экрана монитора. В области Attribute Category появившегося диалогового окна установите категорию Component, а в области Name установите значение RefDes и установите флажок Visible (видимый). Щёлкните на кнопке ОК и в верхней части изображения установочного места компонента укажите место размещения для указанного атрибута RefDes. При необходимости атрибут можно передвинуть в другую позицию (в месте установки указанного атрибута при размещении компонента в рабочем поле в дальнейшем появится схемное обозначение компонента, задаваемое пользователем – DD1, DD5, R12, C8 и т.д.).

Командой Options/Layers установите слой Top Silk и после выбора команды Place Line или Place Arc нарисуйте контур компонента так, как этого требуют нормативные документы.

Проверьте правильность создания файла командой Utils/Validate.

Выполните команду Pattern/Save As. В диалоговом окне установите имя библиотеки, в которую будет произведена запись изображения установочного места компонента. В окне Pattern введите имя посадочного места (например, DIP14), включите флажок Create Component, в окне



Component введите имя компонента (например, K155ЛА3) и нажмите кнопку ОК. Будет произведена запись созданного установочного места компонента в заданную вами библиотеку.

**Создание установочного места компонента с планарными контактами.** Все операции по формированию установочного места компонента с планарными выводами аналогичны операциям, перечисленным для формирования компонента со штыревыми контактами. Для создания файла, естественно, вначале конструируются стеки планарных контактов. Эти стеки должны располагаться в библиотеке вашего проекта.

**Менеджер библиотек P-CAD Library Executive.** При решении задачи согласования используемых в проекте символов компонентов и их посадочных мест и внесения дополнительных данных для упаковки компонента в корпус используется менеджер библиотек P-CAD Library Executive, который содержит интегрированную информацию о графике корпусов и символов компонентов, а также текстовую информацию о компонентах. Запускается Менеджер исполняемым файлом CMP.EXE или из среды любого графического редактора P-CAD командой Utils/P-CAD Library Executive.

После запуска программы необходимо выполнить команду Component New и выбрать нужную библиотеку, в которой ранее записаны сведения о графике символов и посадочных местах компонентов, и заполнить нужные окна диалогового окна (рис. 10). Работу менеджера библиотек рассмотрим на примере создания интегрированных данных для компонента K561ЛА7.

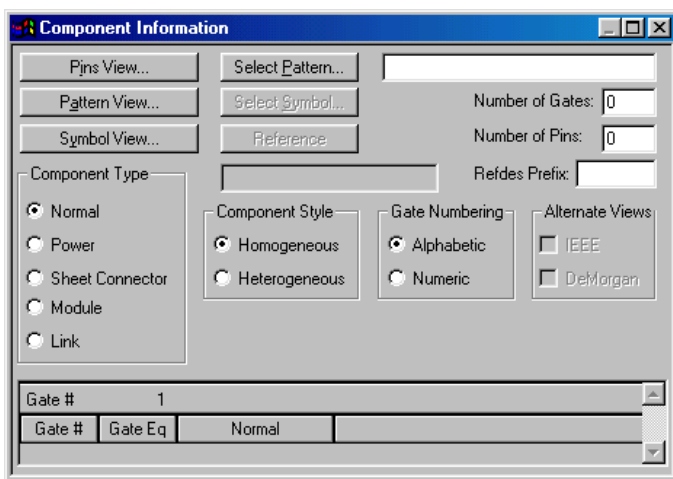


Рис. 10. Окно Component Information

Щёлкните по кнопке Select Pattern, введите имя посадочного места (в нашем случае – DIP14), в окно Number of Gates введите число вентиля компонента (4) и нажмите Enter. В нижней части диалогового окна отобразится таблица, столбцы которой содержат следующую информацию: Gate # – имена (номера) логических секций, Gate Eq – коды логической эквивалентности секций (поскольку все секции однородного компонента одинаковы, то в этом столбце во всех ячейках автоматически устанавливается число 1), Normal – информация, соответствующая библиотечному имени символа данной секции (компонент может состоять и из разных функциональных секций!). Этот символ определяется после установки курсора в ячейку столбца Normal напротив имени нужной секции, нажатии на кнопку Select Symbol, выборе из появившегося списка имени символа и нажатии кнопки ОК.

В окне Refdes Prefix напишите DD (так будет на схеме именоваться в будущем позиционные обозначения компонентов).

В области Component Type включите флажок Normal – обычный компонент (возможны варианты: Power – источник питания, Sheet Connector – соединитель листов схемы, Module – модуль иерархического символа, Link – схема модуля).

В области Component Style выберите Homogeneous – однородный компонент (все секции одинаковы). В области Gate Numbering задайте способ нумерации секций (Alphabetic – буквенный или Numeric – числовой способ).

Кнопки Pins View, Pattern View и Symbol View используются для открытия окон редактирования соответствующих параметров компонентов.

Для создания таблицы выводов Pins View щёлкните по кнопке Pins View и заполните таблицу информацией, взятой из технической документации для текущего компонента (или задайте эти данные сами).

В столбцы Pad # (номера контактных площадок корпуса компонента) и Pin Des (позиционные номера выводов компонентов на схеме) для нашего примера в оба столбца вносится одна и та же информация о порядке их нумерации. Прежде всего устанавливается соответствие между номерами контактов столбца Sym Pin # и номерами выводов в столбце Pin Des. В столбце Sym Pin # указывается номер вывода символа в соответствующей секции символа компонента.

В столбце Pin Name вводят имена выводов в каждой секции (включая контакты «земли» – имя GND и «питания» – имя VCC).

В столбцы Gate Eq и Pin Eq вводят данные о логической эквивалентности секций и выводов, соответственно. Выводы и секции с одинаковой эквивалентностью в процессе размещения модулей на печатной плате могут быть автоматически «переставлены».

Для некоторых компонентов указанные столбцы не заполняются, ввиду отсутствия у них эквивалентных секций и выводов.

В столбце Gate # указывается номер секции (вентиля), в которую назначен вывод символа.

В столбце Elec. Type указывается тип вывода, используемый при поиске ошибок в схемах электрических принципиальных (этот столбец рекомендуется заполнить до ввода данных в столбец Gate #). После установки курсора в ячейку столбца и нажатии стрелки справа в одноимённой горизонтальной строке раскрывается список типов выводов:

- Unknown – вывод, не имеющий определённого типа (по умолчанию);
- Passive – пассивный вывод;
- Input – входной вывод;
- Output – выходной вывод;
- Bidirectional – двунаправленный вывод;
- Open-H – открытый эмиттер ИС типа ЭСЛ (к выводу должен быть подключён нагрузочный резистор);
- Open-L – открытый коллектор ИС типа ТТЛ (к выводу должен быть подключён нагрузочный резистор);
- Passive-H – пассивный компонент (обычно резистор), подключаемый к источнику питания (соответствует высокому логическому уровню);
- Passive-L – пассивный компонент (обычно резистор), подключаемый к «земле» (соответствует низкому логическому уровню);
- 3-State – трехстабильный вывод (имеет высокий и низкий логический уровень и уровень высокого импеданса);
- Power – вывод питания или «земли». Назначение этого типа выводу автоматически проставляет номер секции PWR в столбце Gate # таблицы выводов.

После выбора типа вывода надо нажать Enter. Для выбора, просмотра и возможного редактирования символа компонента надо щёлкнуть по кнопке Symbol View в окне Pins View.

После выполнения всех указанных выше операций для создания интегрированного образа компонента необходимо выполнить команду Component/Validate для проверки согласованности всех данных компонента и, в случае отсутствия ошибок сохранить компонент в текущей библиотеке командой Component Save As. Имя компонента указывается по дополнительному запросу (в нашем случае – K561LA7).

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какова структура библиотек системы P-CAD?
2. Что такое стек контактной площадки?
3. Какие слои необходимо использовать для рисования контуров элемента?

4. Структура условно графического обозначения элемента.
5. Возможности менеджера библиотек системы PCAD.
6. Конфигурация подпрограммы Symbol Editor.
7. Конфигурация подпрограммы Patherm Editor.
8. Правила создания посадочного места компонента.
9. Атрибуты компонента.
10. Порядок создания посадочного места компонента с помощью подпрограммы Wizard.

## *Лабораторная работа 2*

### СОЗДАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАЛЬНЫХ СХЕМ

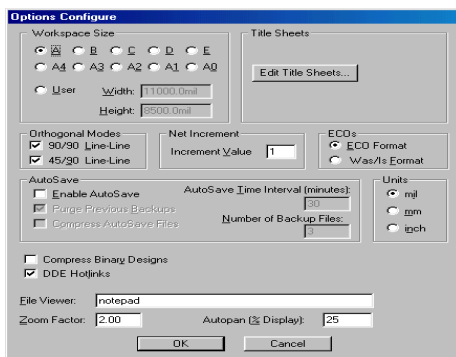
**Цель работы:** научиться создавать и редактировать схемы электрические принципиальные и функциональные в системе автоматизированного проектирования P-CAD 2000.

#### Задание

1. Получить вариант задания у преподавателя.
2. Используя созданную библиотеку из предыдущей работы и имеющиеся библиотеки кафедры, с помощью графического редактора P-CAD Schematic создать схему электрическую принципиальную из 50 элементов.
3. Оформить отчёт о проделанной работе, сдать схему электрическую принципиальную в электронном виде.

#### Методические указания

**Настройка конфигурации редактора P-CAD Schematic.** Настройка параметров конфигурации редактора производится после выполнения команды Options/Configure, диалоговое окно которого представлено на рис. 11.



**Рис. 11. Настройка конфигурации P-CAD Schematic**

В области окна **Workspace Size** (размер форматки) необходимо выбрать один из стандартных листов, на который будут выводиться сформированные данные: элементы библиотек, создаваемые электрические схемы и т.д. Габариты выбранного формата листа подсвечиваются в строках окна **Width** (ширина) и **Height** (высота). После нажатия в области окна **Title Sheets** на кнопку **Edit Title Sheets** в появляющейся вкладке **Titles** можно: включить/выключить разрешение вывода чертежа форматки на экран (при включенном флажке **Display Border** рисунок формата листа становится видимым на экране монитора); определить, цифровыми (**Numeric**) или буквенным (**Alpha**) будут обозначения горизонтальной и вертикальной зон форматки, а после нажатия на кнопку **Fields** заполнить текстом разделы форматки.

В области **Orthogonal Modes** устанавливается режим ввода электрических цепей и линий: **90/90 Line-Line** – ввод ортогональных линий, **45/90 Line-Line** – ввод диагональных линий. При включённом первом режиме линии проводятся под прямым или под произвольным углом. Во втором случае – по диагоналям или под произвольным углом. Рекомендуется включить оба режима.

Число, проставленное в окне **Increment Value** области **Net Increment**, указывает шаг, на который увеличивается номер электрической цепи, вводимой в схему.

В области окна **AutoSave** устанавливаются режимы автосохранения файла с заменой предыдущей резервной копии. Установленный флажок **Enable AutoSave** разрешает автоматическое сохранение проекта через количество минут, указанных в окне **AutoSave Time Interval (minutes)**. Флажок **Purge Previous Backups** разрешает при новом запуске **P-CAD Schematic** удалить все резервные копии, сохранённые в предыдущем сеансе работы.

Настройки сетки экрана производится аналогично **P-CAD Symbol Editor**.

Цвета различных объектов, стили рисования шин и ряд других параметров устанавливаются в меню **Options/Display**.

Правила по определению классов электрических цепей и правил трассировки вносятся после выполнения команды **Options/Design Rules**.

**Создание схем электрических принципиальных.** Электрические схемы выполняются без соблюдения масштаба. Реальное расположение компонентов на монтажно-коммутационном поле не учитывается при рисовании электрических схем. Выбранный размер форматки листа, на который выводится рисунок схемы, должен обеспечить компактность и ясность при чтении деталей схемы.

После настройки конфигурации графического редактора **P-CAD Schematic** и при наличии в библиотеке всех символов компонентов, со-

держаться в заданной электрической схеме (текущем проекте), можно приступить к созданию последней. Последовательность действий при этом такова:

- Загрузите графический редактор P-CAD Schematic.
- Настройте конфигурацию редактора. При настройке щёлкните кнопку Edit Title Sheets, затем в заставке Titles в области Title Block щёлкните кнопку Select, выберите файл с готовой форматкой и щёлкните кнопку «Открыть». Закройте все предыдущие окна. На экране появится изображение форматки с полями.
- Загрузите нужные библиотеки командой Library Setup, добавляя их имена в область Open Libraries после нажатия кнопки Add.

**Размещение библиотечных элементов в поле форматки.** Настройте рабочее окно так, чтобы была видна вся форматка. После этого выполните команду Place/Part и в появившемся диалоговом окне выберите требуемый символ, активизировав нужную строку появившегося списка элементов открытой ранее библиотеки (или откройте нужную библиотеку, нажав кнопку Library Setup). Предварительно изображение выбранного символа можно просмотреть после нажатия на кнопку Browse. В окне Part Num по умолчанию указывается номер секции 1, однако вы можете изменить номер секции в окне. После выбора соответствующих параметров нажмите ОК.

После проведения перечисленных подготовительных операций для размещения символа щёлкните в нужном месте форматки – появится изображение выбранного элемента схемы. Если требуется размножить элемент, то щёлкните в разных местах форматки. В результате появятся копии выбранного элемента с разными позиционными номерами. До тех пор, пока нажата кнопка мыши, символ компонента можно перемещать по полю экрана, поворачивать его (клавиша R), зеркально отображать (клавиша F).

Электрическое соединение контактов размещённых элементов производится после выполнения команды Place/Wire. Ширина линии связи устанавливается по команде Options/Current Wire: Thick – (широкая) шириной 0,381 мм (15 mil), Thin (узкая) шириной 0,254 мм (10 mil) и User – задаётся пользователем в пределах от 0 до 100 mil. Щёлкая мышкой в соответствующих местах рабочего поля, можно соединять контакты линиями связи различной конфигурации. Нажатие клавиши O до отпущения кнопки мыши изменяет угол ввода линии из числа разрешённых углов, задаваемых в меню Options/Configure, а нажатие клавиши F изменяет ориентацию линии. При окончании проведения очередной электрической цепи щёлкните правую кнопку мыши или клавишу Esc. Для включения в цепь дополнительной точки излома выполняется команда Rewire/Manual.

Электрическое соединение отрезков линий, изображающих одну и ту же цепь, на схеме обозначается точкой (по умолчанию – зелёного цвета).

На Т-образных соединениях точка проставляется автоматически. Для соединения пересекающихся отрезков цепей необходимо при построении второй цепи щёлкнуть курсором в точке пересечения цепей, а затем продолжить нужные построения цепи.

Для проведения общей шины выполните команду Place/Bus и проведите линию нужной конфигурации. Ширина линии 0,76 мм = 30 mil устанавливается автоматически программой и изменить её нельзя.

Если проводится несколько шин, то имена шин система задаёт автоматически (BusXXXXX, где XXXXX – пятизначный порядковый номер шины). Для изменения имени шины необходимо выделить её, вызвать контекстное меню, выбрать строчку Properties, ввести новое имя шины и, в случае необходимости визуализации имени шины на экране монитора, активизировать флажок Display. После выделения (при нажатой клавише Shift) имени (номера) шины его можно перенести в другое место.

Имена электрических цепей, подводимых к шине, задаются командой Place/Port для подключения к цепи портов. Порт – специальный элемент схемы, который присваивает имя подключённой к нему цепи и определяет её для всех листов проекта (глобальная цепь) или нескольким частям (фрагментам) цепи на одном листе схемы. Такая цепь представляет собой единую компоненту связности, а порт используется для объединения элементов шины в одну компоненту связности. Порту присваивается имя цепи. У порта может быть один или два контакта для подсоединения к цепи.

После вызова команды Place/Port щёлкните в любом месте экрана – появится диалоговое окно (рис. 12).

В окно Net Name можно ввести имя электрической цепи. Если желательна упорядоченная последовательность имён цепей, подводимых к шине, установите флажок Increment Port Name. Переключатели Pin Count,

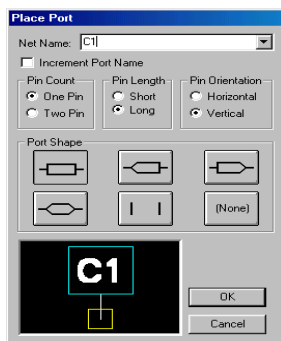


Рис. 12. Окно команды Place/Port

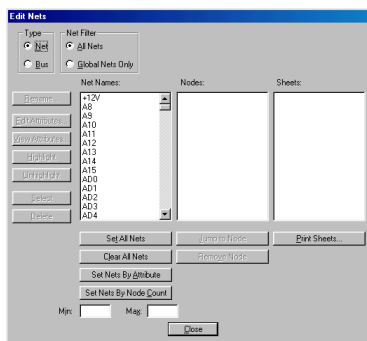


Рис. 13. Шина (слева), порты и подведённые к ним цепи

Pin Length и Pin Orientation (число контактов порта, длина, вывода и ориентация контакта соответственно) установите в нужное положение. Установите форму порта Port Shape и нажмите кнопку ОК.

Теперь можно подключать порты к именованным цепям щелчком мыши. Текущее имя цепи отображается автоматически (рис. 13). Именованные таким образом цепи являются глобальными (Global), и их можно переименовывать командой Edit/Nets.

Имя шины можно вывести на экран после выделения шины или её фрагмента, нажатия правой кнопки мыши, выделения опции Properties, введения в окно Bus Name имени шины и установки флажка Display.

**Создание многолистовой схемы.** Для создания многолистовой схемы используется команда Options/Sheets. В диалоговое окно Sheets вносятся имена всех листов. После внесения имени каждого из листов нажимается кнопка Add (добавить). Нажатие кнопки Current делает лист текущим. Текущий лист в окне Sheets помечается «звёздочкой». Изменение имени листа производится при выделении его прежнего имени, проставке в окне Sheet Name его нового имени и последующем нажатии на кнопку Modify. Удаление листа производится при выделении его имени и нажатии кнопки Delete.

Все листы одного проекта находятся в одном файле! Нужный лист можно вывести на экран с помощью строки состояний рабочего окна системы.

При переносе части схемы на другой лист необходимо к выводу компонента, от которого идёт связь на другой лист, подключить порт, который имеет один вывод и присвоить ему имя цепи (рис. 14). На рисунке имя цепи – В5. На другом листе должен быть размещён порт с тем же именем цепи для обеспечения электрического соединения.

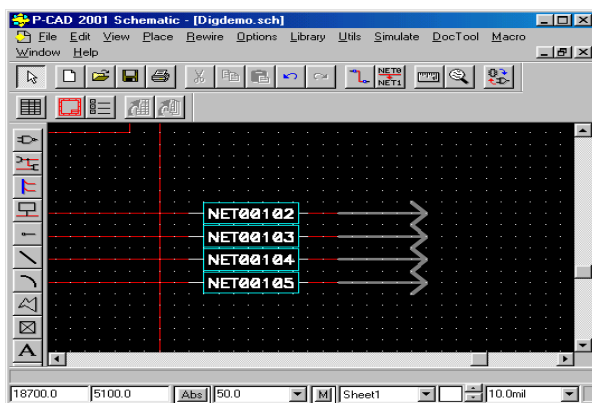
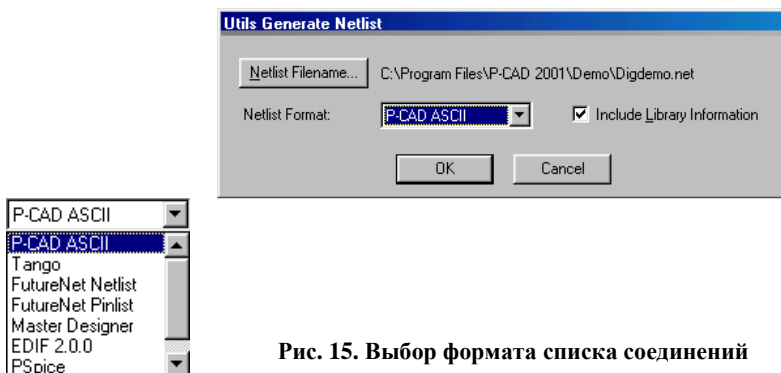


Рис. 14. Соединитель страниц



**Генерация списка соединений.** Список соединений включает в себя информацию о соединении вывода компонента с определённой целью (указывается номер или имя электрической цепи). Эта информация используется при «упаковке схемы на печатную плату», т.е. при размещении корпусов-компонентов на монтажно-коммутационном поле – ПП.

Список соединений формируется после выполнения команды *Utils/Generate Netlist*. В диалоговом окне (рис. 15) в окне *Netlist Format* выбирается требуемый формат записи списка соединений.



**Рис. 15. Выбор формата списка соединений**

В нашем случае выбирается формат P-CAD ASCII. Имя файла списка соединений предлагается по умолчанию, а изменить имя можно после нажатия на кнопку *Netlist Filename*. При включении флажка *Include Library Information* в файл включается информация, необходимая для формирования в проекте библиотеки символов компонентов с помощью программы *Library Executive* (команда *Library/ Translate*).

### **Вопросы для самопроверки**

1. Понятие многолистных схем, порядок создания.
2. Как создаются шины соединений, что такое порт?
3. Каким образом создаётся список соединений, где он используется?
4. Классификация схем по ЕСКД.
5. Правила выполнения электрических схем (Э1, Э2, Э3).
6. Особенности разнесённого и совмещённого способа изображения элементов.
7. Что называется элементом схемы, функциональной группой, функциональной частью?
8. Изображение групповых линий связи. Отличия между структурной и функциональной схемами.
9. Правила изображения контактных соединителей.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

**Цель работы:** освоить размещение электрорадиоэлементов и трассировку проводников печатной платы ручным и автоматическим способом.

### Задание

1. Получить вариант задания у преподавателя.
2. Осуществить размещение элементов в ручном режиме.
3. Используя программу SPECCTRA, осуществить размещение элементов в автоматическом режиме.
4. Осуществить трассировку проводников печатной платы в ручном и интерактивном режиме. 5. Осуществить трассировку проводников печатной платы, используя программы автотрассировки (Quick Route, PRO Route 2/4, PRO Route, P-CAD Shape-Based Router, SPECCTRA).

### Методические указания

Редактор печатных плат P-CAD PCB используется для размещения компонентов на монтажно-коммутационном поле и для ручной, интерактивной или автоматической трассировки проводников. В интерактивном режиме курсором отмечается начало и конец сегмента проводника, который сразу же трассируется с учётом препятствий. При этом соблюдаются все ограничения на проведение трассы, установленные пользователем.

**Настройка конфигурации.** После запуска графического редактора (файл PCB.EXE) необходимо настроить его конфигурацию, параметры которой устанавливаются в текущем файле и сохраняются для последующих сеансов проектирования ПП. Настройка параметров производится при вызове соответствующих опций меню Options в закладках General, Online DRC, Route и Manufacturing.

В области параметров соединений Connection Options в окне Optimize Partial Route разрешается/не разрешается оптимизировать связь для достижения минимальной «манхэттенской длины» после ручной трассировки связи. Если включён указанный флажок, то при ручной трассировке проводник подсоединяется к ближайшему фрагменту проводимой цепи.

Прочие опции окна General аналогичны опциям, которые описаны в меню Options Configure для программы P-GAD SCHEMATIC.

**Структура слоёв печатной платы.** Слои можно использовать по умолчанию, а также создавать и удалять после выполнения команды Options/Layers. В закладке Layers в области Type слои платы подразделяются на три типа и помечаются:

- Signal – слой разводки проводников – первым символом S.

- Plane – слой металлизации – первым символом P.
- Non Signal – вспомогательные слои – первым символом N. Список слоев проекта указывается в столбце Layers:
  - Top – проводники на верхней стороне платы (сторона установки компонентов);
  - Top Assy – атрибуты на верхней стороне платы (текстовые обозначения компонентов);
  - Top Silk – шелкография на верхней стороне платы (позиционные обозначения компонентов);
  - Top Paste – графика пайки на верхней стороне платы;
  - Top Mask – графика маски пайки на верхней стороне платы;
  - Bottom – проводники на нижней стороне платы;
  - Bot Mask – графика маски пайки на нижней стороне платы;
  - Bot Paste – графика пайки на нижней стороне платы;
  - Bot Silk – шелкография на нижней стороне платы;
  - Bot Assy – атрибуты на нижней стороне платы;
  - Board – границы платы.

Каждый слой может быть включён (Enable, символ E) или выключен (Disable, символ D). Указанные установки производятся после выделения имени слоя и нажатии соответствующих кнопок, которые находятся в правой части панели. Все слои (кроме текущего) можно выключить кнопкой Disable All, а включить – кнопкой Enable All.

По умолчанию структура слоёв для печатной платы устанавливается с двумя сигнальными слоями. Для печатных плат с несколькими сигнальными слоями и со слоями сплошной металлизации, естественно, следует добавить дополнительные слои. Для создания нового слоя в окне Layer Name закладки Layers вводится имя нового слоя, в окне Layer Number определяется номер слоя и нажимается кнопка Add. Цвет создаваемых слоёв устанавливается системой по умолчанию. При необходимости цвет слоя можно поменять после выполнения команды Options/Display, щелчка правой кнопкой мыши по прямоугольнику в строке имени слоя и выборе нужного цвета в появившейся палитре цветов.

В области Routing Bias указывается приоритетное направление трассировки проводников на тех или иных слоях печатной платы:

- Auto – выбирается автоматически, во втором столбце окна Layers к имени слоя присоединяется символ A;
- Horizontal – горизонтальное – присоединяется символ H;
- Vertical – вертикальное – присоединяется символ V.

**Задание барьеров для трассировки.** Как правило, не во всем пространстве ПП можно проводить трассировку. Поэтому с помощью команды Options/Current Keepout (рис. 16) устанавливается стиль Style (линия –

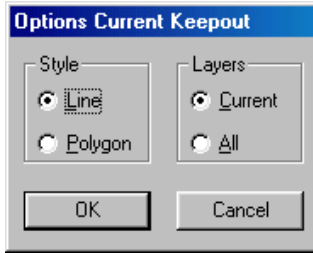


Рис. 16. Меню установки барьеров трассировки

Line, или многоугольник – Polygon) и слой (текущий – Current или все слои – All) для барьеров – областей запретов для трассировки. Граница области запретов вводится (рисуеться) в слое Keepout командой Place/Keepout.

**Разработка печатных плат.** После настройки конфигурации и определения всех параметров проекта можно приступить непосредственно к разработке печатных плат. Задача разработки печатных плат сводится к размещению компонентов проекта по отношению друг к другу на поле печатной платы и созданию правил ручной и автоматической трассировки соединений на плате.

Перед размещением компонентов на плату определяется шаг сетки рабочего поля. Например, для компонентов с планарными выводами этот шаг устанавливается равным 1,25 мм, а для компонентов со штыревыми выводами – 2,5 мм.

Затем необходимо в слое Board нарисовать на рабочем поле монитора замкнутый контур печатной платы. Прорисовка производится с помощью команд Place/Line и Place/Arc.

Если отсутствует принципиальная схема, выполненная в P-CAD Schematic, то компоненты на плату устанавливают по команде Place/Component. Связи между компонентами проводят по команде Place/Connection.

Если же принципиальная схема имеется, то производится так называемая упаковка схемы на печатную плату (должна быть открыта нужная библиотека).

**Упаковка схемы на печатную плату.** Вначале необходимо по команде Utils/Load Netlist загрузить файл списка соединений (расширение .net) печатной платы.

Как правило, схема упаковывается на печатную плату, на которой предварительно размещены разъёмы и другие фиксированные компоненты (после выделения соответствующих компонентов в диалоговом окне Properties устанавливается флажок Fixed) и проложены некоторые цепи.

После загрузки команды `Utils/Load Netlist` выводится сообщение о необходимости соблюдать следующие ограничения:

- компоненты с совпадающими на плате и схеме позиционными обозначениями (`Ref Des`) должны иметь одинаковый тип корпуса (`Type`). В противном случае упаковка схемы не производится;
- все компоненты, установленные на плату перед упаковкой, но не входящие в список соединений, будут сохранены;
- на печатную плату переносятся все компоненты из списка соединений, которые предварительно не были установлены на плату;
- предварительно проложенные электрические связи, но отсутствующие в списке соединений, будут удалены (обновляется вся информация об электрических цепях). Однако все предварительно проложенные проводники, присутствующие в списке соединений, будут сохранены;
- после выполнения команды нельзя восстановить первоначальный вид печатной платы с предварительно размещёнными компонентами, поэтому её рекомендуется сохранить в отдельном файле.

После нажатия на кнопку `Yes` загружаемые компоненты проекта размещаются над верхней границей печатной платы (если уже размещена заготовка печатной платы). Если же нет заготовки печатной платы, то все компоненты размещаются в левом нижнем углу рабочего пространства проекта. При этом на экране отображаются прямые линии ещё не проведённых электрических связей.

***Размещение компонентов на плате.*** После упаковки схемы на печатную плату можно приступить к упорядоченному (с точки зрения разработчика) размещению компонентов на плоскости платы. «Паутина» линий связей, появляющаяся между компонентами, позволяет разработчику ориентироваться при размещении компонентов. При перемещении компонентов указанная «паутина» перемещается вместе с компонентом. Компоненты при установке можно разворачивать (клавиша `R`) или переносить на противоположную сторону платы (клавиша `F`).

При размещении компонентов можно скрыть или сделать видимыми электрические связи для одной или нескольких цепей, можно переименовать одну цепь или группу цепей, можно отредактировать значения атрибутов. Для этих и других целей служит диалоговое окно команды `Edit/Nets`.

Перед началом трассировки должны быть установлены на плате все компоненты схемы (команда `Place/Component`), определена(ы) сетка(и) трассировки, слой, в котором проводится трасса, ширина проводника и заданы все соединения, т.е. выполнена команда `Utils/Load Netlist`. После выполнения последней команды между контактами установленных компонентов на ПП появляются условные линии связей. Если вводится новая

связь, не указанная в списке соединений, то предварительно, перед трассировкой, выполняется команда Place/Connection, и щелчком мыши вначале указывается первый контакт, а затем, не отпуская кнопку мыши, и второй контакт, подлежащие соединению. После указания второго контакта появляется окно, в котором пользователь может оставить предлагаемое системой имя цепи или изменить это имя и нажать ОК. После указанной процедуры появляется условная линия связи между контактами, а затем можно проводить связь вручную.

Ручная трассировка выполняется после команды Route/Manuel или нажатия на соответствующую пиктограмму. Трассировка производится только в сигнальных слоях, в противном случае появляется сообщение об ошибке. Если необходима перетрассировка уже проведённой связи, то эта связь предварительно удаляется.

Для проведения связи щелчком мыши указывается первый контакт и, не отпуская кнопку мыши, рисуют первый сегмент трассы. Отпускание мыши фиксирует излом трассы. Для перемещения трассы на один дискрет сетки используются кнопки (при нажатой кнопке мыши). Нажатие клавиши O (не отпуская клавишу мыши) даёт возможность менять характер излома (ортогонально, по диагонали, скругление), а клавиши F – менять расположение точки излома. Для создания T-образных соединений применяется опция T-Route by Default закладки Route команды Options/Configure.

При нажатии правой кнопки мыши трасса автоматически завершается по кратчайшему пути (заметим, что эта операция практически всегда завершается конфликтом, если ранее были уже проведены связи). Клавиши косой черты «\» и «/» прерывают разводку, не завершая её.

При смене текущего слоя при прокладке трассы нажимают клавишу L, или Shift+L, или кнопку строки состояний, при этом переходное отверстие вставляется автоматически. Тип переходного отверстия задаётся командой Options/Via Style.

При прокладке трассы ширина проводника может быть изменена (в строке состояний или по команде Options/Current Line). Проведение трассы завершается нажатием на правую кнопку мыши.

При интерактивной трассировке автоматически выдерживаются установленные зазоры и автоматически огибаются препятствия. Интерактивная трассировка выполняется по команде Route/Interactive или после нажатия на соответствующую пиктограмму. Трассировка начинается щелчком курсора на выводе компонента и дальнейшем поточечном проведении сегментов трасс, или вторым щелчком указывается второй вывод компонента, подлежащий соединению с первым указанным выводом. При поточечной прокладке трассы будут звучать сигналы, информирующие о недопустимости нарушения зазоров при приближении трассы к другим

цепям, контактам компонента или к переходным отверстиям. После нажатия правой кнопки мыши появляется меню для трассировки в интерактивном режиме:

- Complete – завершение прокладки трассы с соблюдением установленных ранее правил трассировки и соблюдением установленных зазоров;
- Suspend – прекращение прокладки трассы (трасса остаётся незавершённой);
- Cancel – прекращает трассировку и отменяет ввод последнего сегмента трассы;
- Options – активизирует закладку Route меню Options/Configure для возможных изменений опций трассировки;
- Layers – запускает команду Options/Layers для изменения структуры слоев платы;
- Via Style – запускает команду Via Style для выбора стиля переходного отверстия или его редактирования;
- Unwind – отменяет прокладку последнего сегмента проводника (то же самое, что и использование клавиши Backspace).

Клавиши O, F, "\", "/" имеют те же назначения, что и при ручной трассировке, однако при интерактивной трассировке не производится скругление трассы по дуге.

Если произвести два последовательных щелчка вначале по первому, а затем по второму контакту, то трасса между ними будет проведена автоматически по кратчайшему пути с соблюдением всех правил трассировки и автоматическим переходом (если программа посчитает нужным это сделать) из слоя в слой.

При пересечении трассы металлизированного экрана в нём будут автоматически вырезаться каналы с соблюдением заданных ранее зазоров.

*Внимание! При проведении трасс своевременно устанавливайте нужные слои, в которых производится прокладка трасс.*

**Автоматическая трассировка.** В систему P-CAD входят четыре программы автоматической трассировки – Quick Route, PRO Route 2/4, PRO Route и P-CAD Shape-Based Router. Для выбора нужной программы выполняется команда Route/Autorouters из редактора P-CAD PCB.

Автотрассировщик Quick Route используется для трассировки несложных плат, содержащих небольшое число компонентов. Автотрассировщик PRO Route 2/4 трассирует однослойные и двухслойные платы без ограничения числа выводов или четырёхслойные платы с числом выводов компонентов до 4000. Автотрассировщик PRO Route трассирует платы, имеющие до 30 слоёв без указанных ограничений. Автотрассировщик SPECSTRA поставляется дополнительно к P-CAD и используется не

только для трассировки соединений, но и для ручного или автоматического размещения компонентов на печатной плате. На сегодняшний день SPECSTRA является наиболее «продвинутым» автотрассировщиком печатных плат и используется при проектировании сложных печатных плат.

**Автотрассировщик Quick Route.** Автотрассировщик запускается из графического редактора P-CAD PCB с помощью меню Route/Autorouters. Автотрассировщик не требует указания границы печатной платы в слое Board и не изменяет топологию предварительно проложенных пользователем проводников. Предварительно на плате должны быть размещены все компоненты, определены все электрические связи. Некоторые связи могут быть уже проведены. Можно задать области запрета для трассировки по команде Place/Keep Out.

**Автотрассировщик Pro Route.** Автотрассировщик Pro Route позволяет трассировать без ограничения числа выводов компонентов проекта до 30 сигнальных слоёв и до 99 слоёв металлизации на печатной плате.

Так же как и в предыдущем случае автотрассировки, должна быть загружена плата с размещёнными на ней компонентами и указаны связи между выводами компонентов. В слое Board должна быть указана область трассировки в виде контура и, в случае необходимости, барьеры для трассировки. Некоторые компоненты должны быть зафиксированы (разъёмы, элементы питания и т.п.). Если вручную проведены некоторые электрические связи («земля», питание и др.), и они должны быть сохранены в процессе автотрассировки, то эти связи должны иметь атрибут No Auto Route.

**Бессеточный трассировщик P-CAD Shape-Based Router.** Автотрассировщик предназначен для интерактивной и автоматической трассировки многослойных печатных плат с высокой плотностью размещения компонентов. Особенно эффективен для компонентов с планарными контактами, выполненных в разных системах единиц измерения. Автотрассировщик обрабатывает печатные платы, имеющие до 30 слоёв, до 4000 компонентов, до 5000 контактов в одном компоненте до 1000 цепей и до 16 000 электрических соединений в проекте.

Запускается программа или непосредственно из редактора P-CAD PCB, или автономно из среды WINDOWS (файл SR.EXE).

Настройка стратегии трассировщика производится после его запуска с помощью диалогового окна Options/Auto-Router.

Ручная трассировка новых соединений или редактирование существующих трасс производится после выполнения команды Tools/Manual route. Перед началом работы на печатной плате должны быть размещены компоненты и определены соединения между контактами компонентов по команде Place/Connection или загружена полученная ранее информация о соединениях командой Utils/Load Netlist. Необходимо проверить также наличие всех слоёв для трассировки (в противном случае необходимо вы-



полнить команду Options/Layers и настроить слои трассировки). Трассировка производится только в сигнальных слоях. При попытке использовать для трассировки несигнальные слои появляется сообщение об ошибке.

Автоматическая трассировка производится после выполнения команды Tools/Start Autorouter в меню автотрассировщика P-CAD ShapeBased Router. В процессе трассировки в строке состояний отражается ход трассировки: название текущего прохода трассировки, число разведённых цепей и количество введённых переходных отверстий, наличие конфликтов и т.д.

Для возвращения в программу P-CAD PCB с целью просмотра результатов трассировки и возможного редактирования этих результатов выполняется команда Save and Return.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Каким образом производится упаковка схемы?
2. Каким образом задаются параметры трассировки?
3. В чём отличие автотрассировщиков Quick Route и PRO Route?
4. Понятие топологического проектирования.
5. Критерии алгоритмов автотрассировки.
6. Правила проектирования ВЧ плат.
7. Способы минимизации индуктивности шин питания.
8. Типы печатных плат.
9. Структурное проектирование многослойных печатных плат.

### ***Лабораторная работа 4***

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ**

***Цель работы:*** освоить принципы виртуального построения, настройки и отладки электронных схем.

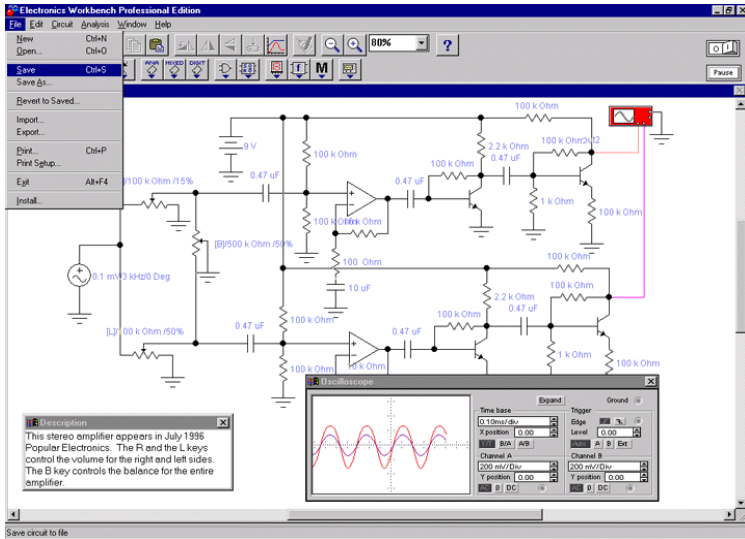
#### **Задание**

1. Получить задание у преподавателя.
2. Смоделировать работу схемы электрической принципиальной.
3. Рассмотреть влияние внешних воздействий на работу схемы.

#### **Методические указания**

Приложение Electronics Workbench представляет собой средство программной разработки и имитации электрических цепей. Внешний вид экрана компьютера при работе с программой показан на рис. 17.

Интерфейс пользователя состоит из полосы меню, панели инструментов и рабочей области.



**Рис. 17. Внешний вид экрана компьютера при работе с программой EWB**

Полоса меню состоит из следующих компонент: меню работы с файлами (File), меню редактирования (Edit), меню работы с цепями (Circuit), меню анализа схем (Analysis), меню работы с окнами (Window), меню работы с файлами справок (Help).

Панель инструментов состоит из “быстрых кнопок”, имеющих аналогии в меню, кнопок запуска и приостановки схем, набора радиоэлектронных аналоговых и цифровых деталей, индикаторов, элементов управления и инструментов.

**Предлагаемые программой элементы.** Все элементы сосредоточены в 13 панелях, разделённых на группы:

- 1) аналоговые элементы;
- 2) интегральные схемы;
- 3) цифровые и логические элементы;
- 4) индикаторные устройства;
- 5) инструменты.

**Основные приёмы работы.** Запустите Electronics Workbench.

Подготовьте новый файл для работы. Для этого необходимо выполнить следующие операции из меню: File/New и File/Save as. При выполнении операции Save as будет необходимо указать имя файла и каталог, в котором будет храниться схема.

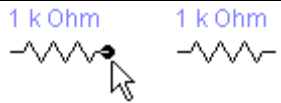
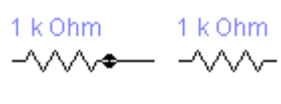
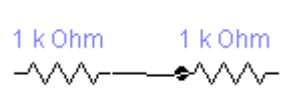
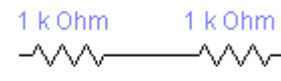
Перенесите необходимые элементы из заданной схемы на рабочую область Electronics Workbench. Для этого необходимо выбрать раздел на

панели инструментов (Sources, Basic, Diodes, Transistors, Analog Ics, Mixed Ics, Digital Ics, Logic Gates, Digital, Indicators, Controls, Miscellaneous, Instruments), в котором находится нужный вам элемент, затем перенести его на рабочую область (щёлкнуть мышью на нужном элементе и, не отпуская кнопки, перенести в нужное место схемы).

Workbench также предоставляет возможность использовать настраиваемую панель инструментов Favorites рис. 18. Панель своя для каждого файла схемы.

Для добавления в панель элемента надо щёлкнуть его изображение на панели правой кнопкой и выбрать Add to Favorites. Чтобы убрать с панели Favorites, щёлкнуть правой кнопкой элемент на панели Favorites и выбрать Remove from Favorites.

Соедините контакты элементов и расположите элементы в рабочей области для получения необходимой вам схемы. Для соединения двух контактов необходимо щёлкнуть по одному из контактов основной кнопкой мыши и, не отпуская клавишу, довести курсор до второго контакта. Рассмотрим эти действия в пошаговом режиме:

1		Наведём курсор мыши на вывод элемента так, чтобы появилась чёрная точка контакта
2		Опустим клавишу мыши, и не отпуская её, проводим проводник к элементу, с которым надо наладить соединение
3		Когда проводник достигнет вывода другого элемента, появится его точка контакта, тогда кнопку мыши надо опустить
4		Два элемента электрически соединены

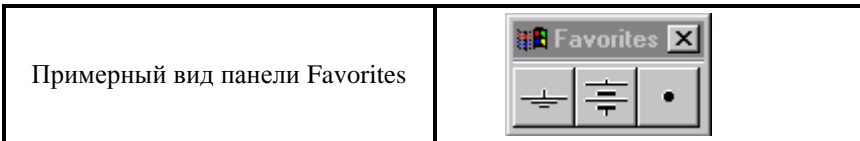


Рис. 18. Настраиваемая панель инструментов

В случае необходимости можно добавить дополнительные узлы (разветвления). Для этого надо просто перетащить элемент с панели на место проводника, где надо его разветвить.

Нажатием на элемент правой кнопкой мыши можно получить быстрый доступ к простейшим операциям над положением элемента, таким как вращение (rotate), разворот (flip), копирование/вырезание (copy/cut), вставка (paste), а также к его справочной информации (help).

Проставьте необходимые номиналы и свойства каждому элементу. Для этого нужно дважды щёлкнуть мышью, на элементе откроется меню рис. 19.

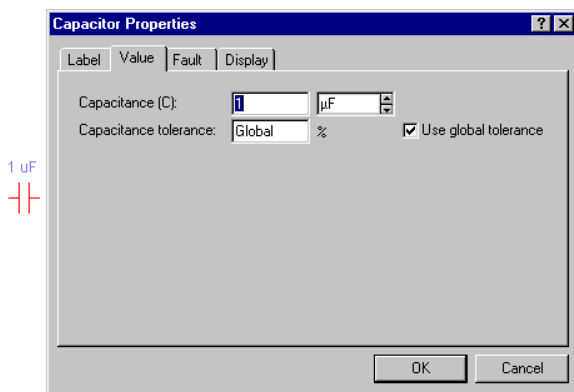


Рис. 19. Меню свойств элемента

Когда схема собрана и готова к запуску, нажмите кнопку включения питания на панели инструментов .

В случае серьёзной ошибки в схеме (замыкание элемента питания накоротко, отсутствие нулевого потенциала в схеме) будет выдано предупреждение.

Произведите анализ схемы, используя инструменты индикации. Вывод терминала осуществляется двойным нажатием клавиши мыши на элемент. В случае надобности можно пользоваться кнопкой Pause



### Вопросы для самопроверки

1. Чем различается работа схемы с идеальными и реальными элементами?
2. Как влияет изменение температурных режимов на работу вашей схемы?
3. От чего зависит стабильность работы вашей схемы?
4. Основные задачи схемотехнического проектирования.
5. Типы объектов схемотехнического проектирования.

6. Основные этапы автоматизированного схемотехнического проектирования.
7. Понятие математической модели компонента.
8. Математическая модель схемы.
9. Параметры математических моделей реальных компонентов.
10. Язык описания компонентов PSPICE.

## *Лабораторная работа 5*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕНН**

**Цель работы:** освоить принципы виртуального построения, настройки и отладки антенн и антенных систем.

#### **Задание**

1. Получить задание у преподавателя.
2. Смоделировать антенну.
3. Рассмотреть влияние внешних воздействий на работу антенны.

#### **Методические указания**

MMANA – это программа моделирования антенн, работающая в среде Windows. Программа позволяет:

- Создавать и редактировать описания антенны, как заданием координат, так и мышкой.
- Рассматривать множество разных видов антенны.
- Рассчитывать диаграммы направленности (ДН) антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях (под любыми вертикальными углами).
- Одновременно сравнивать результаты моделирования нескольких разных антенн (ДН и все основные характеристики).
- Редактировать описание каждого элемента антенны, включая возможность менять форму элемента без сдвига его резонансной частоты.
- Редактировать описание каждого провода антенны.
- Просчитывать комбинированные провода, состоящие из нескольких, разных диаметров.
- Использовать удобное меню создания многоэтажных антенн – стеков, причём в качестве элемента стека можно использовать любую существующую или созданную вами антенну.
- Оптимизировать антенну, гибко настраивая цели оптимизации:  $Z_{вх}$ , КСВ, усиление, F/B, минимум вертикального угла излучения.
- Задавать изменение при оптимизации более 90 параметров антенны.
- Сохранять все шаги оптимизации в виде отдельной таблицы.
- Строить множество разнообразных графиков:  $Z_{вх}$ , КСВ, усиления, отношения излучений вперёд/назад (F/B), включая показ зависимости ДН от частоты.

- Автоматически рассчитывать несколько типов согласующих устройств (СУ).
- Создавать файлы\_таблицы (формата \*.csv, просматриваемого в Excel) для всех переменных расчётных данных.
- Рассчитывать катушки, контура, СУ на LC элементах, СУ на отрезках длинных линий (несколько видов), индуктивности и ёмкости, выполненные из отрезков коаксиального кабеля.

Ограничений по взаимному расположению проводов нет. Это означает, что любая конфигурация проводников будет рассчитана корректно. Максимальное число: проводов – 512, источников – 64, нагрузок – 100.

**Закладка «Геометрия».** При старте программы открывается закладка Геометрия и вы видите несколько полей сверху и три таблицы (рис. 20), на которой открыт файл уже имеющейся антенны.

Эта закладка – базовое описание антенны. Поле Имя – это название антенны, любое, какое вы зададите. Оно будет фигурировать сверху всех закладок, и под этим же именем антенна будет выводиться при её последующем сравнении с другими. Поле F ... МГц – основная частота антенны. Это значение будет использоваться в последующих расчётах по умолчанию. Первая таблица Провода – это описание проводов. В методе моментов любая антенна представляется как набор проводов. Каждая строка в этой таблице – описание одного провода: X1, Y1, Z1 – это координаты в трёхмерном пространстве начала провода, а X2, Y2, Z2 – то же самое, но конца провода. R – радиус провода. Размерность всех этих величин можно задавать либо в метрах (для R в мм), либо в длинах волн установкой флага в верхнем левом окошке в лямбдах. В ячейки таблицы можно вводить не только цифры, но и арифметические выражения – они будут автоматически просчитаны. Допустимы знаки + - / \* ( ).

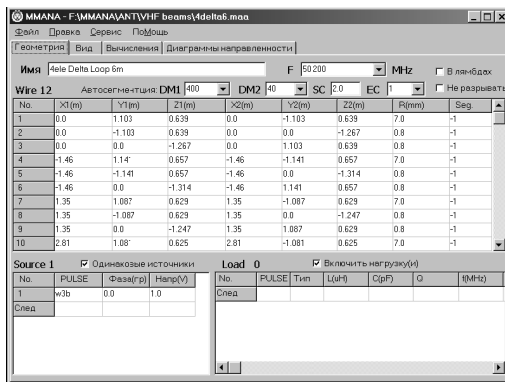


Рис. 20. Закладка «Геометрия»

Например, запись вида 10/4+2 после нажатия Enter сменится вычисленным значением 4,5. Если величину R установить равной 0, то данный провод будет восприниматься программой изолятором. Такой приём удобен при анализе сложных многопроводных антенн для экспериментов: можно временно удалить из анализируемой антенны провод (не удаляя его из таблицы описания), установив его радиус равным 0. При этом сегменты этого провода исключаются из расчёта. Электрическое соединение проводов осуществляется автоматически, как только совпадут все три координаты начала или конца провода.

Соединение осуществляется только при совпадении координат начала или конца проводов, при пересечении же их в пространстве в любой другой точке (кроме начала и конца) не приводит к электрическому соединению. Величина Seg определяет число точек (сегментов), на которое разбивается провод при моделировании. Если величина Seg установлена положительной, от 1 и больше – это режим ручного разбиения на сегменты, который принят в большинстве других моделирующих программ.

В принципе, чем на большее количество сегментов разбивается провод, тем точнее результаты моделирования. Обычно считается, что достаточно несколько (4 – 6) сегментов на длине провода в четверть волны. Но тут есть свои сложности, поскольку львиная доля всех ошибок при моделировании происходит именно из-за неверного разбиения провода на сегменты. Правильно разбить провод на сегменты в методе моментов неподготовленному пользователю весьма непросто. Поэтому рекомендуется пользоваться имеющимся в MMANA режимом автоматического деления на сегменты, для установки которого достаточно установить величину Seg равной 0 или отрицательному числу. Параметры автосегментации зависят от величин, установленных в полях DM1 и DM2. Практический совет.

Пока вы не наберетесь достаточного опыта – не трогайте установленные по умолчанию значения DM1, DM2, EC и SC, а параметр Seg всегда ставьте равным – 1 для оптимальной автосегментации.

Левая нижняя табличка описывает источники. Прямо под словом PULSE пишется:

- w1c – если источник в середине первого провода,
- w1b – если он в начале первого провода,
- w1e – если он в конце первого провода,
- w2c – если он в середине второго провода и т.д.

Если источник не в середине и не в конце, а где-то сбоку, пишется так:

– w1c4 – источник, смещенный в направлении конца от центра первого провода на 4 сегмента (где именно получился источник можно посмотреть, нажав закладку Вид).

– w2c-5 – источник, смещенный от центра первого провода в направлении его начала на 5 сегментов.

Первая буква – всегда *w* (от *wire* – провод), цифра – номер провода, буква за номером (*b*, *c*, *e*) – обозначение начала, середины и конца провода соответственно, а последняя цифра (её может и не быть) – величина смещения в сегментах от начала конца или середины. Если вы устанавливаете источник на начало или конец провода, проверьте, чтобы к этому началу или концу было что-то присоединено – или другой провод, или земля (координата по  $Z = 0$ ). Току куда-то надо утекать, т.е. второй вывод источника не может «висеть в воздухе». Следующий столбец таблицы Источники – это фаза источника в градусах. Если источник один, то его фаза безразлична. Но если вы проектируете систему с активным питанием и соответственно несколькими источниками, то в каждом должна быть установлена нужная фаза.

Расположение и вид нагрузок описываются в таблице Нагрузки. Под термином «нагрузка» здесь понимается любая пассивная сосредоточенная цепь – резистор, реактивность, контур. Положение нагрузки задаётся точно так же, как и положение источников в столбце PULSE. Тип нагрузки задаётся в следующем столбце выбором из меню, всплывающего под левой кнопкой мыши (курсор должен быть в этом столбце): LC, R + jX, S. При выборе LC можно описать:

- Катушку . Столбец L – индуктивность в мкГн, в столбце C – 0, в столбце Q – добротность катушки (0 в этом столбце означает катушку без потерь, т.е. с бесконечной добротностью);

- Конденсатор (столбец L – 0, столбец C – ёмкость в пФ);

- Параллельный колебательный контур. Либо заполнив столбцы L, C, Q, либо в столбце *f* (MHz) заполнив только L или только C, и, не вводя второй параметр, указать резонансную частоту контура в МГц – недостающий параметр будет автоматически подсчитан. При выборе R+jX в соответствующих столбцах просто указываются активное и реактивное части сопротивления нагрузки в Ом. Для задания резистора указывается только R. При выборе S, устанавливается режим описания Лапласова типа нагрузки. Этот тип нагрузки наиболее полезен для представления сложных, комбинированных цепей, которые не могут быть представлены другими типами нагрузок. Этот режим удобен для описания сложных последовательно параллельных цепей из множества реактивностей, например многорезонансных контуров. Любая комбинация R, L и C может быть представлена Лапласовым типом нагрузок. Описание нагрузки вводится как коэффициенты полинома Лапласа требуемой цепи. Первый коэффициент задается так: числитель дроби A0, знаменатель B0, второй коэффициент A1 и B1 и т.д. По крайней мере, один коэффициент знаменателя должен быть ненулевым. MMANA допускает описание полинома (и соответственно цепи) до 13-го порядка. Для включения нагрузки в состав антенны надо установить флаг в поле Включить нагрузку(и). При отсутст-



вии этого флага описанные в таблице нагрузки при моделировании считаются отключёнными.

**Закладка «Вид».** Выбрав эту закладку, можно посмотреть внешний вид в трёхмерном пространстве описанной вами антенны (или взятой из готового файла) и распределение сегментов и токов по ней. Последнее возможно только после предварительного проведения расчёта в закладке Вычисления, о которой речь пойдёт позднее. Окно этой закладки показано на рис. 21. Движками Верт. вращение, Гор. вращение и Масштаб можно внимательно рассмотреть антенну со всех сторон. Если вы потеряли из виду антенну, нормальное изображение восстанавливается либо флагом Нормальный вид, либо нажатием одной из двух кнопок – Центр на антенну или Центр на  $X = 0, Y = 0, Z = 0$ .

Первая кнопка помещает в центр экрана геометрический центр антенны (автоматически изменяя при этом масштаб таким образом, чтобы экран поместилась вся антенна целиком), вторая – в начало координат (выбранный масштаб при этом не меняется). Источники показаны красными кружками, нагрузки – красными крестиками. Напоминание об этом «висит» в левом верхнем углу окна. При установке флага «сегменты» зелёными крестиками показываются точки разбиения проводов на сегменты.

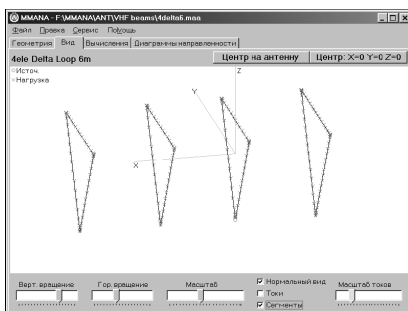


Рис. 21. Закладка «Вид»

При установке флага «токи» показывается распределение тока в проводах (для этого предварительно должен быть сделан расчёт антенны в закладке Вычисления). Масштаб отображения токов регулируется соответствующим движком.

**Закладка «Вычисления».** Вид этого окна показан на рис. 22. В этом окне производятся установки условий расчёта, выводится ход расчёта и окончательные результаты. В окне Частота устанавливается частота анализа антенны (по умолчанию берётся частота, установленная в закладке Геометрия). Если вам нужна специфическая частота, то введите её значение вручную.

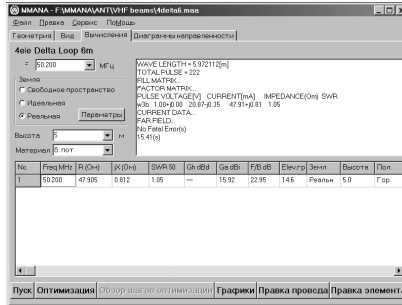


Рис. 22. Закладка «Вычисления»

Правое окно – информационное. Оно отображает текущее состояние расчёта. Туда же выводятся сообщения о возможных ошибках расчёта. В окошке Земля выбирается тип земли. При установке Реальная земля, в этом же окошке появляется кнопка Параметры, которая вызывает окно Параметры реальной земли. Высота антенны над землёй устанавливается в поле Высота (естественно, этого можно не делать, если в окошке Земля выбрана опция Свободное пространство). Программа поднимает антенну вверх по оси Z. В поле Материал выберите из списка материал антенны. Тип материала оказывает заметное влияние на УКВ и укороченных КВ антеннах.

**Закладка «Диаграммы направленности» (ДН).** Выбрав эту закладку (рис. 23), вы увидите ДН антенны в вертикальной и горизонтальной плоскости и табличку всех основных параметров антенны. ДН любой антенны является объёмной трёхмерной фигурой, в общем случае, неправильной формы. Отображение этой фигуры на плоских графиках MMANA имеет свои особенности. ДН в вертикальной плоскости MMANA представляет собой сечение плоскостью X–Z объёмной ДН.

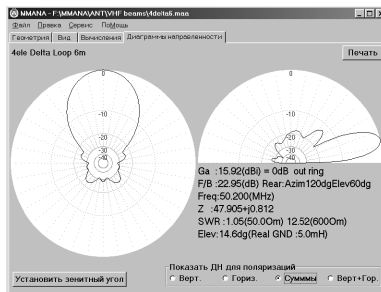


Рис. 23. Закладка «Диаграмма направленности»

Именно поэтому, чтобы увидеть на ДН в вертикальной плоскости отношение излучений вперёд – назад (и для правильного подсчёта F/V программой) при создании описания антенны, следует располагать её так, чтобы предполагаемый максимум излучения был направлен вдоль оси X.

Для случая идеальной или реальной земли ДН в горизонтальной плоскости по умолчанию строится для зенитного угла, соответствующего максимальному уровню излучения. Иное значение зенитного угла задаётся кнопкой Установить значение зенитного угла. Это полезно при изучении излучения антенны под малыми зенитными углами к горизонту и формы её ДН при этом в горизонтальной плоскости. Если антенна моделируется в свободном пространстве, то установленный по умолчанию зенитный угол для построения ДН в горизонтальной плоскости составляет 0 градусов. Через меню Сервис, по цепочке Сервис и Установки Зенитный угол на ДН в свободном пространстве можно задать построение горизонтальной ДН для зенитного угла, соответствующего максимальному излучению. В окошке ДН для поляризации можно выбрать для какой поляризации (вертикальной V, горизонтальной H, их суммы Сумма, или для одновременного отображения разными цветами V+H) будут построены ДН. Сохранить ДН, параметры и все результаты расчёта антенны в отдельный файл (на будущее для последующего сравнения их с другими) можно, выбрав в основном меню Файл команду Сохранить ДН (\*.mab) При этом сохраняется не только описание антенны (провода, параметры сегментации, источники, нагрузки, частота, высота, материал), но и все результаты расчётов.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Чем различается работа антенны с идеальными и реальными элементами?
2. Как влияют свойства земли и высота установки антенны на её основные параметры?
3. Основные параметры антенн, элементарные излучатели и их характеристики?
4. Характеристики материалов используемых при проектировании антенн.
5. Ограничения при моделировании антенн.
6. Что такое сопротивление излучения?
7. Классификация антенн.
8. Параметры линии передач.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Сообщения об ошибках программы **Library Executive**

5636. Duplicate pad numbers found at rows xxx and yyy. (На строках xxx и yyy обнаружены одинаковые номера.)

*Причина:* несколько выводов корпуса компонента имеют одинаковые номера.

5637. Pad number at row xxx is out of range. (Номера выводов корпуса компонента на строке xxx находятся вне допустимого диапазона.)

*Причина:* номера выводов корпуса компонента могут принимать значения в пределах от 1 до номера строки включительно.

5700. Unable to allocate memory for pin data. Component not verified! (Не хватает памяти для размещения данных о выводах. Компонент не верифицирован!)

*Причина:* информация о выводах компонента занимает очень малый объём – всего 64 К или менее на один компонент.

5701. Gate Number out of range in row # [- 1 to 255]. (Номер секции находится вне допустимого диапазона от – 1 до 255 в строке #.)

*Причина:* компонент может содержать не более 255 секций. Номера – 1 или CMN обозначают общие выводы.

5702. Common pin in row # has a gate eq # that does not match any gates! (Общий вывод в строке # имеет код эквивалентности, не согласующийся ни с одной секцией.)

*Причина:* определения общего вывода должны иметь, по крайней мере, две секции.

5703. Common pin in row # has a gate eq # that matches only 1 gate! (Общий вывод в строке # имеет код эквивалентности, согласующийся только с одной секцией.)

*Причина:* определения общего вывода должны иметь, по крайней мере, две секции.

5704. Gate # missing symbol. (Пропущен символ секции #.)

*Причина:* в окне Component Information не указано имя символа секции #. Каждой секции должен быть поставлен в соответствие, по крайней мере, один символ.

5705. Gate # missing symbol name. (Пропущено имя символа секции #.)

*Причина:* в окне Component Information не указано имя символа секции #. Каждой секции должен быть поставлен в соответствие, по крайней мере, один символ.

5706. NORMAL Symbol "name" missing from library. (Имя символа в графе NORMAL отсутствует в библиотеке.)

*Причина:* подключённый ранее символ теперь отсутствует в библиотеке. Библиотека может быть повреждена, или символ был удалён при создании другого компонента.

5707. IEEE Symbol "name" missing from library. (Имя символа в графе IEEE отсутствует в библиотеке.)

*Причина:* подключённый ранее символ теперь отсутствует в библиотеке. Библиотека может быть повреждена, или символ был удалён при создании другого компонента.

5708. DEMORGAN Symbol "name" missing from library. (Имя символа в графе DEMORGAN отсутствует в библиотеке.)

*Причина:* подключённый ранее символ теперь отсутствует в библиотеке. Библиотека может быть повреждена, или символ был удалён при создании другого компонента.

5709. PATTERN "name" missing from library. (Имя корпуса в графе PATTERN отсутствует в библиотеке.)

*Причина:* подключённый ранее корпус теперь отсутствует в библиотеке. Библиотека может быть повреждена, или корпус был удалён при создании другого компонента.

5710. Number of rows not equal to number of pads. (Число строк в таблице не равно числу выводов корпуса компонента.)

*Причина:* после того как подключён корпус компонента, число строк в таблице должно быть равно числу выводов. Строки могут оставаться пустыми, если выводы корпуса не ассоциируются с какими-нибудь выводами символов.

5711. Missing PinDes in row #. (Пропущено позиционное обозначение вывода PinDes в строке #.)

*Причина:* когда нет подсоединённого корпуса, каждая строка должна соответствовать выводу, и каждый вывод должен иметь позиционное обозначение. Если какая-нибудь строка не нужна, её нужно переместить в конец таблицы и в окне Component Information уменьшить число выводов на единицу.

5712. Missing PinDes in row #. Only "unused" pads are allowed to have a blank PinDes. (Пропущено позиционное обозначение вывода в строке #. Только неиспользуемые выводы могут иметь пустые ячейки PinDes.)

*Причина:* после того как подключен корпус компонента, каждая строка таблицы соответствует выводу этого корпуса. Только неиспользуемые выводы могут иметь пустые ячейки PinDes. Неиспользуемый вывод ассоциируется с пустой строкой таблицы.

5713. Invalid characters in PinDes in row # [Bad characters are COMMA, DACH, SPACE, TAB, BRACKET, PAREN, HI-ASCILL]. (Неверный символ в позиционном обозначении вывода в строке #. [Не могут использоваться символы «.», «-», «пробел», «табуляция», круглые и прямоугольные скобки, коды ASCII в верхней половине таблицы].)

*Причина:* позиционные обозначения выводов не могут содержать символы «.», «-», «пробел», «табуляция», круглые и прямоугольные скобки и символы, коды ASCII которых превышают 128.

5714. POWER pin can't have missing PinName in row #. (Вывод типа POWER не может иметь пропущенное имя в строке #.)

*Причина:* вывод, имеющий тип Power, должен обязательно иметь имя PinName, так как оно по умолчанию используется как имя подсоединённой к этому выводу цепи.

5715. Invalid characters in PinName in row # [Bad character are SPACE, TAB, HI-ASCII]. (Неверный символ в имени вывода в строке #. [Не могут использоваться символы «пробел», «табуляция», коды ASCII в верхней половине таблицы].)

*Причина:* имена выводов не могут содержать символы «пробел», «табуляция» и символы, коды ASCII которых превышают 128.

5716. Gate Number out of range in row # [ - l to #]. (Номер секции в строке # находится вне допустимого предела от - 1 до #.)

*Причина:* число в строке # может содержать не более 255 секций. Номера – 1 или CMN обозначают общие выводы.

5717. Gate & Pin number must both be zero or both be non-zero in row #. (Номер секции и номер вывода должны быть оба равны нулю или оба не равны нулю в строке #.)

*Причина:* номер секции и номер вывода одновременно равны нулю, если они описывают пустую строку, неиспользуемый вывод или вывод питания. Для спецификации любого другого вывода они должны быть оба не равны нулю.

5718. Pin number # in row # exceeds the number of pads/pins. (Номер вывода # в строке # превышает число выводов.)

*Причина:* номер вывода в любой строке никогда не может превышать числа выводов в присоединённом корпусе или общее число выводов секций компонента, когда корпус не присоединён.)

5719. The gate equivalence specified in Component Information for gate # does not match the pin's gate equivalence specified in row #. (Код эквивалентности секции #, указанный в окне Component Information, не согласуется с кодом эквивалентности вывода в строке #.)

*Причина:* необходимо повторно ввести коды эквивалентности секций в окне Component Information.

5720. Gate # has multiple gateEq values ... first found in row #. (Секция # имеет несколько значений кодов эквивалентности ... первое значение найдено в строке #.)

*Причина:* несколько строк с одинаковым номером секции имеют разные коды эквивалентности секций.

5721. Equivalent gates #end # -have a different number of pins. (Эквивалентные секции # и # имеют разное число выводов.)

*Причина:* секции, имеющие одинаковые коды эквивалентности, должны иметь одинаковое число выводов.

5722. Gate # is missing. Gate numbers must be contiguous for homogeneous components. (Секция # пропущена. Секции однородных компонентов нумеруются подряд.)

*Причина:* в таблице выводов пропущена информация об этой секции. Нет строки, соответствующей номеру секции, указанному в окне Component Information.

5723. The same pin on equivalent gates must have the same Pin Eq. See row # and #. (Одинаковые выводы символов эквивалентных секций должны иметь одинаковые коды эквивалентности выводов Pin Eq. См. строки # и #.)

*Причина:* эквивалентные секции должны иметь одинаковые символы и одинаковую информацию о символах.

5724. The same pin on equivalent gates must have the same Electrical Type See row # and #. (Одинаковые выводы символов эквивалентных секций должны иметь одинаковые типы Electrical Type. См. строки # и #.)

*Причина:* эквивалентные секции должны иметь одинаковые символы и одинаковую информацию о символах.

5725. The same pin on equivalent gates of a homogeneous component must have the same Pin Name. See row # and #. (Одинаковые выводы символов эквивалентных секций однородных компонентов должны иметь одинаковые имена выводов Pin Name. См. строки # и #.)

*Причина:* эквивалентные секции должны иметь одинаковые символы и одинаковую информацию о символах.

5726. Equivalent pins can not have different electrical types in the same gate. See row # and #. (Эквивалентные выводы одной и той же секции не могут иметь различные электрические типы. См. строки # и #.)

*Причина:* см. перевод.

5727. Gate number # greater than number of gates #in row #. (Номер секции # больше номера секции # в строке #.)

*Причина:* указанный в таблице выводов номер секции больше числа секций, заданных в окне Component Information.

5728. Pin Number #greater than number of pins #in row #. (Номер вывода # больше номеров выводов # в строке #.)

*Причина:* указанный в таблице выводов номер вывода больше числа выводов, заданных в окне Component Information.

5729. Duplicate Pin Number # found in gate #in row #. (Повторяющийся номер вывода # найден в секции # в строке #.)

*Причина:* комбинация номера секции и номера вывода уже имеется в таблице выводов. Номера общих выводов не должны совпадать с номерами других выводов.

5730. Pin Number # could not be found for gate #in row #. (Номер вывода # не может быть обнаружен в секции # в строке #.)

*Причина:* номер вывода, указанный в таблице выводов, не может быть найден в символе, соответствующем секции с данным номером.

5731. Common pin defined for gate number # is greater than number of gates # in row #. (Число общих выводов, указанных для секции номер #, больше числа выводов секции # в строке #.)

*Причина:* см. перевод.

5732. Pin Number #for gate # was never assigned in the spreadsheet. (Номер вывода # секции # не был назначен в таблице выводов.)

*Причина:* номер вывода, найденный в символе, отсутствует в таблице символов.

5733. Duplicate pin number #not allowed in gate #. Pin numbers must start with 1 and must be contiguous. (Повторение номера вывода # не разрешено в секции #. Номера выводов должны начинаться с 1 и не иметь пропусков.)

*Причина:* см. перевод.

5734. Pin Number # is missing from gate #. Pin numbers must start with 1 and must be contiguous. (В секции # пропущен номер вывода #. Нумерация выводов начинается с 1 и должна быть непрерывной.)

*Причина:* номер вывода символа не найден в таблице выводов.

5735. Attempt to assign duplicate pin designator "name". (Сделана попытка присвоить повторяющийся номер вывода "пате".)

*Причина:* каждый номер вывода должен быть уникальным.

5786. Duplicate default pin designator must be unique. (Номера выводов компонента должны быть уникальными.)

*Причина:* установленные по умолчанию номера выводов компоненте не должны повторяться.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разевиг, В.Д. Система проектирования печатных плат ACCEL EDA 15 (P-CAD 2000) / В.Д. Разевиг. – М. : Солон-Р. – 2000. – 418 с.
2. Разевиг, В.Д. Система P-CAD 2000. Справочник команд / В.Д. Разевиг. – М. : Горячая линия–Телеком, 2001. – 256 с.
3. Стешенко, В.Б. ACCEL EDA Технология проектирования печатных плат / В.Б. Стешенко. – М. : Нолидж, 2005 – 507 с.
4. Уваров, А.С. P-CAD 2000, ACCEL EDA. Конструирование печатных плат : учебный курс / А.С. Уваров. – СПб. : Питер, 2001. – 320 с.
5. Поляков, Ю.В. Новый бессеточный автотрассировщик для P-CAD 2000 / Ю.В. Поляков // EDA Express. – 2000. – № 2. – С. 2 – 7.
6. Гончаренко, И.В. Компьютерное моделирование антенн. Всё о программе MMANA / И.В. Гончаренко // Радио. – М. : ИП Радиософт, 2002. – 98 с.
7. Гончаренко, И.В. Антенны КВ и УКВ. Ч. I. Компьютерное моделирование. MMANA / И.В. Гончаренко // Радио. – М. : ИП Радиософт, 2004. – 128 с.
8. Гончаренко, И.В. Антенны КВ и УКВ. Ч. II. Антенны. Основы и практика / И.В. Гончаренко // Радио. – М. : ИП Радиософт, 2004. – 288 с.
9. Гончаренко, И.В. Антенны КВ и УКВ. Ч. III. Простые КВ антенны./ И.В. Гончаренко // Радио. – М. : ИП Радиософт, 2005. – 288 с.
10. Гончаренко, И.В. Антенны КВ и УКВ. Ч. IV. Направленные КВ антенны. Синфазные и продольного излучения / И.В. Гончаренко // Радио. – М. : ИП Радиософт, 2007. – 256 с.
11. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры / под ред. В.А. Шахнова. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
12. Информационные технологии в проектировании РЭС / В.М. Бальбин, Ю.Л. Муромцев, Д.Ю. Муромцев, Л.П. Орлова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 80 с.
13. Малков, Н.А. Конструирование функционального узла на печатном монтаже : метод. указания / Н.А. Малков, Ю.Л. Муромцев. – Тамбов : ТГТУ, 1998. – 36 с.
14. Выполнение электрических схем по ЕСКД / С.Т. Усатенко и др. – М. : Изд-во стандартов, 1989.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
<i>Лабораторная работа 1.</i> Создание и пополнение баз данных (библиотек) компонентов РЭС.....	4
<i>Лабораторная работа 2.</i> Создание функциональных и электриче- ских принципиальных схем.....	18
<i>Лабораторная работа 3.</i> Проектирование печатных плат.....	24
<i>Лабораторная работа 4.</i> Моделирование электронных схем.....	32
<i>Лабораторная работа 5.</i> Моделирование антенн.....	35
Приложение.....	42
Список рекомендуемой литературы.....	46

Учебное издание

**Кольтюков Николай Александрович**

**ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И МОДЕЛИРОВАНИЯ РЭС**

Лабораторные работы

Редактор З.Г. Чернова

Инженер по компьютерному макетированию М.С. Анурьева

Подписано в печать 16.03.2010

Формат 60×84 /16. 2,79 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 152.

Издательско-полиграфический центр

Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14