

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курса лабораторных работ
по дисциплине

«Автоматизация схемотехнического проектирования»
«Автоматизация проектирования измерительных приборов»

для студентов направлений подготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи», специальности: 05080202 «Електронні системи», 6.051003 «Приладобудування», специальности: 05100304 «Прилади і системи екологічного моніторингу»

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры ЭТ,
протокол №6 от 26 января 2011г.

УТВЕРЖДЕНО
на заседании Учебно-издательского
Совета ДонНТУ
протокол № 3от 05.05.2001

Методические указания к выполнению курса лабораторных работ по дисциплине «Автоматизация схмотехнического проектирования» для студентов специальности 05080202 «Електронні системи». направления подготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи», 6.051003 «Приладобудування», специальности: 05100304 «Прилади і системи екологічного моніторингу» /А.А. Штепа, А.Е.Кочин. – ДонНТУ, Донецк, 2011. – 90 с.

В настоящих методических указаниях изложена методика выполнения лабораторных работ по дисциплине «Автоматизация схмотехнического проектирования» для студентов специальности 05080202 «Електронні системи». направления подготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи». Курс лабораторных работ выполняется на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ P–CAD.

Составители: Ассистент А.А. Штепа
 Доц., к.т.н. А.Е.Кочин

Рецензент:

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СТРУКТУРА СИСТЕМЫ P-CAD И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ.....	5
2 СОЗДАНИЕ УГО КОМПОНЕНТОВ	11
3 СОЗДАНИЕ ПОСАДОЧНОГО МЕСТА КОМПОНЕНТА.....	21
4 СОЗДАНИЕ ПОЛНОЦЕННОГО КОМПОНЕНТА.....	30
5 СОЗДАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ	48
6 РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ	61
7 АВТОМАТИЧЕСКАЯ ТРАССИРОВКА СОЕДИНЕНИЙ.....	83
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	90

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время задачи проектирования с успехом решаются на персональных компьютерах с применением специализированных прикладных программ. Такой программой является P – CAD. Программа 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.

Система проектирования радиоэлектронной аппаратуры P-CAD, разработанная первоначально фирмой ALTIUM (An IBM Company), на сегодняшний день является одной из самых мощных, полных и последовательных систем автоматизированного проектирования для персональных компьютеров. Изначально P-CAD представлял собой пакет специализированных модулей, тесно связанных друг с другом и охватывающих все этапы разработки и изготовления печатных плат. Начиная с версии P-CAD 2001, в состав пакета включен модуль схемотехнического моделирования электронных устройств, позволяющий проектировать аналоговые, логические и смешанные, аналого-цифровые устройства.

Программные средства системы позволяют автоматизировать весь процесс проектирования электронных средств, начиная с ввода принципиальной схемы (ПС), ее моделирования, упаковки схемы на ПП, интерактивного размещения радиоэлектронных компонентов (РЭК) на ПП и автотрассировки соединений, вплоть до получения конструкторской документации и подготовки информации для производства плат на технологическом оборудовании.

Данный курс лабораторных работ необходимо рассматривать как набор последовательных этапов, конечной целью которых являются разработка печатной платы проектируемой системы, а также оформление полноценного комплекта конструкторской документации, т.е. создание собственной библиотеки компонентов, разработка принципиальной схемы, получить для неё однослойную или многослойную печатную плату, а также оформить технологическую документацию для её изготовления.

Лабораторная работа № 1

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ P-CAD И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Цель работы: ознакомиться со структурой компонентов пакета прикладных программ P-CAD, графическим интерфейсом пользователя, его общими инструментами.

1.1 Структура системы P-CAD

Система **P-CAD** предназначена для проектирования многослойных ПП аналоговых, цифровых и аналого-цифровых устройств. Она состоит из четырех основных модулей и ряда вспомогательных программ (рис. 1.1).

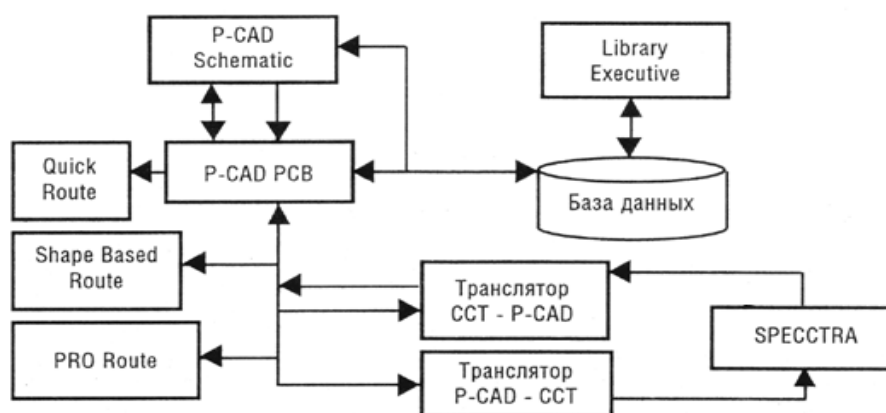


Рисунок 1.1 – Структура системы проектирования P-CAD

Редактор схем – Schematic. Графический редактор для ввода принципиальных схем изделий. Легко позволяет создавать сложные многолистовые схемы, в том числе с иерархической структурой. Обладает средствами проверки схем. Позволяет создавать и помещать в библиотеки символы новых компонентов и редактировать существующие.

Редактор печатных плат – PCB. Графический редактор для работы с односторонними, двухсторонними и многослойными печатными платами. Позволяет в ручном режиме создавать контур печатной платы, проводить размещение компонентов. В ручном и интерактивном режимах может быть осуществлена трассировка и редактирование проводников.

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. Модуль **Library Executive** имеет средства просмотра библиотечных файлов, поиска компонентов, символов и корпусов компонентов по всем возможным атрибутам.

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.

1.2 Интерфейс пользователя

Графические редакторы P-CAD имеют похожие интерфейсы и системы меню команд, общие сведения о которых излагаются ниже.

На рис. 1.2 представлен экран графического редактора **P-CAD Schematic**.

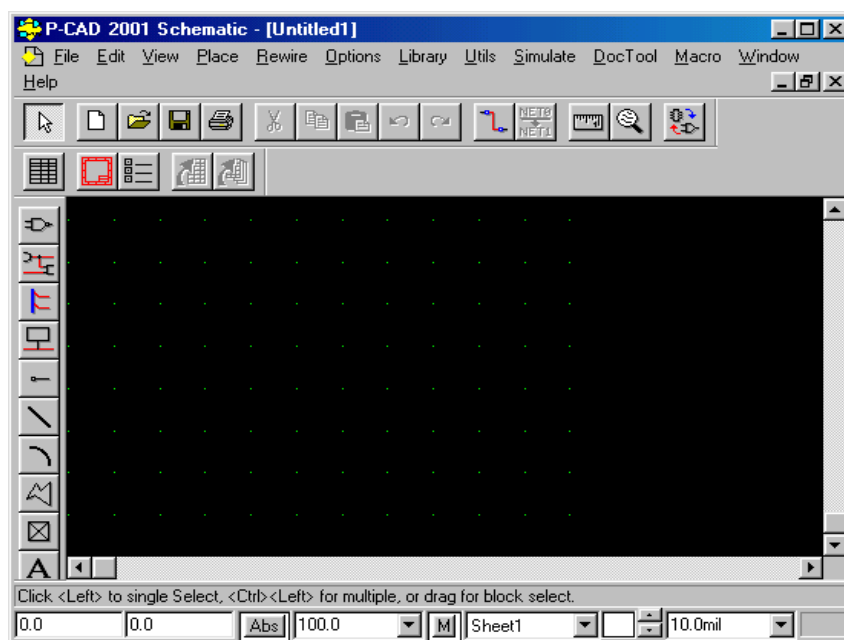


Рисунок 1.2 – Рабочий экран P-CAD Schematic

Горизонтальная панель инструментов содержит пиктограммы системных команд, а вертикальная панель - команды размещения объектов на рабочем поле экрана.

В поле рабочего окна располагают символы принципиальных схем и собственно схемы, составленные из символов, электрических соединений, шин и т. п.

Вторая строка снизу на экране – строка сообщений.

Самая нижняя строка – строка состояний. Значения полей строки состояния перечисляются ниже.

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

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

Кнопки переключения типа сетки ABS и Rel. Абсолютная сетка **ABS** имеет начало координат в нижнем левом углу рабочей области экрана. Относительная сетка **Rel** имеет начало координат в точке, указанной пользователем. Сетка **Rel** включается в том случае, если в окне команды **Options/Grids** активен режим **Prompt for Origin**. Значение **шага сетки** устанавливается при нажатии на кнопку *выбора* (стрелка), находящуюся справа от поля шага сетки. А набор шагов сеток устанавливается в поле **Grid Spacing** после выполнения команды **Options/Grids**.

При активизации **кнопки записи макрокоманд M** (или клавиши M) начинается запись во временный файл всех выполняемых команд. Повторное нажатие кнопки M (или клавиши M) прекращает запись файла с именем **_default.mac**. Этот файл доступен только в течение *текущего сеанса*.

Поля **текущего имени схемы** и кнопка выбора **имени листа** отражают установки, проведенные по команде **Options/Sheets** в закладке **Sheets**. Все листы схемы одного проекта содержатся в одном файле с расширением .sch. Добавление листов в проект осуществляется командой **Options/Sheets/Sheets/Add**.

Поля **ширина линии** и **выбор ширины линии** дублируют команду **Options/CurrentLine**. Для добавления в список новой толщины линии необходимо щелкнуть по кнопке **Line Width** и ввести новое значение толщины

линии. *Тип линии* устанавливается командой **Options/ Current Line** в области **Style** диалогового окна.

В строке сообщений (справа от кнопки выбора ширины линий) отображается следующая *текущая* информация:

- ✓ тип, позиционное обозначение или общее количество выбранных объектов;
- ✓ значения приращений по осям X и Y при перемещении выбранных объектов;
- ✓ имя выбранной цепи;
- ✓ расстояние между выбранными точками и их проекции на оси X и Y при выполнении команды Edit/Measure.

1.3 Выбор, размещение и редактирование объектов

Режим выбор объектов активизируется при нажатии клавиши **S** или щелчком мыши по пиктограмме **Select**. Объект выбирается щелчком мыши, при этом имя выбранного объекта и его данные выводятся в строку информации. Если один объект закрывает другой, то выбор невидимого объекта осуществляется повторным щелчком мыши или повторным нажатием на клавишу <Пробел> (при этом курсор должен находиться на выделенном объекте). Для добавления выбранных объектов *к уже выделенным* перед щелчком мыши нажимается и удерживается клавиша **Ctrl**. Щелчком мыши в свободной части рабочего окна выбор объектов отменяется.

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

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

После выбора объекты можно вращать (**R**), отображать зеркально (**F**), выравнивать (**Align**) по горизонтали и вертикали, копировать в буфер обмена (**Copy**) или в файл (**Copy to File**), вставлять из буфера или передвигать в нужное место рабочего поля.

В **P-CAD** можно выбрать отдельный элемент сложного компонента, пример вывод символа, схемное имя или номер контакта компонента. Для этого перед щелчком мыши необходимо нажать и удерживать клавишу Shift.

Размещение объектов в рабочем окне производится с помощью команд меню **Place**. Эти команды дублируются соответствующими пиктограммами на панели инструментов **Placement Toolbar**.

Команда **View/Snap to Grid** перемещает курсор только по узлам координатной сетки экрана. Это позволяет точно позиционировать точки привязки объектов.

При *размещении* (или рисовании) объекта вначале щелчком мыши выбирается соответствующая пиктограмма, а затем курсором указывается местоположение объекта (или начальная точка рисования объекта). Перед размещением некоторых объектов возможна операция ввода дополнительной информации (появляется соответствующее диалоговое окно). Точка *привязки* объекта устанавливается в узле сетки рабочего окна. Объекты в процессе размещения можно *перемещать*. Для этого, после указания начальной точки размещения (не отпуская кнопку мыши), необходимо протащить контур объекта в нужную позицию экрана и отпустить кнопку мыши.

Нажатие клавиши **B** в процессе размещения позволяет некоторые объекты развернуть против часовой стрелки на угол, кратный 90° .

Нажатие клавиши **F** в процессе размещения позволяет некоторые объекты *отобразить зеркально относительно оси Y*. Например, для редактора **P-CAD PCB** эта операция эквивалентна переносу компонента на противоположную сторону платы.

1.4 Контрольные вопросы

- Назовите основные программы, входящие в состав системы P-CAD и их назначение.
- В каких единицах измерения может отображаться текущие координаты графического элемента в редакторах P-CAD?
- Чем отличаются режимы абсолютной (**ABS**) и относительной (**Rel**) сетки координат в графических интерфейсах?
- Каким образом можно повернуть (отобразить) графический объект в рабочем поле графических редакторов?

Лабораторная работа № 2

СОЗДАНИЕ УСЛОВНО ГРАФИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ

Цель работы: создать УГО (символ) компонента для принципиальных схем, записать его в собственную библиотеку компонентов, изучить возможности помощника (wizard) создания символов компонентов.

Создание и ведение библиотек радиоэлементов является очень важным этапом внедрения системы P-CAD. От их качества напрямую зависят не только удобство работы с системой, но и ее эффективность. Работе с библиотеками следует уделять особое внимание. Не случайно в системе P-CAD для работы с библиотеками создан набор специальных инструментов, обладающих специфическими свойствами

2.1 Понятие символа в P-CAD, его основные атрибуты

В системе P-CAD библиотеки компонентов являются интегрированными, т.е. в одной библиотеке содержится условное графическое изображение (УГО), которое помещается на схему (символ), графика корпуса, которая помещается на печатную плату и текстовое описание упаковки символа (или набора символов) в корпус. Следует отметить, что не все библиотечные компоненты имеют все три составляющие, например, символ «земли» не имеет корпуса, поскольку используется только в электрической схеме. Создание компонента удобно разделить на три стадии, для которых используются разные инструменты:

- ✓ создание УГО (символа) для электрической схемы;
- ✓ создание графики посадочного места и корпуса;
- ✓ упаковка компонента в корпус и размещение его в библиотеке.

При создании компонентов введены следующие обозначения:

- ✓ **Pad Numbers** – номер вывода (контактной площадки) компонента;
- ✓ **Pin Designator** – позиционное обозначение вывода компонента;
- ✓ **Symbol Pin Numbers** - номер вывода в секции компонента;
- ✓ **Pin Names** – имя вывода в секции компонента.

Отметим, что в систему P-CAD включены несколько десятков интегрированных библиотек компонентов (увы, не отвечающих требованиям на-

ших ГОСТов), компоненты которых в принципе можно отредактировать до параметров, нужных для текущего проекта.

Для создания символа и корпуса можно использовать редактор схем и редактор печатных плат, однако более удобно использовать специализированные редактор символов (**Symbol Editor**) и редактор корпусов (**Pattern Editor**).

Для создания собственно компонента и ведения библиотек используют диспетчер библиотек (**Library Executive**).

2.2 Создание символов компонента для схем электрических принципиальных

Для создания символьных образов компонентов и правил занесения их в личную библиотеку 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**.

На рис. 2.1 представлен экранный интерфейс указанного редактора, основные элементы которого описаны выше. 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.

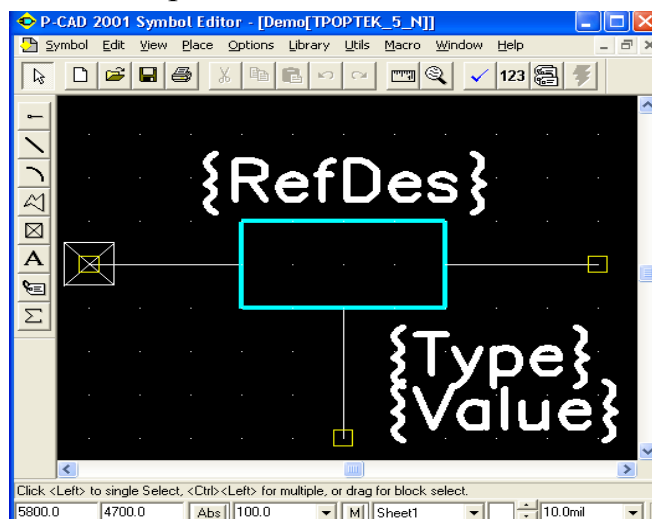


Рисунок 2.1 – Экран редактора P-CAD Symbol Editor

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.

1. *Настройка конфигурации графического редактора.* Выполнить команду **Options/Configure**. Установить систему единиц – **мм**, размер форматки - **A4**. Нажать кнопку **ОК**. Размер рабочего поля составит примерно 280x210 мм.

Выполнить команду **Options/Grids**. Появится диалоговое окно (рис. 2.2) для определения списка нужных сеток. Для установки сетки с нужным шагом надо в поле **Grid Spacing** ввести числовое значение шага (рекомендуется 0.1, 0.5, 1, 2.5 и 5 мм) и нажать кнопку **Add**, а затем кнопку **ОК**. Переключение шагов сетки в дальнейшем можно производить непосредственно в окне строки состояний экрана.

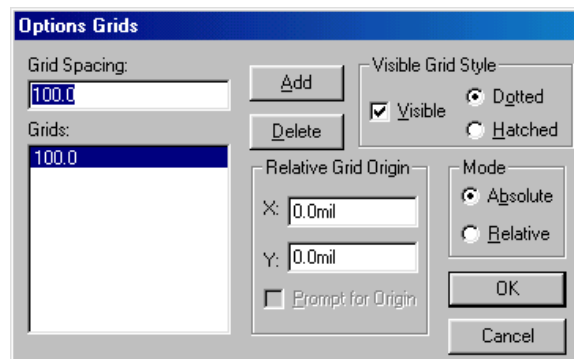


Рисунок 2.2 – Список установленных сеток экрана

В области **Width** (ширина) установить **Thin** (тонкая линия – толщиной **0.254** мм - по умолчанию), в области **Style** установить **Solid** (сплошная линия) и нажать кнопку **ОК**. Пользователь может установить нестандартную толщину линии после активизации флажка **User** и ввода в окно нужного значения толщины линии. Переключение на нужную толщину линии можно производить в процессе рисования установкой соответствующих значений толщины линии в окне строки состояний.

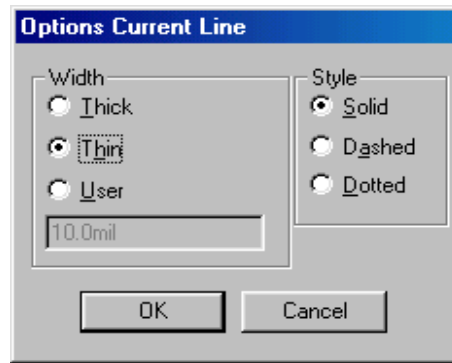


Рисунок 2.3 – Установка толщины и стиля линий рисования

2. 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 последующем перемещении 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 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 щелкнуть мышью. Дуга рисуется окончательно. *Для редактирования дуги* ее нужно выделить, и, перетаскивая появившиеся на дуге метки, можно придать дуге нужную форму и размеры.

После выделения дуги можно использовать клавишу R для поворота на 90° (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 щелкнуть в точке центра окружности.

3. Создание символов компонентов

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

Приведем последовательность операций для создания-образа символа на примере вентиля (секции) для микросхемы К155ЛА3.

Условимся, что шаг между выводами символа кратен 5 мм.

Установите шаг сетки 2,5 мм и нарисуйте прямоугольник размером 7,5x10 мм.

Создаем выводы символа. Выбрать команду Place/Pin и щелкнуть левой кнопкой мыши. В появившемся диалоговом окне (рис. 2.4) в поле Length (длина) установить флажок Normal (нормальная длина контакта).

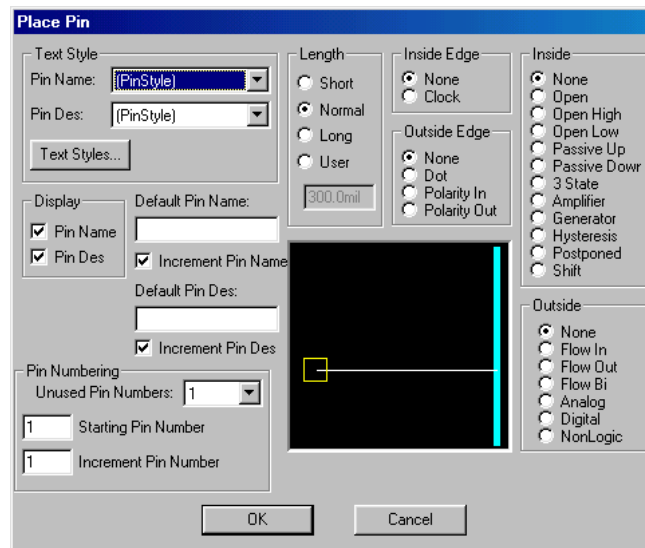


Рисунок 2.4– Диалоговое окно для создания контактов символа

В поле **Outside Edge** (выходной контакт) выбрать значение **Dot** (кружок инверсии). В окне **Default Pin Des** (позиционное обозначение первого вывода) проставить *единицу*. В поле **Display** включить флажки **Pin Des** (позиционное обозначение контакта на схеме) и **Pin Name** (имя контакта). Включить флажок **Increment Pin Des** (приращение номера очередного размещаемого контакта на *единицу*). В поле **Text Style** в строках **Pin Name** и **Pin Des** выбрать стиль текста DefaultTTF. Нажать **ОК**.

Переместить курсор в ту точку (в нашем случае отступить сверху от правого верхнего угла прямоугольника на 5 мм) графического изображения символа, где будет размещен выход секции, нажать левую кнопку мыши (появится изображение контакта с инверсным выходом) и, не отпуская кнопку мыши, нажать два раза клавишу R для разворота контакта в нужное поло-

жение, а затем отпустить кнопку мыши. Контакт установлен. Нажать правую кнопку мыши или клавишу **Esc**.

Нажать кнопку левую кнопку мыши для ввода входных контактов. В открывшемся диалоговом окне в поле **Outside Edge** выбрать **None** (убрать кружок инверсии) и в окне **Default Pin Des** проставить цифру 2 (позиционный номер следующего вывода символа). Нажать кнопку **OK**.

Для построения первого входного контакта установить курсор в точку с координатами, определяющими пропорции изображения символа (в нашем случае отступить сверху от левого верхнего угла прямоугольника на 2,5 мм), нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, дважды нажать клавишу R (для разворота изображения вывода на 180°), а затем отпустить кнопку мыши.

Для построения второго входного контакта установить курсор в нужную точку (на 5 мм ниже линии первого контакта) и щелкнуть левой кнопкой мыши.

В результате появится изображение символа компонента с нумерованными двумя входными и одним инверсным выходным контактами.

Для ввода текста выполнить команду **Place/Text**, затем установить курсор внутрь контура изображения символа и щелкнуть мышью. В поле **Text** открывшегося диалогового окна набрать символ &, установить выравнивание текста (**Justification**) по центру как по вертикали, так и по горизонтали. В списке стилей текста (Style) выбрать стиль **DefaultTTF**. Нажать кнопку **Place**. 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.

При необходимости для перенумерации контактов выполняется команда **Utils/Renumber**.

В области окна Type установить режим **Pin Number**.

Выполните команду **Place/Ref Point** для задания точки привязки символа. Переместите курсор в точку первого контакта символа и щелкните мышью. В результате сверху изображения первого контакта появится светлый прямоугольник с диагоналями.

Выполните команду **Place/Attribute** для задания атрибутов символа: места для размещения позиционного обозначения элемента на схеме и надписи типа элемента. Для этого щелкните мышью и в появившемся диалоговом окне (рис. 2.5) в области категорий атрибута (**Attribute Category**) укажи-

те назначение атрибута для элемента (**Component**). В области имен атрибутов (Name) выбрать имя атрибута позиционного обозначения (**Refdes**). В списке **Text Style** установить стиль текста **Default TTF**. В области выравнивания текста (**Justification**) установить выравнивание текста по вертикали – вниз, а по горизонтали – центр. Нажать кнопку **ОК**. Установить курсор сверху изображения символа и щелкнуть мышью. После выделения позиционного обозначения символа его можно перетащить надпись в нужное место рисунка.

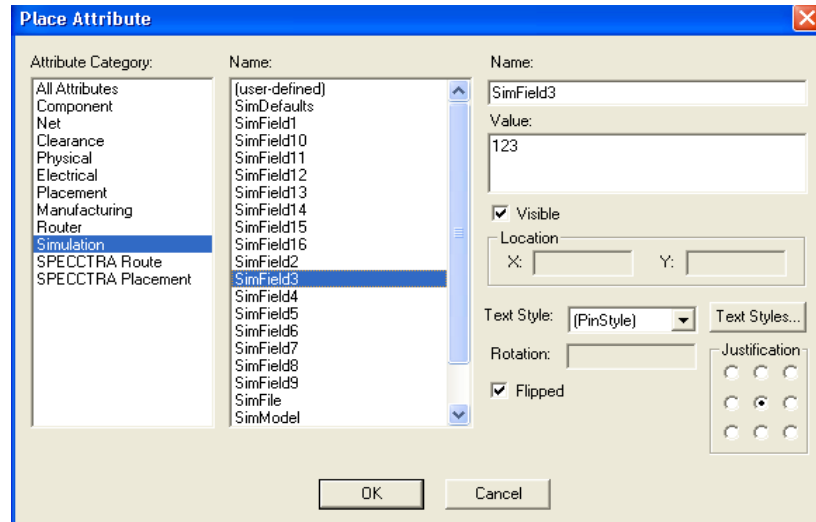


Рисунок 2.5 – Окно установки атрибутов символа

Повторите предыдущую операцию для вывода имени компонента (Type) в соответствующем месте рисунка символа.

Результат создания символа компонента представлен на рис. 2.8.

Имя контакта выводится на экран после выделения контакта, выбора в контекстном меню строки **Properties**, активизации флажка **Pin Name**, простановке в окне **Default Pin Name** имени контакта и нажатии на кнопку **ОК**.

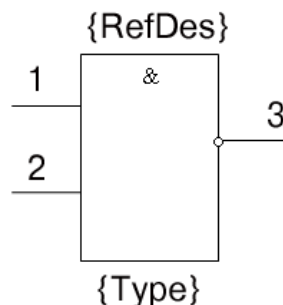



Рисунок 2.6 – Ссекция символа библиотечного элемента К155ЛА3

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

2.3 Запись созданного элемента в библиотеку

 **Внимание!** При работе в системе P-CAD старайтесь максимально использовать латиницу в названиях каталогов, проектов, атрибутов, и т.д.

А) Запись символа в имеющуюся библиотеку. Вызвать команду **Symbol/Save As**. Откроется диалоговое окно **Symbol Save To Library**.

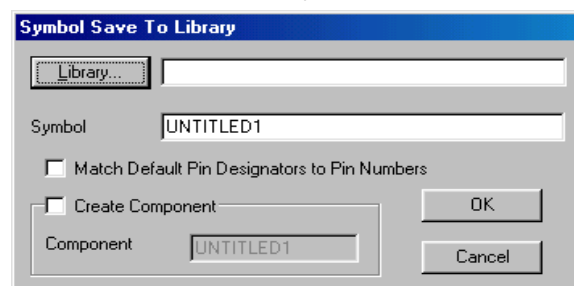


Рисунок 2.7 – Подсоединенная к проекту библиотека

В поле **Library** выбрать имя нужной библиотеки. Включить метку занесения информации в библиотеку как отдельного элемента – **Create Component**. В окне **Symbol** набрать имя символа **K155ЛА3_Symb**, в окне **Component** - имя компонента **K155ЛА3** и нажать кнопку **OK**. В появившемся диалоговом окне **Save Component As** в области **Component Type** установить флажок **Normal** и нажать **OK**.

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

Если выполнить команду **Save To File**, то можно сохранить файл со старым именем, не включая его в библиотеку (расширение файла .sym).

Б) Запись символа в новую библиотеку. 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**.

Для записи символа в созданную библиотеку повторить действия пункта А.

2.4 Создание символа компонента с помощью команды Symbol/Symbol Wizard

Символ компонента можно создать и с помощью команды **Symbol/Symbol Wizard** или после нажатия кнопки на панели инструментов. Вид экрана этой команды изображен на рис. 2.8.

В диалоговом окне должна быть указана следующая информация:

✓ в окне **Symbol Width** - указывается ширина символа (Внимание! Для совпадения узлов выбранной сетки с точками выводов контактов выбирайте эту величину кратной параметру **Pin Spacing**);

✓ в окне **Pin Spacing** - расстояние между смежными выводами по вертикали;

✓ в области **Length** - длина вывода, в том числе и устанавливаемая пользователем (User), например 5 мм;

✓ в окнах **Number Pins Left/Right** — определяется количество выводов на левой/правой стороне символа;

✓ флажок **Symbol Outline** - разрешает отображать контур символа на экране;

✓ в окне **Line Width** — устанавливается ширина линии контура символа;

✓ в области **Display** флажки в окнах **Pin Name/Pin Des** — разрешают изображать на чертеже символа имена/номера выводов;

✓ в окнах **Default Pin Name/Default Pin Designator** - устанавливаются имя/номер вывода;

✓ в окне **Current Pin Number** — проставляется номер текущего вывода (система по умолчанию нумерует контакты слева сверху -вниз — направо - вверх).

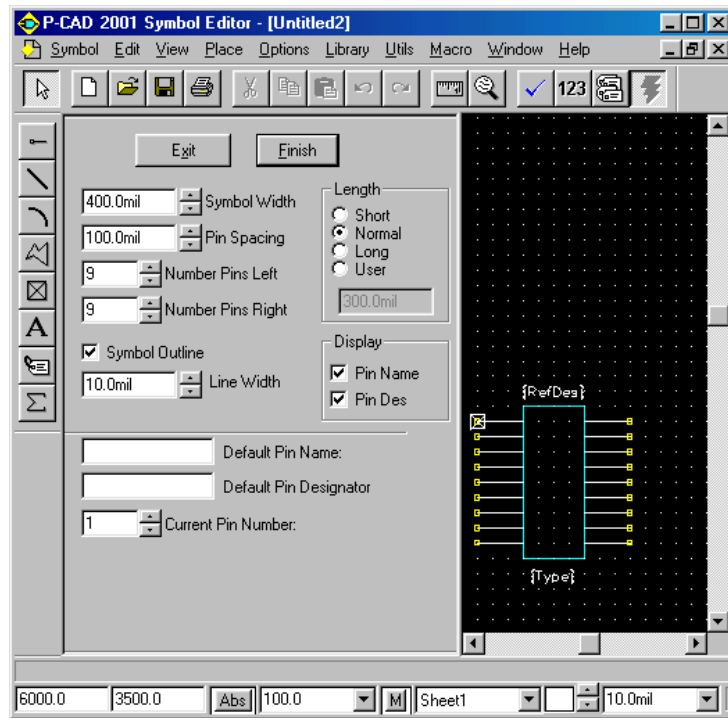


Рисунок 2.8 – Экран команды **Symbol/Symbol Wizard**

При кодировании первого контакта проставьте в окне **Current Pin Number** текущий номер - единицу (может не совпадать с позиционным номером!), в окне **Default Pin Name** укажите имя контакта, а позиционный номер контакта укажите в окне **Default Pin Designator**.

При кодировании остальных контактов соблюдается такая же последовательность ввода данных.

После ввода данных для каждого контакта нажимайте клавишу **Enter**.

После ввода всех необходимых параметров нажмите кнопку **Finish**, и изображение символа будет перенесено на основной экран редактора **Symbol Editor** для выполнения дальнейших шагов по редактированию символа (добавлению линий графики, вводу текста, перенумерации выводов и т. п.) и проверки введенных данных (**Validate Symbol** — операция обязательна!).

По окончании работы символ записывается в библиотеку (команда **Symbol/Save As**) или в отдельный файл с расширением **.sym** (команда **Symbol/Save To File**).

2.5 Пример. Создание символа (УГО) резистора.

Символ элементов создается в модуле P-CAD Schematic Editor. Рассмотрим порядок создания на примере символа резистора с мощностью рассеяния 0.125 Вт:

1. Загрузите в схемный редактор заранее созданный файл-шаблон с необходимыми настройками [2].

2. Активизируйте команду **Options|Grids** (Параметры|Сетки) и в окне Options Grids (Параметры сеток) в группе Mode (Режим) переключить с абсолютной сетки на относительную (Relative). Также установите флажок Prompt for Origin (Указать начало координат) (рис. 2.16).

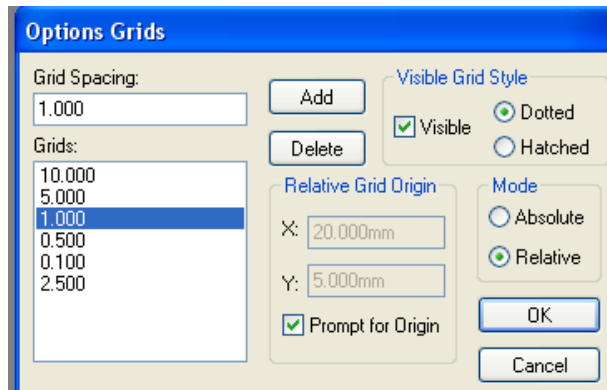



Рисунок 2.16 – Изменения в настройках сеток

3. Шаг сетки установите равным 0.100 mm.

4. Закройте окно Options Grids и, переместив курсор  в середину рабочего поля, щелкните левой кнопкой мыши (здесь будет начало координат относительной сетки). Координаты текущей точки можно увидеть в нижнем левом углу экрана (x,y).

5. Установите флажок **View|Snap To Grid** (Просмотр|Привязка к сетке), включив привязку курсора к узлам сетки.

6. Используя клавишу <J>, перейдите в окно задания координат и установите курсор в точку с координатами (0,0). Переход от координаты x к координате y выполняется кнопкой Tab. После задания координат – Enter.

7. С помощью клавиш <+> и <-> установим масштаб изображения, чтобы видна была первая (мелкая) сетка, расстояние между узлами которой равно 0.100 мм. При достаточной степени приближения курсор будет перемещаться скачками между узлами сетки.

8. В меню Place (Разместить) выберите команду Line (Линия) и установите толщину линии – Thin (Тонкая). Режим рисования линий ортогональный (Ortho=90) установите клавишей <O>.

9. Нарисуйте прямоугольник размером 10x4 мм с вертикально расположенной большой стороной, у которого левый нижний угол находится в точке с координатами (0,0).

10. Используя клавишу <G>, установите шаг сетки 0.1 или 0.5 мм. С помощью клавиши <O> установите режим рисования линий под углом (Any) и нарисуйте в прямоугольнике наклонные линии, как на рис. 2.17.

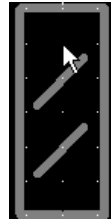


Рисунок 2.17 – УГО резистора

11. Установите шаг сетки 0.500 мм, в меню выберите команду Place|Pin (Расположить|Вывод). В появившемся окне Place Pin в группе Length (Длина) установите флажок User (Пользовательский) и задайте длину вывода 5.000 мм, как показано на рис 2.18

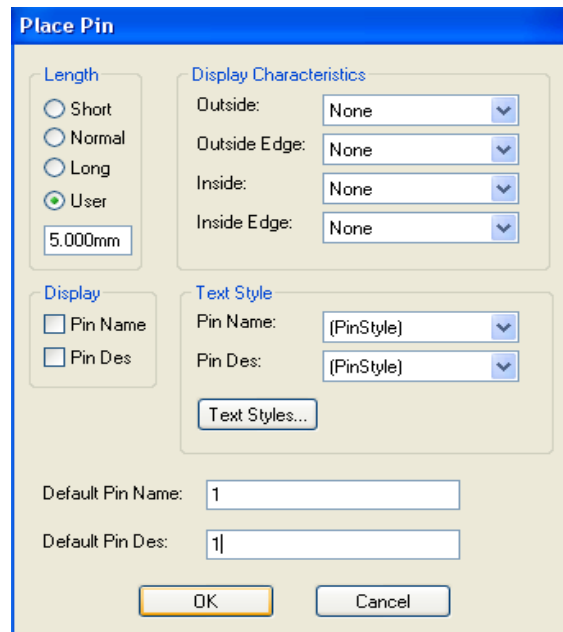



Рисунок 2.18 – Установка параметров вывода

12. В рамке Display (Показывать) сбросьте оба флажка, поскольку ни имя вывода (Pin Name), ни его указатель (Pin Des) в УГО резистора не отображаются.

13. В полях ввода Default Pin Name (Имя вывода по умолчанию) и Default Pin Des (Указатель вывода по умолчанию) поставьте по единице и нажмите ОК.

14. Нажмите левой кнопкой мыши на рабочей области, выделите появившийся вывод, нажав клавишу на боковой панели .

15. Нажимая клавишу <R> и перемещая, добейтесь вертикального расположения вывода, чтобы место подключения проводников (маленький квадрат) было наверху, а курсор внизу, как показано на рис. 2.19.

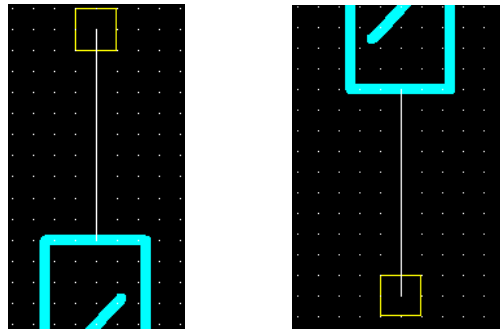


Рисунок 2.19 – Верхний нижний выводы резистора

16. Совместив курсор со средней точкой верхней стороны, отпустите левую кнопку мыши.

17. Еще раз выполните команду Place|Pin, заменив в полях ввода единицу двойкой, нажмите ОК. Разместите второй вывод в середине нижней стороны прямоугольника, повернув его так, как показано на рис. 2.19.

18. Для присвоения номера выводам резистора необходимо выделить верхний вывод и нажать на нем правой кнопкой мыши, в появившемся меню выбрать Properties... (Свойства). В поле Pin Number (Номер вывода) введите единицу. Ту же операцию проделайте с нижним выводом, введя в поле Pin Number двойку.

19. Разместим атрибуты компонента: нажмите Place|Attribute (Разместить|Атрибут), в окне Place Attribute в списке Attribute Category (Категория атрибута) выберите категорию Component (Компонент). В поле Name (Имя) выбираем RefDes, в списке стилей текста (Text Style) выбираем созданный ранее стиль Текст 3_5_курсив, нажимаем ОК.левой кнопкой мыши нажимаем на рабочую область. Таким образом, добавим атрибуты Type и Value.

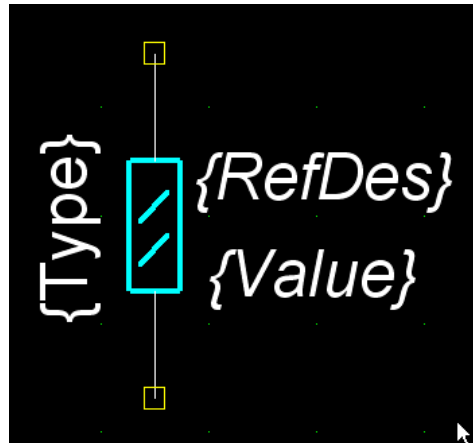



Рисунок 2.20 – Атрибуты компонента

20. В заключение необходимо поместить точку привязки. Активизируйте в меню команду Place|Ref Point (Разместить|Точка привязки) или . Щелкните левой кнопкой мыши по окончанию верхнего вывода. Здесь появится большой квадрат – точка привязки (Рис. 2.21).

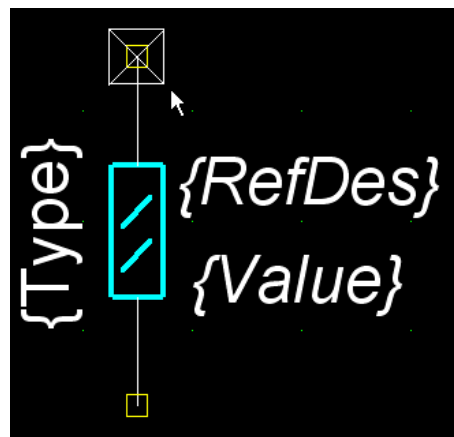



Рисунок 2.21 – Точка привязки

21. Поместим символ в библиотеку: нажмем кнопку , в меню выберите команду Edit|Select All (Редактирование|Выбрать все), активизируйте в меню команду Library|Symbol Save As (Библиотека|Сохранить символ как), в окне Symbol Save As (Сохранить символ как) в поле ввода Symbol (Символ) наберите R, в группе Display (Отображение) сбросьте флажок Type (Тип), запрещая тем самым отображение этого атрибута на схеме. Установите флажок Create Component (Создать компонент), разрешающий одновременно с помещением символа создание в библиотеке компонента, использующего этот символ. Компонент в дальнейшем будет включать в себя созданный нами символ (Symbol) и корпус (Pattern). Установим флажок Match Default Pin De-

signators to Pin Numbers (позволяет согласовать номера выводов и позиционные обозначения выводов по умолчанию). В списке Library, для размещения символа, выберем нашу библиотеку(ее можно установить в Library|Setup). Нажмем ОК. В следующем окне выберем Normal и ОК (рис.2.22).

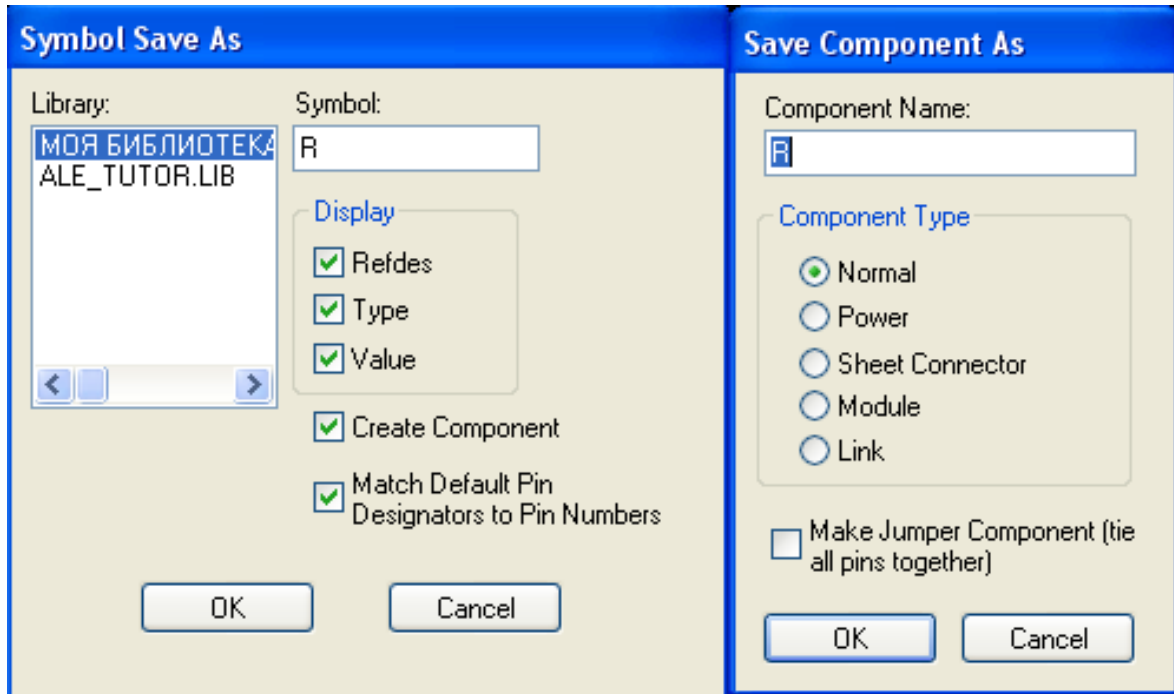


Рисунок 2.22 – Сохранение символа

Для создания L и C см. P-CAD 2004/Александр Лопаткин – С.-П.,2006 – с. 80-83 [2].

2.6 Контрольные вопросы

- Что представляет собой УГО (символ) в P-CAD, каковы его основные элементы?
- Какие параметры среды следует настроить, перед тем как приступить к разработке символа компонента?
- Какой программой из состава P-CAD производится разработка символа компонента?
- Назовите основные параметры контактной электрического вывода (pin) символа.
- Какие атрибуты УГО (символа) должны быть обязательно указаны, чтобы появилась возможность сохранить его в библиотеке?

Лабораторная работа № 3

СОЗДАНИЕ ПОСАДОЧНОГО МЕСТА КОМПОНЕНТА

Цель работы: создать чертеж посадочного места компонента (pattern), сохранить его в библиотеке

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 ее конфигурацию.

Командой **Options/Configure** установите метрическую систему измерения и требуемый размер рабочей области **Workspace Size** (ширину — **Width** и высоту - **Height**, например 80x80 мм).

Командой **Options/Grids** установите шаги сетки, равные 1,25 и 2,5 мм. Прикрепите курсор мыши к узлам сетки командой **View/Snap to Grid**.

Установите курсор в точку с координатами (25, 25) и нажмите клавишу «серый плюс» для увеличения области рисования.

Командой **Options/Current Line** установите толщину линии, равную **0,2 мм**.

Командой **Library /New** подключите ранее созданную *библиотеку* или создайте новую библиотеку.

3.1 Стеки контактных площадок (Pad Stacks) и переходных отверстий (Via Stacks).

Данные в текущем параграфе формируются для последующего «обустройства» выводов компонентов. Контактные площадки для выводов компонентов и переходных отверстий могут иметь различные формы и размеры. Поэтому для элементной базы, применяемой в разработках, пользователь и создает собственные библиотеки стеков контактных площадок и переходных отверстий, которые сохраняются в *файле технологических параметров проекта* **Design Technology Parameters** (расширение **.dtp**).

Для создания файла технологических параметров в редакторе **P-CAD Pattern Editor** проделайте следующие операции:

- выполните команду **Pattern/Design Technology Parameters**, в окне *Имя файла* введите имя файла (например **Мурго**), нажмите кнопку **От-**

крыть, а затем подтвердите открытие нового (пока пустого) файла технологических параметров;

- уберите флажок **Read-only file**, щелкните кнопку **New Group** и введите имя вашего проекта и нажмите **ОК**;
- выделите имя проекта и для создания секций файла технологических параметров нажмите кнопку **New Section** (тип редактируемой группы параметров). Появится окно, изображенное на рис. 2.9. Установите флажки **Pad Styles** и **Via Styles** и нажмите **ОК**;

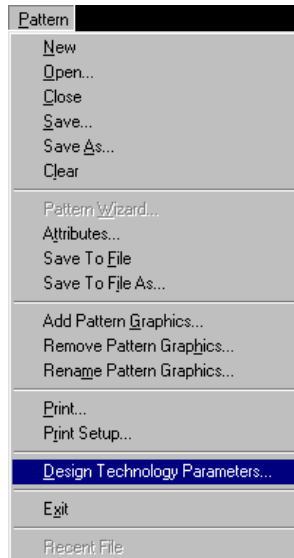


Рисунок 2.9 – Окно **Design Tehnology Parameters...**

✓ выделите строчку **Pad Styles**, нажмите кнопку **New Item** (новый тип контактной площадки), введите имя создаваемой контактной площадки (вводимое имя должно отражать некоторые параметры создаваемого стека, например имя **smd2108** показывает, что площадка планар-ная размером **2,1 мм X 0,8 мм**, а имя **dip17** означает, что площадка сквозная и ее внешний диаметр равен **1,7 мм**) и нажмите **ОК**;

✓ повторите операцию задания имени контактными площадкам столько раз, сколько разновидностей площадок имеется в вашем проекте (при необходимости площадки можно удалить или переименовать). Заметим, что геометрические формы и размеры контактных площадок для отверстий в ПП определяются конструкторско-технологической документацией, действующей на предприятии.

При включенном флажке **Read-only file** окна **Design Tehnology Parameters** редактировать данные нельзя.

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 ПП и номер апертуры фотоплоттера.

Стеки для *штыревых выводов* (DIP-корпусы) компонентов, которые имеют одинаковую форму контактных площадок на всех слоях ПП, и стеки для компонентов с *планарными выводами* (SMD-корпусы), имеющие контактные площадки на одном слое ПП, образуют *простые стеки*. Компоненты с планарными выводами размещаются на слоях **Top** или **Bottom** (на этих же слоях задается и графика корпусов этих компонентов). *Сложные стеки* на различных слоях ПП 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 строку Default*, нажмите кнопку **Copy** и в окне **Pad Name** введите имя нового стека контактной площадки (например, **dip17**) и нажмите **OK**. В области **Current Style** появится имя новой контактной площадки. Аналогично можно последовательно ввести имена (пока имена!) всех необходимых стеков.

После выделения имени стека и нажатии на кнопку **Modify (Simple)** открывают меню редактирования простых стеков контактных площадок.

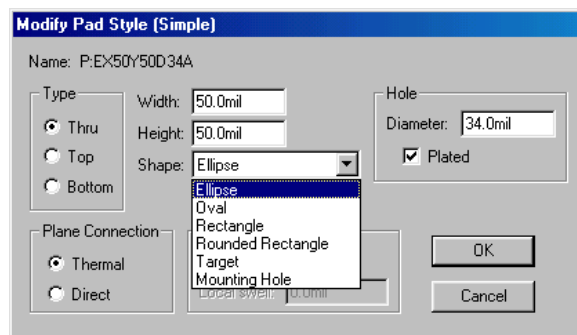


Рисунок 2.10 – Окно редактирования простых стеков

В области **Type** выбирается тип контактной площадки:

- **Thru** - контактная площадка для штыревого вывода;
- **Top** — контактная площадка для планарного вывода со стороны установки компонента на ПП;

- **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 скругленными углами;
- **Target** — перекрестье для сверления;
- **Mounting Hole** - крепежное (монтажное) отверстие.

Геометрические размеры контактных площадок устанавливаются в окнах **Width** (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 неподсоединенными 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*.

В окне **Layers** последовательно указывают имена слоев, на которых будут размещаться контактные площадки стека. Имена слоев появляются при раскрытии списка слоев в окне **Layer** области **Pad Definition**, нужный слой выбирается из списка и добавляется в поле

3.2 Создание установочного места со штыревыми контактами

1. Загрузите программу **P-CAD Pattern Editor**. Сформируем установочное место для микросхемы K561ЛА7.

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

3. Если еще 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 - 0,8мм) - для всех остальных контактов; отверстия - сквозные (Thru).

4. Командой **Pattern/Open** подключите ранее созданную библиотеку или создайте новую - **Library/New**.

5. После выполнения указанных действий еще раз выберите команду **Options/Pad Style**, выберите нужный стиль стека (например, стиль первого контакта компонента) и нажмите кнопку **Close**.

6. На панели **Placement Toolbar** нажмите кнопку **Place Pad** и установите первый контакт (следите за стилем первого контакта!) в нужную точку рабочего поля.

7. 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.

8. Если необходимо перенумеровать контакты, то выполните команду **Utils/Renumber**. В диалоговом окне в области **Type** активизируйте флажок **Pin Number**, проследите, чтобы в окнах **Start Pad Number** (начальный номер контакта) и **Increment Value** (приращение нумерации) были установлены единицы. Нажмите кнопку **OK**.

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

10. Выберите команду **Place Attribute** и щелкните 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). Щелкните на кнопке **OK** 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.).

11. Еще раз щелкните в любом месте экрана монитора и в области **Attribute Category** появившегося диалогового окна установите категорию **Component**, а в области **Name** установите значение **Type** и установите флажок **Visible** (видимый). Щелкните кнопку ОК и разместите атрибут в поле графического изображения корпуса компонента (в месте установки указанного атрибута при размещении компонента в рабочем поле в дальнейшем появится обозначение типа компонента, задаваемого пользователем. Например, **K561IE10, K176TM2, K561LA7, GRPPM7-18SH1** и т.д.). При необходимости перетащите или разверните на нужный угол имя атрибута.

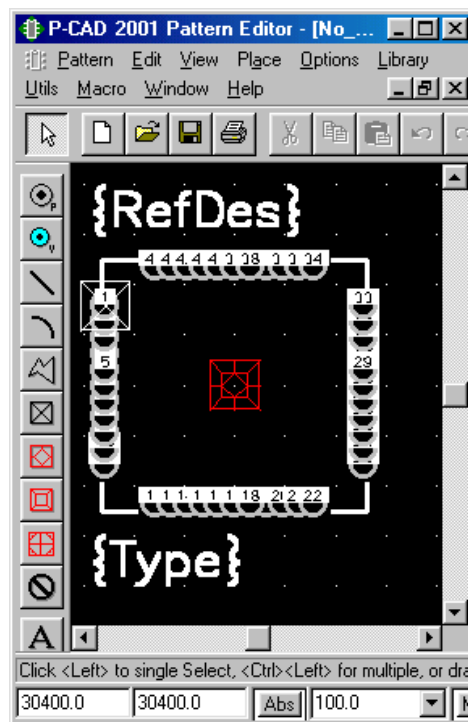


Рисунок 2.11 – Место компонента со штыревыми выводами

12. 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.

13. Проверьте правильность создания файла командой **Utils/Validate**.

14. Выполните команду **Pattern/Save As**. В диалоговом окне установите имя библиотеки, в которую будет произведена запись изображения установочного места компонента. В окно **Pattern** введите имя посадочного места (например, **DIP14**), включите флажок **Create Component**, в окно **Component** введите имя компонента (например, **K561ЛА7**) и нажмите кнопку **ОК**. Будет произведена запись созданного установочного места компонента в заданную вами библиотеку.

3.3 Создание установочного места компонента с пленарными контактами.

Все операции по формированию установочного места компонента с пленарными выводами аналогичны операциям, перечисленным для формирования компонента со штыревыми контактами.

Для создания файла, естественно, вначале конструируются стеки пленарных контактов. Эти стеки должны располагаться в библиотеке вашего проекта. Результат формирования установочного места представлен.

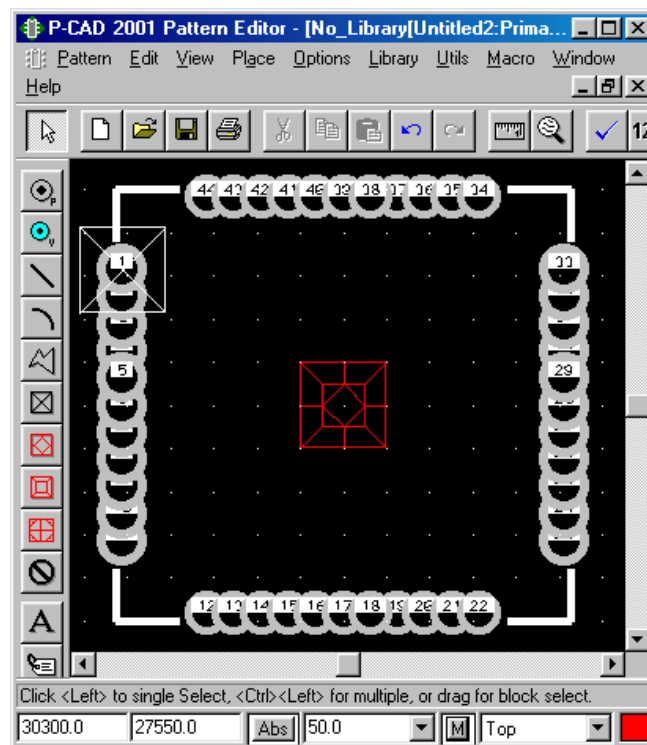


Рисунок 2.12 – Изображение установочного места компонента с пленарными контактами

3.4 Создание установочного места компонента с помощью программы-мастера Pattern Wizard

Программа-мастер **Pattern Wizard** запускается одноименной пиктограммой на панели инструментов или после выполнения команды **Pattern/Pattern Wizard** в редакторе **P-CAD Pattern Editor**. Перед началом работы необходимо установить единицы измерения, шаг сетки и определить стеки контактных площадок.

Окно мастера создания посадочных мест показано на рис. 2.13.

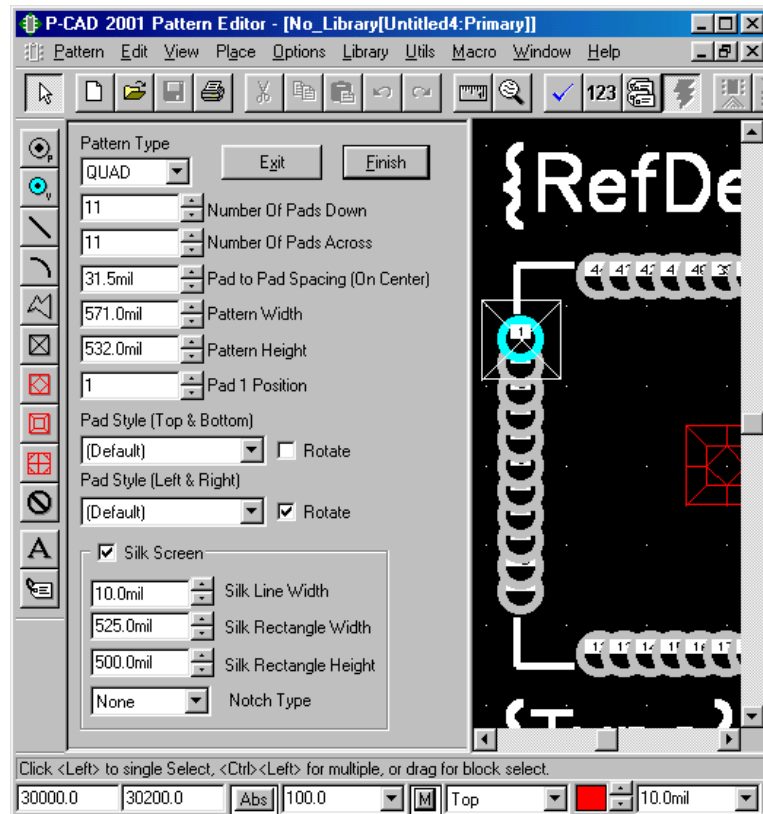


Рисунок 2.13 – Окно мастера создания посадочного места

В списке **Pattern Type** выбирается тип корпуса: **DIP** - корпус типа Dip с двухрядным расположением выводов, **ARRAY** - прямоугольный корпус с массивом выводов, **QUAD** - корпус с выводами, расположенными с четырех сторон.

Number of Pads Down - число строк выводов по вертикали (для DIP и SMD корпусов - число контактов установочного места компонента).

Number of Pads Across - число столбцов в массиве выводов (только для корпусов **ARRAY** и **QUAD**).

Pad to Pad Spacing — расстояние между центрами контактов в строках.

Cutout Pads Down — число вырезанных строк в центральной области массива.

Cutout Pads Across - число вырезанных столбцов в центральной области массива.

Corner Pads - исключение выводов во внешних или внутренних вершинах массива данных. Последние три характеристики — для массива типа **ARRAY**.

Pattern Width и **Pattern Height** - расстояние между центрами выводов по строкам и столбцам соответственно.

Pad 1 Position — местоположение первого вывода компонента (в корпусе **DIP** обычно — верхний левый вывод).

Pad Style (Pad1/Other) — типы стеков контактов площадок для первого и остальных выводов компонента - автоматически передаются из текущей платы. Имена этих стеков, как было упомянуто ранее, находятся в специальном файле проекта с расширением **.dtp**.

Rotate — возможность поворота контакта на 90°.

Silk Screen — флажок визуализации габаритов корпуса компонента (графика корпуса по умолчанию рисуется в слое Silk).

Silk Line Width — ширина линий габаритов корпуса компонента,

Silk Rectangle Width/Height — высота/ширина прямоугольника, изображающего корпус компонента.

После ввода данных в окно мастера **Pattern Editor** (на рис. 2.23 представлено окно с данными для микросхемы **K651JA7**) нажмите кнопку **Finish** и окончательно отредактируйте посадочное место. Запишите созданный файл в библиотеку командой **Pattern/Save As**.

3.5 Пример. Создание корпуса резистора.

Корпуса элементов создается в модуле **P-CAD Pattern Editor**. Рассмотрим порядок создания на примере корпуса резистора с мощностью рассеяния 0.125 Вт:

1. Запустим Pattern Editor. Необходимо начертить прямоугольник как в (2.1 п. 2-9). Перед черчением прямоугольник необходимо выбрать слой Top Silk (рис. 2.23)

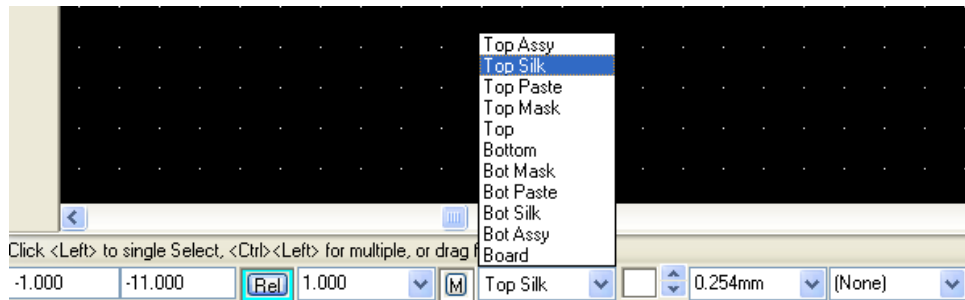


Рисунок 2.23 – Выбор слоя

2. Дочертим вместо выводов две прямые вертикальные линии.
 3. Создадим контактные площадки: необходимо выбрать слой Top, выберем в меню Place|Pad (Разместить|Контактная площадка), нажмем ОК. С помощью левой кнопки мыши разместим контактные площадки как показано на рис. 2.24

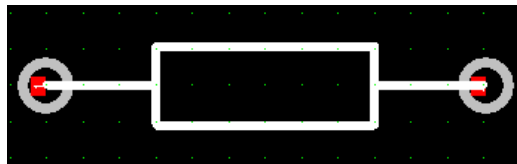


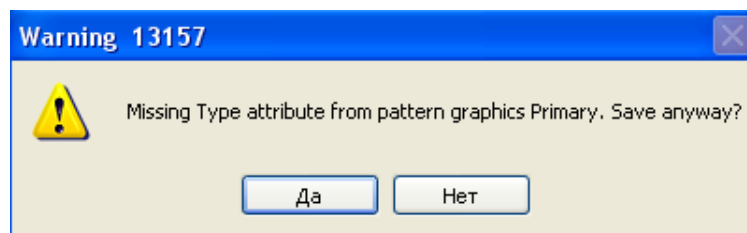
Рис. 2.24 – Размещение контактных площадок

4. Выделим верхнюю контактную площадку, зайдём в ее свойства (Properties...) и зададим единицу в поле Default Pin Designator, нажмем ОК. Сделаем эту операцию и с нижней контактной площадкой, задав двойку. Прямоугольники изменят цвет с красного на белый.

5. Разместим атрибуты компонента и поместим точку привязки (см. 2.1 п. 19,20).

6. Сохраним корпус: , Edit|Select all, затем Pattern|Save As.

Если появляется:



Нажимаем Да.

В окне Pattern Save To Library (рис. 2.25):

Library... - выбираем библиотеку, в которую хотим сохранить корпус.

Pattern – назовем R.

Create Component – флажок не ставим, так как он был установлен при создании символа (см. 2.1 п. 21)

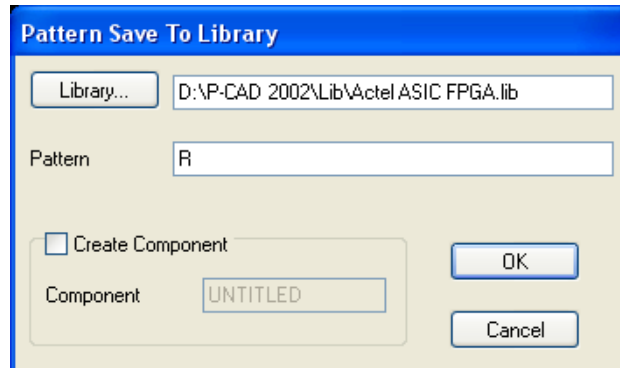


Рисунок 2.25 – Сохранение корпуса резистора

Корпуса L и C создаются аналогично.

3.6 Контрольные вопросы

- Что представляет собой посадочное место в P-CAD, каковы его основные элементы?
- Какие параметры среды следует настроить, перед тем как приступить к разработке посадочного места компонента (pattern)?
- Какой программой из состава P-CAD производится разработка посадочного места компонента?
- Назовите основные параметры контактной площадки посадочного места
- Какие атрибуты посадочного места должны быть обязательно указаны, чтобы появилась возможность сохранить pattern в библиотеке?

4 Лабораторная работа № 4

СОЗДАНИЕ ПОЛНОЦЕННОГО КОМПОНЕНТА.

МЕНЕДЖЕР БИБЛИОТЕК P-CAD

LIBRARY EXECUTIVE

Цель работы: ознакомиться с работой менеджера библиотек P-CAD Library executive, создать полноценный компонент, определив строгое соответствие между УГО (символом) и посадочным местом (паттерном).

Итак, часть данных (символы компонентов, стеки контактных площадок и посадочные места), необходимых для проектирования печатной платы, определена в ходе предыдущих лабораторных работ. Теперь пора переходить к программе, которая объединяет предыдущие графические данные и дополняет их до такого содержания, чтобы эти интегрированные и взаимосвязанные между собой данные можно было использовать для построения электрических схем, размещения компонентов на печатной плате и для трассировки печатных плат.

Такой программой является менеджер библиотек **P-CAD Library Executive**.

4.1 Работа с 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.

Вся текстовая информация об упаковке компонентов и их атрибутах заносится в две таблицы, удобные для просмотра и редактирования. Тем самым исключаются ошибки несогласованного ввода этой информации.

P-CAD Library Executive позволяет составлять списки соответствий выводов символов и вентилях (секций) компонентов и имеет средства просмотра параметров компонентов. В электронных таблицах параметров обеспечена возможность одновременного изменения содержания нескольких выбранных ячеек. Во все электронные таблицы параметров (**Pins**, **Pattern** и **Symbol**) включены столбцы с указанием номеров выводов (**Pad Number**). Программа имеет средства просмотра библиотечных файлов и поиска компонентов по всем возможным атрибутам.

Запускается Менеджер исполняемым файлом **СМР.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. 2.14). Работу менеджера библиотек рассмотрим на примере создания интегрированных данных для компонента **K561ЛА7**.

Щелкните по кнопке **Select Pattern**, введите имя посадочного места (в нашем случае – **DIP14**) в окно **Number of Gates** введите число вентилях 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 **OK**.

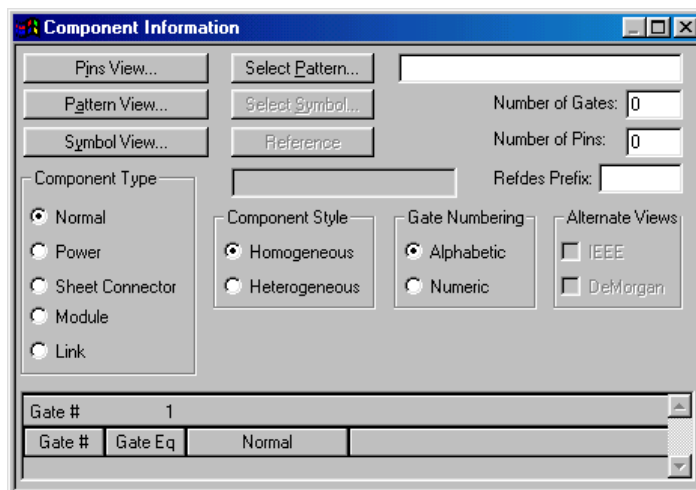


Рисунок 2.14 – Окно **Component Information**

В окне **Refdes Prefix** напишите **DD** (так будут 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 спо-

способ нумерации секций (**Alphabetic** - буквенный или **Numeric** -числовой способ).

Результат выполненных операций представлен на рис. 2.14.

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

Для создания *Таблицы выводов Pins View* щелкните по кнопке **Pins View** и заполните таблицу информацией, взятой из технической документации для текущего компонента (или задайте эти данные сами). В нашем случае таблица выводов компонента выглядит так, как показано на рис. 2.15.

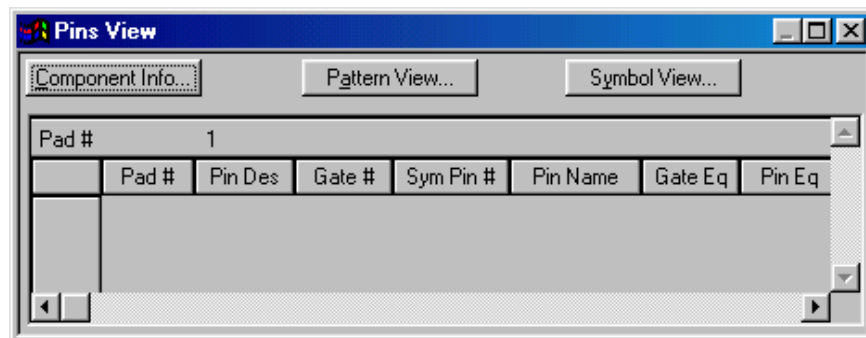


Рисунок. 2.15 – Таблица выводов компонентов

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 столбец **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 одноименной горизонтальной строке раскрывается список типов выводов.

- **Unknown** – вывод, не имеющий определенного 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 подключен нагрузочный резистор);
- **Open-L** — открытый коллектор ИС типа ТТЛ (к выводу должен быть подключен 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**.

При заполнении таблицы можно пользоваться стандартными приемами **WINDOWS** по выделению, копированию, вставке и т. п. При выделенной строке таблицы, используя появляющиеся пиктограммы основного меню редактора **Slide Up** и **Slide Down** можно перемещать целиком выделенные строки вверх или вниз таблицы.

Для *выбора, просмотра и возможного редактирования символа компонента* надо щелкнуть по кнопке **Symbol View** в окне **Pins View**. Откроется диалоговое окно **Symbol View**.

Нажимая кнопки **Next Sym** или **Prev Sym**, можно просмотреть следующую или предыдущую секции символа компонента. При этом в таблице **Pins View** подсвечивается строка с *первым номером вывода* соответствующей секции.

После нажатия кнопок **Next Pin** или **Prev Pin** подсвечивается соответствующий вывод секции, а в таблице **Pins View** подсвечивается *строка с параметрами вывода*.

После нажатия на кнопку **Select Symbol** можно выбрать другой символ для компонента из открытой библиотеки.

После нажатия кнопки **Edit Symbol** можно отредактировать текущий символ (запускается редактор **P-CAD Pattern Editor**). Такая возможность редактирования символа позволяет использовать уже имеющиеся символы библиотек для построения другого символа с наименьшими затратами времени.

Переход от одного окна к другому окну редактора **P-CAD Executive** производится после нажатия соответствующих кнопок в текущем окне.

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**).

4.2 Пример. Создание полноценного компонента резистора

Созданный символ и корпус необходимо объединить в компонент с помощью Library Executive. В окне Component Information выбираем символ R с помощью Select Symbol, а с помощью Select Pattern выбираем корпус R:

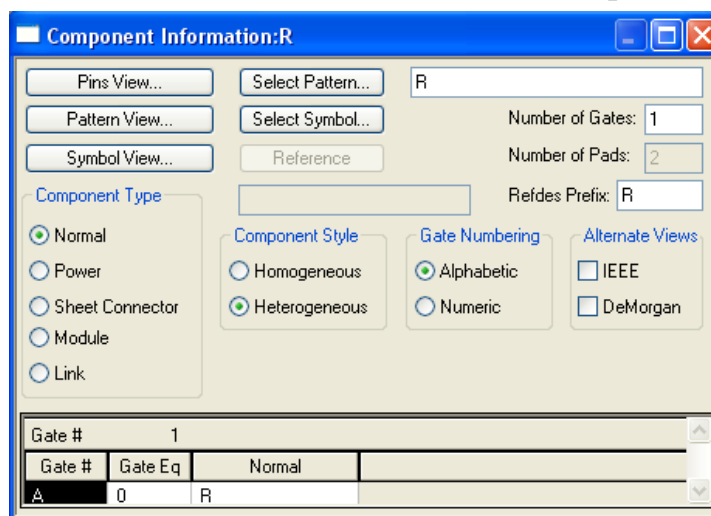
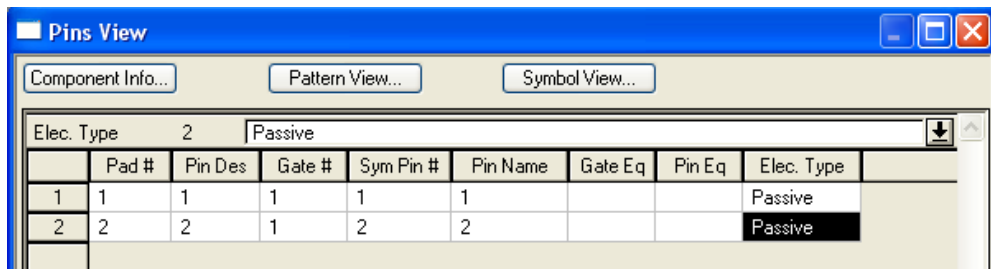


Рисунок 2.26 – Таблица параметров компонентов

Затем совместим выводы символа с контактными площадками корпуса с помощью Pins View:



	Pad #	Pin Des	Gate #	Sym Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec. Type
1	1	1	1	1	1			Passive
2	2	2	1	2	2			Passive

Рисунок 2.27 – Таблица выводов компонентов

4.3 Пример. Создание полноценного компонента диодной сборки КДС 112

Запустим Schematic Editor. Начертим 4 диода соединенные попарно. Шаг сетки на рис. 2.28 – 1.000 мм.

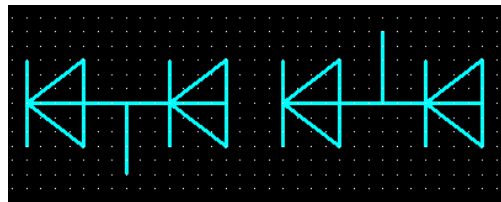


Рисунок 2.28 – Чертеж диодной сборки

Подключим 6 выводов, разместим атрибуты и поместим точку привязки как показано на рис. 2.29.

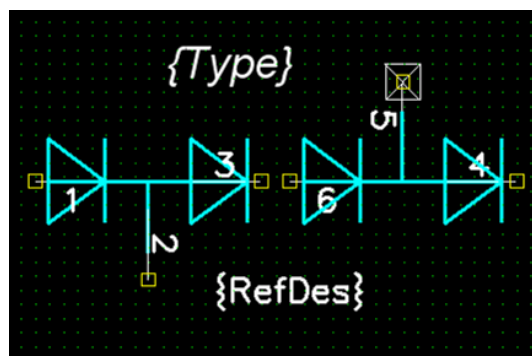
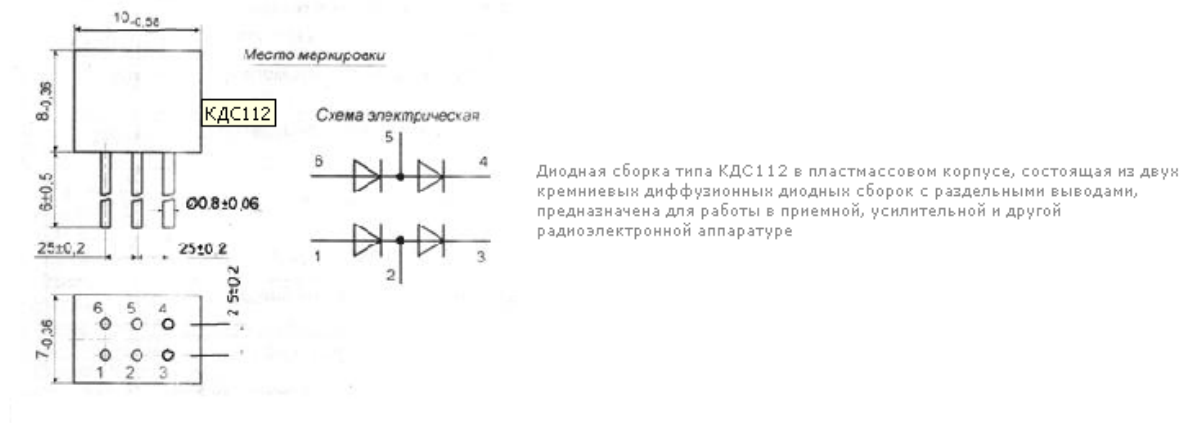


Рисунок 2.29 – Подключение выводов, размещение компонентов и помещение точки привязки



Основные электрические параметры

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение	Норма, не более
Прямое напряжение, В, при $I_{\text{пр.}} = 1 \text{ А}$	$U_{\text{пр.}}$	1.1
Обратный ток, мкА, при $U_{\text{обр.}} = 100 \text{ В}$	$I_{\text{обр.}}$	10

Сохраним символ

Создание корпуса микросхемы для диодной сборки КДС 112.

1. Запустим Pattern Edit. В меню запускаем **Pattern|Pattern Wizard...**(Корпус|Корпус Мастер). Создадим корпус с Pattern Wizard.

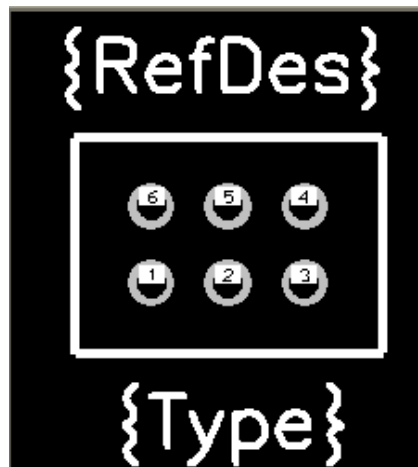


Рисунок 2.30 – Корпус КДС 112

2. Сохраним корпус

Объединим символ и корпус в компонент с помощью Library Executive. В окне Component Information выбираем символ КДС112 с помощью Select Symbol, а с помощью Select Pattern выбираем корпус КДС112:

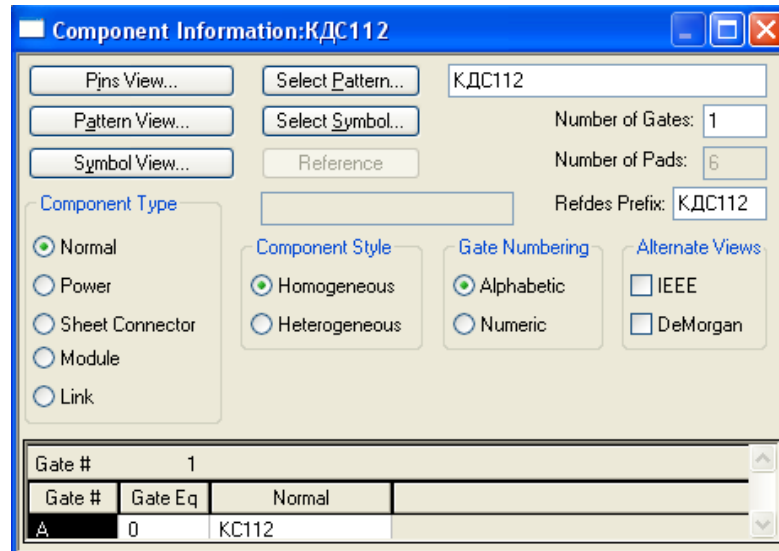
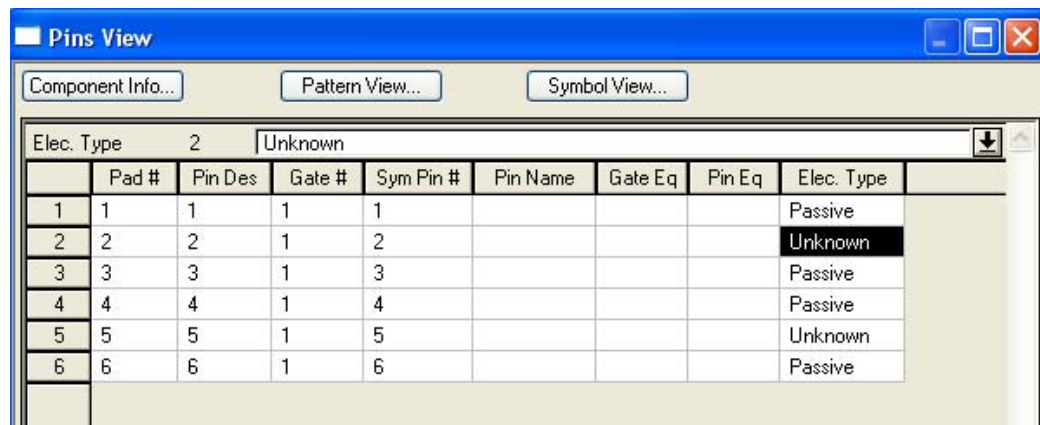


Рисунок 2.31 – Таблица параметров компонентов

Затем совместим выводы символа с контактными площадками корпуса с помощью Pins View. Чтобы отключить выводы, которые не будут использоваться в нашей схеме необходимо в столбце Elect. Type выбрать Unknown. Например выводы 2 и 5:



После размещения компонента на схеме необходимо соединить выводы 3 и 6.

4.4 Пример. Создание полноценного компонента «земля»

Создание компонента «земля» часто вызывает сложность.

1. Создадим символ «земля» (рис. 2.32). Шаг сетки на рис. 2.17 – 1.000 мм. На схеме RefDes необходимо сделать невидимым, при выборе атрибута 2 клика мыши на флажок Visible.

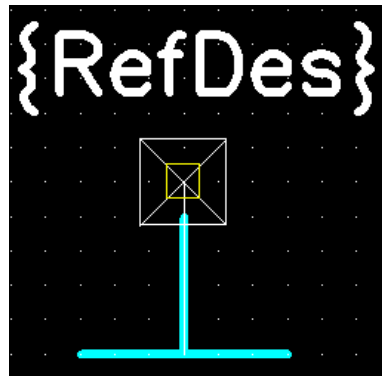


Рисунок 2.32 – Символ «земля»

2. Корпус для «земли» не требуется. Необходимо правильно заполнить таблицу выводов компонента, в соответствии с рис. 2.33.

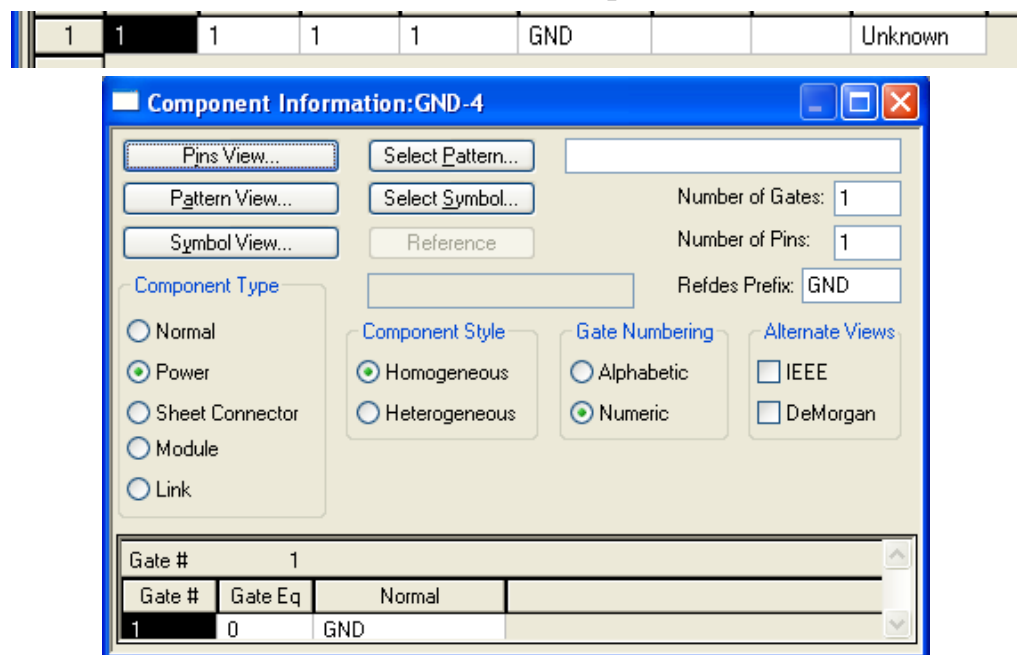


Рисунок 2.33 – Таблица параметров компонента «земля»

4.5 Пример. Создание полноценного компонента «коннектор»

Создание компонента «коннектор» часто вызывает сложность.

1. Создадим символ коннектора (рис. 2.34). Шаг сетки на рис. 2.19 – 1.000 мм. x3.1, x3.3 – питание, x3.2 – «земля»

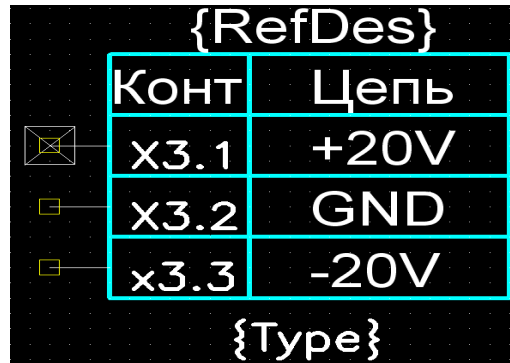


Рисунок 2.34 – Символ коннектора

2. Создадим корпус коннектора (рис. 2.35).

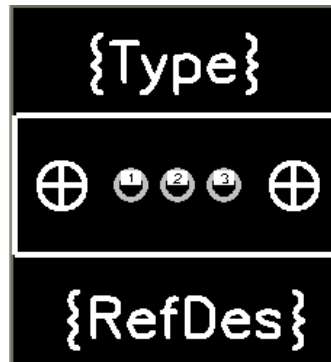


Рисунок 2.35 - Корпус коннектора

3. Объединим символ и корпус в компонент с помощью Library Executive. Таблица совместимости Pins View:

Pins View								
Component Info... Pattern View... Symbol View...								
Elec. Type		Bidirectional						
	Pad #	Pin Des	Gate #	Sym Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec. Type
1	1	1	1	1	1			Bidirectional
2	2	2	1	2	2			Bidirectional
3	3	3	1	3	3			Bidirectional

Рисунок 2.36 – Таблица параметров компонента

4.6 Пример. Создание полноценного компонента с общими выводами

. Необходимо создать символ и корпус элемента. На рис. 2.37 приведен пример создания корпуса транзистора КТ818 с 2 –мя общими выводами коллектора.

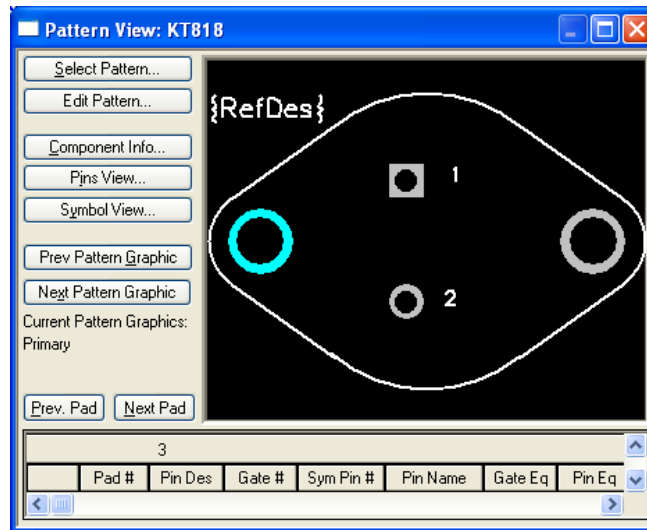


Рисунок 2.37 – Корпус транзистора

Таблицу выводов необходимо заполнить в соответствии с рисунком:

	Pad #	Pin Des	Gate #	Sym Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec. Type
1	1	b	1	1	b			Passive
2	2	e	1	3	e			Passive
3	3	k1	1	2	k		JMP	Passive
4	4	k2					JMP	Passive

Рисунок 2.38 – Таблица выводов транзистора

В данном случае необходимо наличие переключки **JMP** в строке с об- щими выводами.

4.7 Контрольные вопросы

- Что представляет собой полноценный компонент, каковы его основ- ные элементы?
- Можно ли в одной библиотеке создать несколько полноценных ком- понентов используя одни и те же символы и паттерны?
- Почему при создании компонента «земля» нет необходимости в поса- дочном месте?
- Какой программой из состава P-CAD производится связь соответ- ствующих электрических контактов УГО (символа) и контактных площадок посадочного места компонента?
- С какой целью указывается тип ножки компонента (**Elec. Type**)?

5 Лабораторная работа № 5 СОЗДАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Цель работы: Создать принципиальную схему, используя полноценные компоненты из собственной библиотеки, а также библиотек сторонних разработчиков. Изучить особенности работы графического редактора **P-CAD Schematic**.

Основное назначение графического редактора **P-CAD Schematic** – построение электрических принципиальных схем радиоэлектронных устройств. Экранный интерфейс редактора представлен на рис. 1.2. Слева от рабочего окна расположена панель инструментов размещения объектов **Placement Toolbar**. Прочие параметры окна редактора и их функции рассмотрены ранее в параграфе «Интерфейс пользователя». После запуска редактора необходимо произвести настройку его конфигурации.

5.1 Настройка конфигурации редактора P-CAD Schematic

Настройка параметров конфигурации редактора производится после выполнения команды **Options/Configure**, диалоговое окно которого представлено на рис. 3.1.

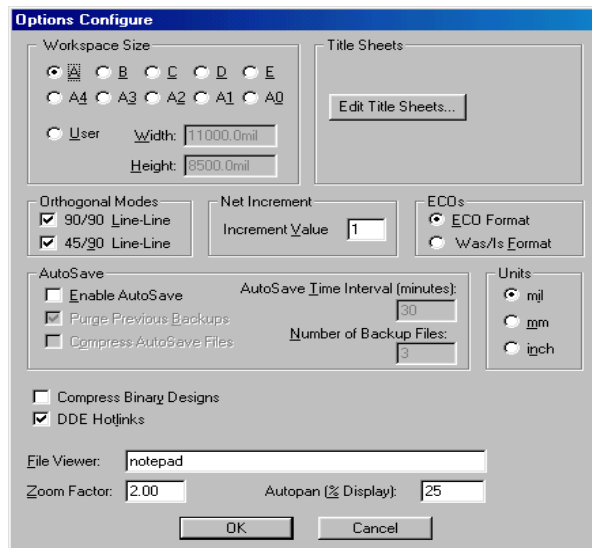


Рисунок 3.1 – Настройка конфигурации **P-CAD Schematic**

В области окна **Workspace Size** (размер форматки) необходимо выбрать один из стандартных листов, на который будут выводиться сформированные данные. 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 [2].

В области **Units** диалогового окна **Options/Configure** устанавливается система единиц измерения. Рекомендуется использовать **mm** – миллиметры (1мм = 40 **mil**), хотя изменить систему единиц можно на любой фазе работы без потери точности.

После ввода нужных данных нажмите **OK**.

На рис. 3.2 показано диалоговое окно для настройки сетки экрана, которое вызывается командой **Options/Grids**.

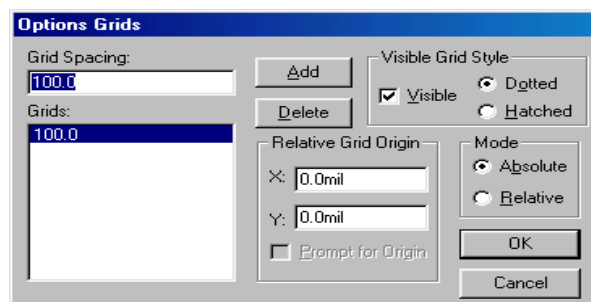


Рисунок 3.2 – Окно настройки вида и шага сетки рабочей области

Размер шага сетки записывается в окне **Grid Spacing** и добавляется в список сеток **Grids** при нажатии кнопки **Add**. В области окна **Visible Grid Style** устанавливается вид сетки **Dotted** (точечная) или **Hatched** (линейная) и разрешение отображения (активный флажок **Visible**) сетки на экране. Для дальнейшего удобства, рекомендуется установить следующие шаги для сетки: (0.1, 0.5, 1, 2.5, 5, 10) мм

Меню **Options/Text Style** (рис. 3.3) позволяет определить стиль текста, устанавливаемый по умолчанию, а при необходимости формирует и другие стили надписей:

Default — немасштабируемый шрифт по умолчанию (расстояние между строками 2,5 мм); **Pin Style** — шрифт для имен выводов компонентов; **Part Style** -шрифт для имен компонентов; **Wire Style** — шрифт для имен цепей; **Port Style** - шрифт для имен портов; **Default TTF** - масштабируемый шрифт (по умолчанию шрифт Arial, размер 3,17 мм).

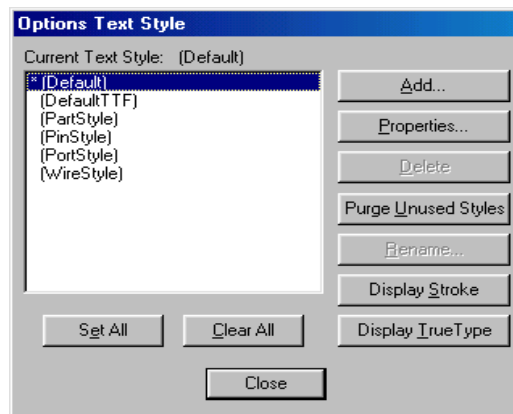


Рисунок 3.3 – Установка стилей шрифтов

Нужный шрифт назначается *текущим* двойным щелчком мыши по его имени.

Для добавления нового шрифта нажимают кнопку *Add...*, и новому шрифту дается *имя*. А затем после нажатия кнопки *Properties...* в меню редактирования шрифта (рис. 3.4) после активизации кнопки *Allow True Type* выбирают тип шрифта - *Stroke Font* (немасштабируемые шрифты) или *True Type Font* (масштабируемые шрифты), имя шрифта (*Font*) и его размер. Все установленные стили надписей сохраняются в файле проектируемой схемы.

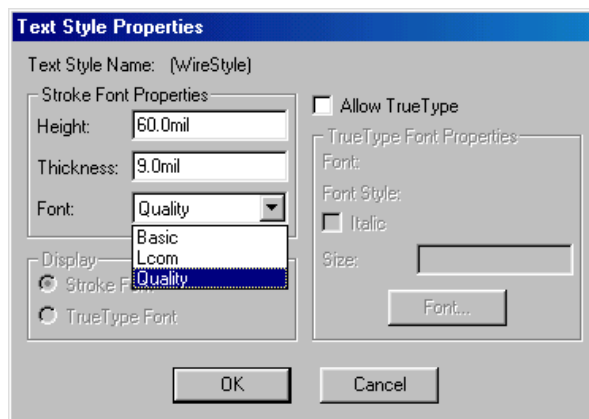


Рисунок 3.4 – Окно редактирования шрифта

Рекомендуется создать несколько своих шрифтов [2].

Команда **File/Design Technology Parameters** используется для ввода технологических требований при проектировании печатных плат. Эти требования можно задавать как для работы с редактором **P-CAD Schematic**, так и при работе с редактором **P-CAD PCB**.

Нажатие на кнопку **Copy To Design** диалогового окна **Design Technology Parameters** (при снятом флажке **Read-only file**) позволяет перенести в открытый проект данные из указанного (созданного ранее) файла технологических параметров.

Нажатие на кнопку **Update From Design** позволяет обновить содержание файла технологических параметров данными из текущего проекта (рис. 3.5).

Данной командо можно легко передать определенные параметры из одного проекта в другой, в частности:

- **Pad Styles** - набор стилей контактных площадок;
- **Via Styles** — набор стилей переходных отверстий.

После настройки схемного редактора, рекомендуется сохранить файл, и использовать его в качестве шаблона, для избежания последующей настройки в других проектах.

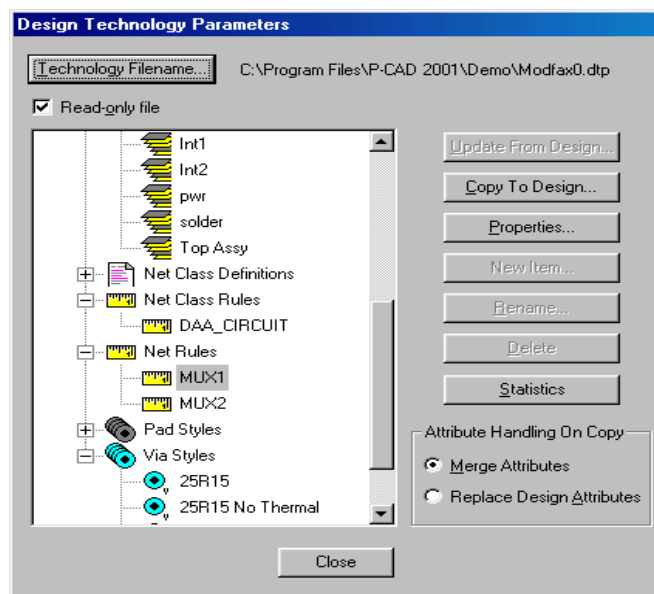


Рисунок 3.5 – Выбор типов секций технологических ограничений

5.2 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.

На электрической схеме изображаются символы компонентов, электрические связи между ними, текстовая информация, таблицы, буквенно-цифровые обозначения и основные надписи на форматке схемы.

Линии на всех схемах одного проекта выполняются толщиной от 0,2 до 1 мм. Соединения и условные обозначения компонентов выполняются линиями одинаковой толщины. Утолщенными линиями рисуются жгуты (об-

щие шины). Каждая связь при ее соединении со жгутом помечается номером или своим именем и должна подключаться под прямым или под углом 45°.

После настройки конфигурации графического редактора **P-CAD Schematic** и при наличии в библиотеке всех символов компонентов, содержащихся 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 необходимости, подключите форматки и заполните ее поля.
- ✓ Загрузите нужные библиотеки командой **Library Setup** (рис. 3.6), добавляя их имена в область **Open Libraries** после нажатия кнопки **Add**.

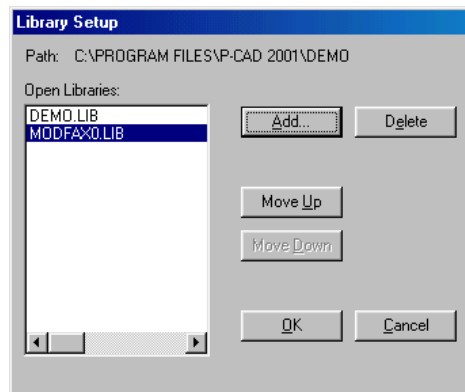


Рисунок 3.6 – Установка библиотек проекта

Для *размещения библиотечных элементов*, выполните команду **Place/Part** и в появившемся диалоговом окне (рис. 3.7) 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.

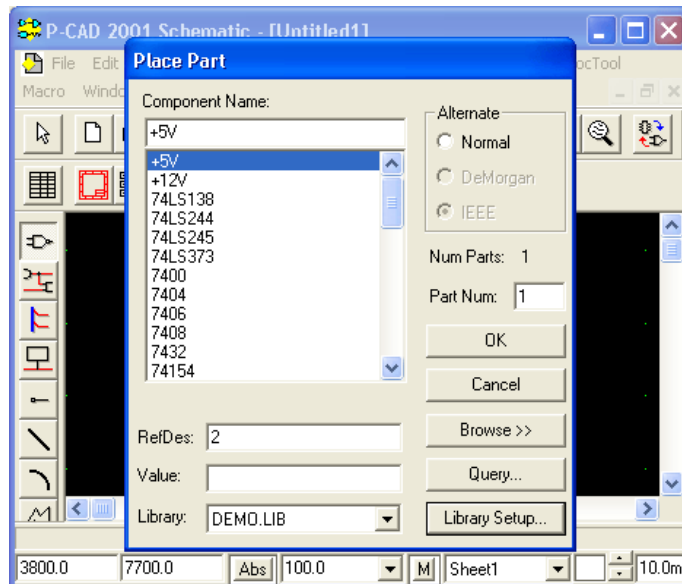


Рисунок 3.7 – Выбор символа компонента (**Component Name**), назначение номера секции (**Part Num**) и вид позиционного обозначения (**RefDes**) символа на схеме

Напомним, что **Num Parts** обозначает число логических секций, входящих в компонент, а **Part Num** - номер вводимой логической секции. Позиционные обозначения **RefDes** размещаемых элементов и их секций на электрической схеме проставляются автоматически.

После выбора соответствующих параметров нажмите **ОК**.

Если секции *примыкают друг к другу*, то на схеме позиционные обозначения отдельных секций не указываются. Для этого необходимо параметры **RefDes** всех секций, кроме первой, сделать невидимыми. С этой целью правой кнопкой мыши выделяется изображение на схеме соответствующей секции и выполняется команда **Properties**. Затем в окне **Part Properties** в закладке **Symbol** в области **Visibility** убирается флажок **Ref Des** и нажимается кнопка **ОК**. В окне **Value** можно проставить значение номинала компонента, например конденсатора или резистора.

Если необходимо сделать невидимыми **Type** элемента или *имена*, или *номера* его контактов, то необходимо выделить размещенный элемент (или его вентиль), нажать правую кнопку мыши и в меню **Properties**, в разделе **Symbol** и его области **Visibility** убрать флажок **Type**, а в разделе **Symbol Pins** в областях **Pin Designator** или **Pin Name** убрать соответствующие флажки. При этом необходимо после операции с *каждым контактом* нажимать кнопку **Apply** (применить). По окончании операций по удалению с экрана монитора ненужной информации нажать **ОК**.

После проведения перечисленных подготовительных операций для размещения символа щелкните в нужном месте форматки – появится изображение выбранного элемента схемы. Если требуется размножить элемент, то щелкните 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**).

Для размещения других элементов схемы повторите команду **Place/Part** столько раз, сколько *разных* символов содержит схема. Размещенные элементы после их выделения можно передвигать по рабочему полю в нужное место, поворачивать их или зеркально отображать. Для выделения отдельного элемента символа (вывод символа, элемент графики, позиционное обозначение и т. п.) необходимо удерживать клавишу Shift. Для одновременного выделения нескольких символов удерживайте клавишу **Ctrl**.

В дальнейшем выделенный элемент символа можно редактировать после нажатия на правую кнопку мыши и последующего выбора опции **Properties**.

Электрическое соединение контактов размещенных 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** – задается пользователем. Щелкая мышкой в соответствующих местах рабочего поля можно соединять контакты линиями связи различной конфигурации. Нажатие клавиши **O** до отпускания кнопки мыши изменяет угол ввода линии из числа разрешенных углов, задаваемых в меню **Options/Configure**, а нажатие клавиши **F** изменяет ориентацию линии. При окончании проведения очередной электрической цепи щелкните правую кнопку мыши или клавишу **Esc**. Для включения в цепь дополнительной точки излома выполняется команда **Rewire/Manual**.

Неподсоединенные выводы символов («висячие» контакты) и выводы цепей, не подключенные к другим контактам или другим фрагментам цепи, помечаются подсвеченными квадратиками, которые гаснут после их электрического соединения. Места соединений фрагментов одной и той же цепи помечаются точкой (рис. 3.8).

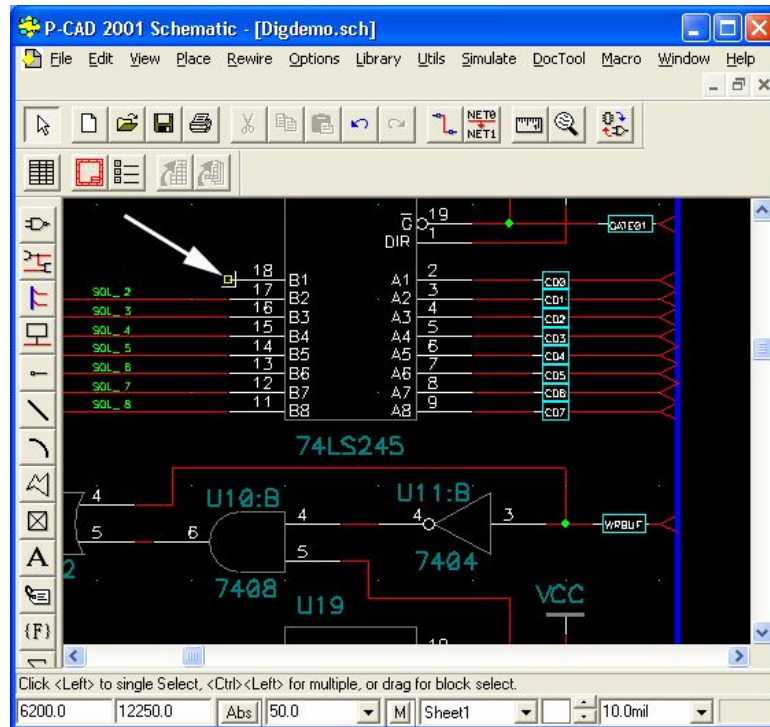


Рисунок 3.8 – «Висячие» контакты, неподсоединенный фрагмент электрической цепи и Т-образное соединение фрагмента цепи

В строке информации монитора автоматически выводится имя выделенной цепи, присвоенное системой. **Изменить имя цепи** можно выделив нужную цепь (или ее фрагмент), щелкнуть правой кнопкой мыши и выбрать меню редактирования **Properties**. В закладке **Wire** активизировать окно **Display** (если имя цепи должно быть видимым), а в закладке **Net** в окне **Net Name** ввести имя цепи и нажать ОК. В результате у выделенного участка цепи появится заданное имя. Тип и размеры шрифта имени цепи устанавливаются после нажатия на кнопку **Text Styles** закладки **Wire**.

Имя цепи можно перемещать, если при нажатой клавише **Shift** выделить имя цепи, отпустить клавишу **Shift** и переместить имя цепи в нужное место.

Электрическое соединение отрезков линий, изображающих одну и ту же цепь, на схеме обозначается точкой (по умолчанию — зеленого цвета). На Т-образных соединениях точка проставляется автоматически. Для соединения пересекающихся отрезков цепей необходимо при построении второй цепи щелкнуть курсором в точке пересечения цепей, а затем продолжить нужные построения цепи.

⚠ Внимание! Если между компонентом заземления *GND* и каким-либо контактом элемента схемы провести связь, то проведенная цепь ав-

томатически получит имя *GND*. Это происходит потому, что выводу компонента в библиотеке присвоен тип *Power*, что и обеспечивает автоматическую простановку имени цепи, к которой вывод подключен. При последующем выделении этой цепи, нажатии на правую кнопку мыши и активизации строчки *Properties* в появившемся диалоговом окне в области *Wire* можно активизировать окно *Display*. В результате имя цепи будет выведено на экран.

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

5.3 Просмотр, добавление и изменение атрибутов компонентов и цепей

Для просмотра или изменения различных составляющих *символа* необходимо выделить нужный символ, нажать правую кнопку мыши и выбрать строчку меню **Properties**. Появится диалоговое окно **Part Properties**.

В закладке **Symbol** в области **Visibility** можно установить/убрать флажки **Type**, **Ref Des** или **Value** и в результате этого тип компонента, его позиционное обозначение или числовое значение будет видно или не видно на экране монитора. Можно также увидеть позиционное обозначение символа на электрической схеме в окне **Ref Des** или номер вентиля в окне **Gate Number**.

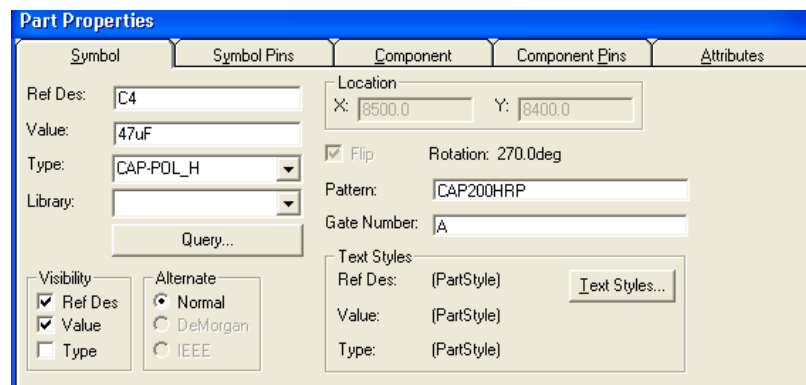


Рисунок 3.9 – Окно закладки **Symbol**

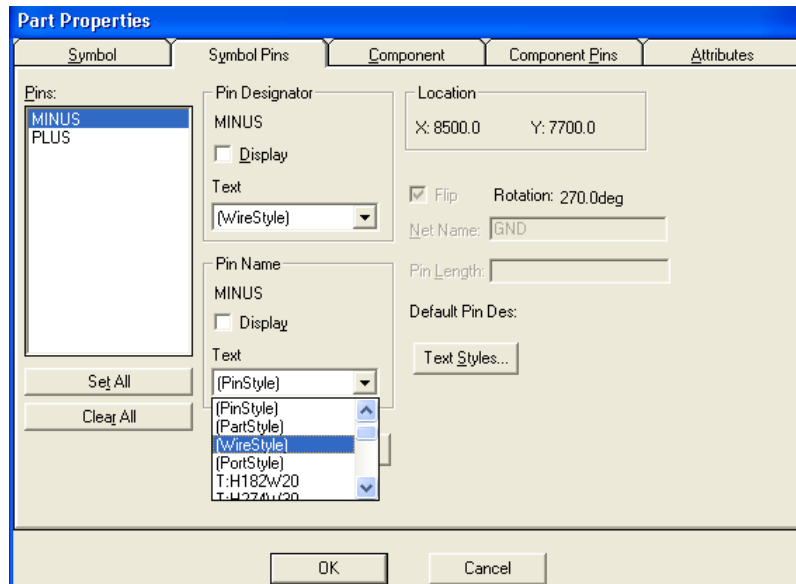


Рисунок 3.10 – Окно закладки **Symbol Pins**

В закладке **Symbol Pins** (рис. 3.10) в областях **Pin Designator** и **Pin Name** включением или выключением флажков можно вывести/убрать с экрана монитора номер или имя контакта. Предварительно надо выделить номер контакта в окне **Pins**. При этом после операции с каждым номером или именем контакта нажимать кнопку **Apply**. Изменение стиля шрифта можно провести одновременно для нескольких выделенных контактов.

В закладке **Component** можно увидеть параметры компонента и текущий номер вентиля.

В закладке **Component Pins** (рис. 3.11) представлена таблица выводов компонента (формируется в **P-CAD Library Executive**).

Pad #	Pin Designator	Gate #	Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec Type
1	MINUS	1	1	MINUS	1	0	Passive
2	PLUS	1	2	PLUS	1	0	Passive

Рисунок 3.11 – Окно закладки **Component Pins** (таблица контактов)

В закладке **Attributes** после нажатия кнопки **Add** можно в соответствующих областях окна **Place Attribute** добавить нужные атрибуты объектов, составляющих электрическую схему.

5.4 Изменение позиционных обозначений компонентов

После окончания редактирования схемы целесообразно провести переименование позиционных обозначений компонентов по команде **Utils/Renumber**. В диалоговом окне (рис. 3.12) выбирают объект перенумерации **RefDes** и порядок простановки позиционных обозначений **Top to Bottom** (сверху вниз) или **Left to Right** (слева направо). Такой порядок нумерации компонентов на схеме совпадает с требованиями ЕСКД.

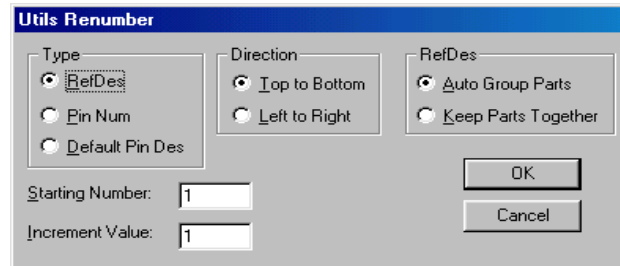


Рисунок 3.12 – Автоматическая перенумерация позиционных обозначений компонентов

Опция **Auto Group Parts** минимизирует число компонентов, т. е. использует максимальное число секций компонента, содержащихся в нем. Опция **Keep Parts Together** перенумеровывает компоненты, однако оставляет то число секций, которое ввел пользователь при размещении компонентов.

В окне **Starting Number** вносится начальное значение позиционного обозначения, а в окно **Increment Value** – величина приращения при перенумерации. По нажатию **ОК**, произойдет перенумерация компонентов.

5.5 Верификация схемы

При создании сложных электрических схем практически трудно избежать ошибок при вводе всех объектов схемы. Поэтому всегда необходимо производить проверку схемы на наличие синтаксических ошибок («висячие» цепи и контакты компонентов, одноконтатные цепи и т. п.).

Проверку схемы выполняют по команде **Utils/Erc (Electrical Rules Check** – проверка правильности электрических соединений). Диалоговое окно команды представлено на рис. 3.13.

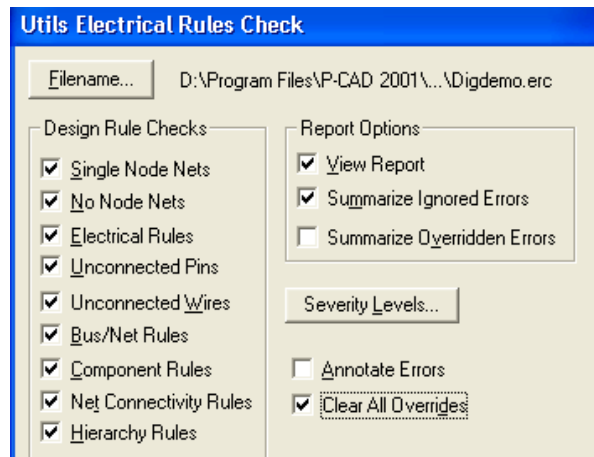


Рисунок 3.13 – Окно команды контроля ошибок соединений

Кнопка **Filename** позволяет изменить предлагаемое имя файла (по умолчанию — имя схемы), в который занесен протокол проверок схемы. В области **Design Rule Checks** устанавливается перечень проверяемых параметров:

- ✓ Single Node Nets – цепи, имеющие единственный узел;
- ✓ No Node Nets – цепи, не имеющие узлов;
- ✓ Electrical Rules – электрические ошибки соединений (соединяются два выхода компонента или выходы подключены к общим цепям и т. д.);
- ✓ Unconnected Pins – неподключенные выводы компонентов;
- ✓ Unconnected Wires – неподключенные цепи;
- ✓ Bus/Net Rules – подведенные к шине цепи, которые не подключены хотя бы один раз к другому компоненту;
- ✓ Component Rules – компоненты, наложенные на другие компоненты;
- ✓ Net Connectivity Rules – неправильное подключение цепей «земли» и «питания»;
- ✓ Hierarchy Rules – ошибки в иерархических структурах.

Степень значимости конкретной ошибки (**Error** – недопустимая ошибка, **Warning** – предупреждение о не критической ошибке, **Ignored** – ошибку допускается игнорировать) пользователь может установить самостоятельно после нажатия на кнопку **Severity Levels**, выделения конкретного параметра (в столбце **Rule**) и активизацией соответствующего флажка в области **Severity Level**.

В области **Report Options** можно включить флажок **View Report** и посмотреть на экране текстовый отчет об ошибках, а включив флажок **Annotate**

Errors, — произвести индикацию ошибок на рисунке схемы сразу же после выполнения проверки.

5.6 Вывод схемы на печать

Печать производится по команде **File/Print**. Однако перед командой на печать необходимо проделать ряд операций.

Активизация флажка **Current Window** позволяет печатать только видимую часть экрана. Активизация флажка **Scale to Fit Page** автоматически масштабирует изображение так, чтобы оно полностью уместилось в поле выбранной форматки.

После нажатия на кнопку **Page Setup** можно в области **Sheets** выбрать имя листа для печати, а в области **Image Scale** — форматку листа. При необходимости в окне **Title** области **Image Options** можно разрешить распечатку форматки и произвести разворот (Rotate) форматки при печати, а в окнах **X offset** и **Y offset** задать расстояния изображения схемы до краев листа.

При включении флажка **User Scale Factor** в области **Image Scale** можно задать коэффициент масштабирования распечатки изображения схемы.

После внесения установок для печати нажмите кнопку **Update Sheet**. Нажатие на кнопку **Close** возвращает предыдущее меню.

Кнопка **Print Options** окна команды **File/Print** позволяет выбрать перечень объектов, которые будут выводиться на печать. По умолчанию для черно-белых принтеров фон (**Background**) выбирается белым и тогда, чтобы не печатать какие-либо объекты чертежа, им назначается тоже белый цвет.

Нажатие кнопки **OK** возвращает предыдущее меню, в котором выбирается лист или группа листов для печати.

При печати ширина линий устанавливается программой и изменить эту настройку нельзя. Выводы компонентов установлены линиями шириной 0,01 мм, контур компонентов линиями шириной 0,254 мм, для шины - 0,76 мм. Установку нужной ширины линий можно произвести при создании символов библиотечных компонентов путем проведения поверх их выводов и других объектов символа линий нужной ширины (команда **Place/Line**).

Перед печатью по команде **Print Preview** можно просмотреть компоновку чертежа на листе форматки.

Печать начинается после нажатия на кнопку **Generate Printouts**.

5.7 Генерация списка соединений

Список соединений включает в себя информацию о соединении вывода компонента с определенной цепью (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. 3.14) в окне **Netlist Format** выбирается требуемый формат записи списка соединений.

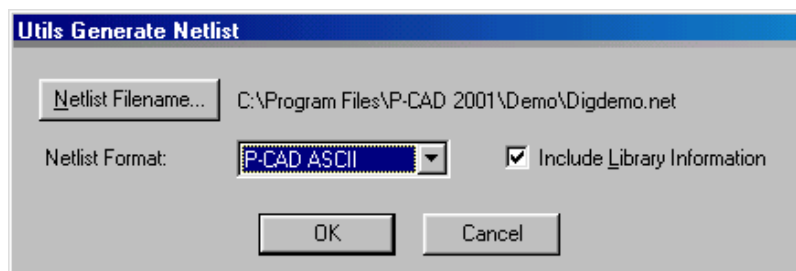


Рисунок 3.14 – Выбор формата списка соединений

В нашем случае выбирается формат **P-CAD ASCII**. Имя файла списка соединений предлагается по умолчанию, а изменить имя можно е 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**).

5.8 Контрольные вопросы

- Что представляет собой **P-CAD Schematic**, каковы его основные функции?
- Какие параметры интерфейса P-CAD Schematic требуют настройки перед началом создания принципиальной схемы?
- Зачем нужна верификация схемы?
- Как вывести на печать принципиальную схему?
- Что такое список соединений (Netlist)?

6 Лабораторная работа № 6 РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Цель работы: разработать печатную плату, разместить компоненты на плате заданной конфигурации, изучить возможности графического редактора печатных плат *P-CAD PCB*.

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 учетом препятствий. При этом соблюдаются все ограничения на проведение трассы, установленные пользователем.

6.1 Настройка графического редактора P-CAD PCB

6.1.1 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 **Units** закладки **General** выбирается система единиц измерения. В области **Workspase Size** указывается размер рабочей области для размещения компонентов и трассировки электрических соединений.

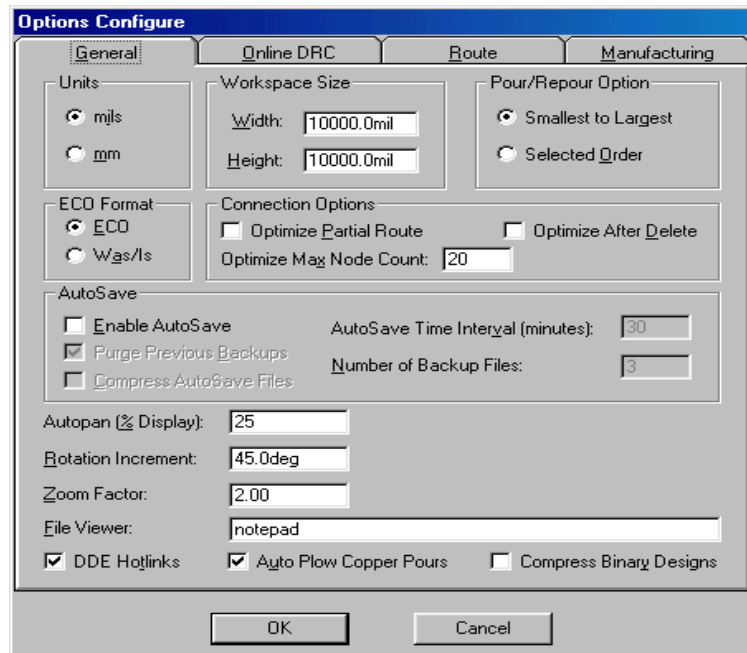


Рисунок 4.1 – Настройка конфигурации P-CAD PCB в закладке General

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 включен 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**.

В закладке **Online DEC** (рис. 4.2) при включении флажка **Enable Online DRC** производится проверка технологических параметров при вводе связей и размещении компонентов. Рекомендуется установить флажок перед трассировкой.

Установленный флажок **View Report** позволяет просмотреть текстовый файл с отчетом о проверке наличия ошибок. Область опций **Report Options** позволяет включить в отчет выборочные параметры проверок зазоров, текста, соединений и т. д.

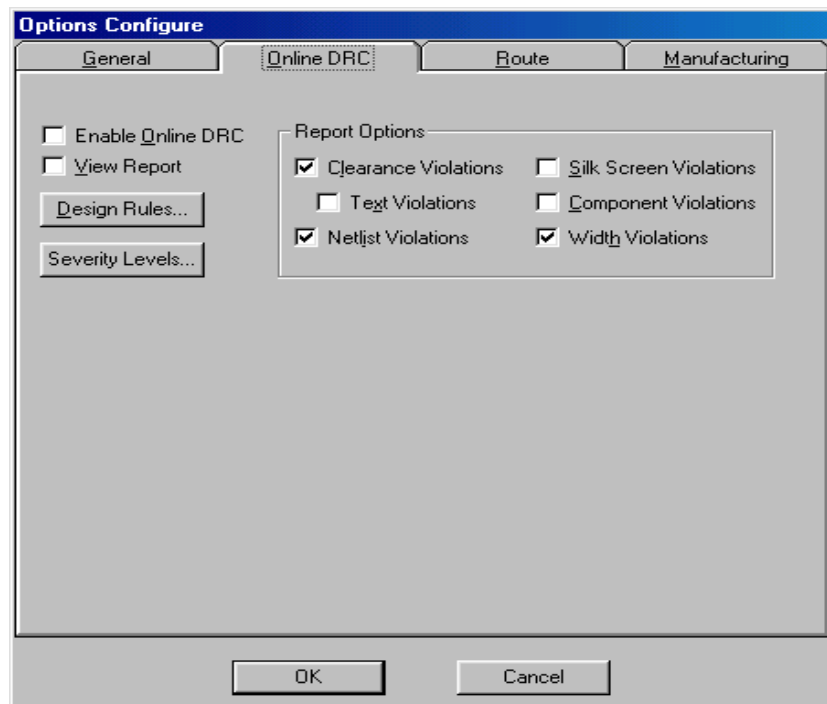


Рисунок 4.2 – Настройка контроля технологических параметров и содержания отчетов

Кнопка **Design Rules** позволяет настроить различные зазоры в проекте. Кнопка **Severity Levels** позволяет установить значимость ошибок с точки зрения пользователя (см. главу 3 «Графический редактор P-CAD Schematic»).

Закладка **Route** меню **Options/Configure** позволяет установить некоторые правила трассировки проводников печатной платы (рис. 4.3а).

При включении флажка **T-Route Default** включается T-образный режим разводки, т. е. трасса цепи подводится к ближайшему фрагменту этой же цепи.

Область **Highlight While Routing** при ручной трассировке задает режим подсвечивания только контактных площадок (**Pads Only**) или подсвечивания и контактных площадок, и проводников, и линий соединений, принадлежащих одной цепи (**Pads, Traces and Connections**).

Область **Miter Mode** выбирает способ сглаживания проводников в местах их излома — отрезком прямой (Line) или дугой (Arc).

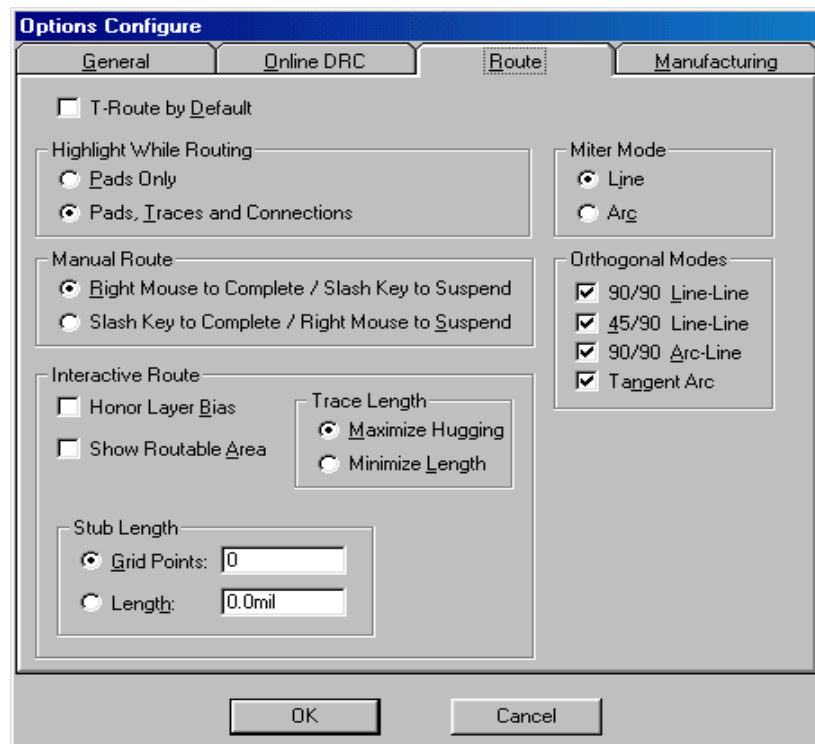


Рисунок 4.3а – Установка правил трассировки

Ручная трассировка определяется областью **Manual Route**. Если установлен флажок **Right Mouse to Complete/Slash Key to Suspend**, то для автоматического завершения трассы по кратчайшему пути используется правая кнопка мыши, а для остановки трассы в произвольном месте рабочего поля - клавиша /. Если установлен флажок **Slash Key to Complete/Right Mouse Suspend**, то для остановки трассировки цепи используется правая кнопка мыши, а для ее автоматического завершения - клавиша /.

Параметры интерактивного размещения устанавливаются в области **Interactive Route**. Флажок **Honor Layer Bias** означает разрешение на трассировку в слое в направлении, определенном в окне команды **Options/Layers**. Как правило, на слое Top проводники трассируются параллельно длинной стороне платы. Флажок **Show Routable Area** определяет видимость области трассировки.

В окне **Stub Length** устанавливается минимальная длина в дискретах сетки (**Grid Points**) или в единицах длины (**Length**) для сегмента линии при соединении ее с контактной площадкой.

В области **Trace Length** задается контроль за длиной проводника трассы. Флажок **Maximize Hugging** разрешает проводимой цепи выдержать минимальное расстояние до уже проведенных трасс (однако длина трассы и ее конфигурация при этом может быть неоптимальной). Флажок **Minimize**

Length разрешает прокладку трассы минимальной длины с минимумом переходных отверстий.

В закладке **Manufacturing** (рис. 4.3b) устанавливаются технологические ограничения при металлизации контактных площадок.

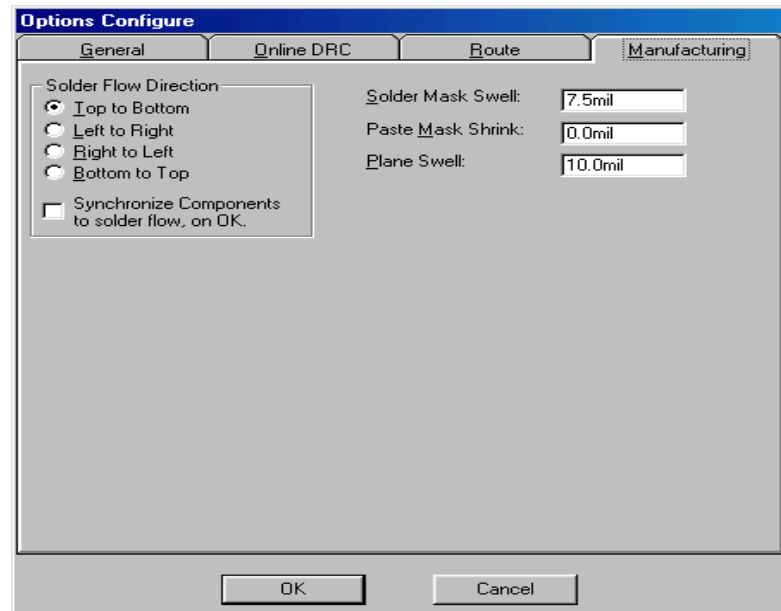


Рисунок 4.3b – Настройка металлизации контактных площадок

В окне **Solder Mask Swell** задается величина, на которую радиус выреза под контактную площадку в слое защитной паяльной маски больше диаметра собственно контактной площадки.

В окне **Paste Mask Shrink** указывается величина, на которую размер собственно вывода компонента меньше размера контактной площадки.

В окне **Plane Swell** устанавливается зазор между сплошным слоем металлизации и контактной площадкой или переходным отверстием, не принадлежащим данному слою.

Последние три опции устанавливаются для всего проекта. Если же указанные установки производятся в конкретных слоях, то глобальные установки системой игнорируются.

6.1.2 Настройка параметров монитора

Настройка параметров монитора производится командой **Options/Display**. Установка цветов производится в различных (требуемых для проекта) слоях для следующих объектов (рис. 4.4):

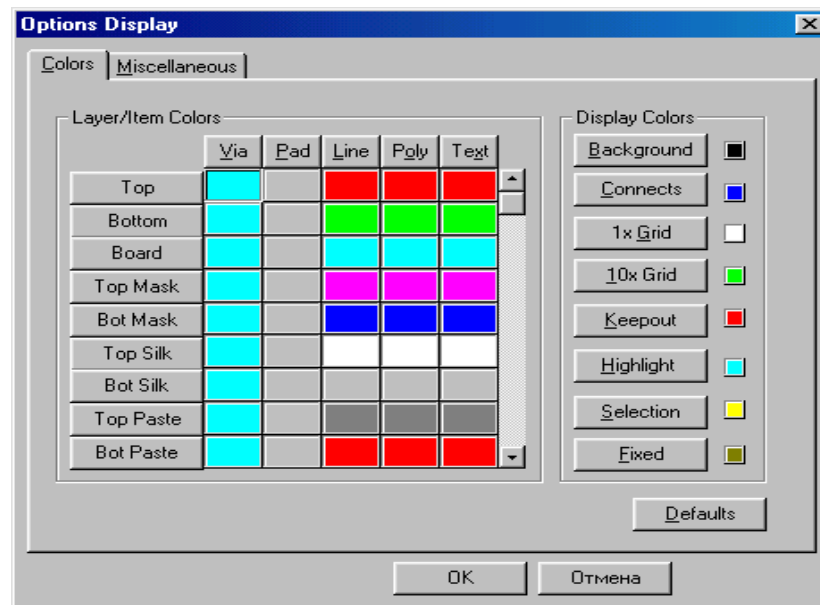


Рис. 4.4. Установка цвета слоев печатной платы

- Via - переходные отверстия;
- Pad — выводы компонентов;
- **Line** — проводники и линии;
- **Poly** - полигоны;
- **Text** — текстовые данные.

По умолчанию установлена следующая структура слоев печатной платы:

- **Top, Bottom** - верхняя и нижняя стороны платы соответственно;
- **Board** - контур платы;
- **Top Mask, Bot Mask** — маска пайки на верхней и нижней стороне платы;
- **Top Silk, Bot Silk** — шелкография на верхней и нижней стороне платы (контуров компонентов и т. п.);
- **Top Paste, Bot Paste** - вставка пайки на верхней и нижней стороне платы;
- **Top Assy, Bot Assy** - вспомогательные атрибуты на верхней и нижней стороне платы. Всего же может быть установлено 999 слоев информации;
- **DRILL** - для отверстий в ПП.

4.1.3. Структура слоев печатной платы

Слои можно использовать по умолчанию, а также создавать и удалять после выполнения команды **Options/Layers** (рис. 4.6).

В закладке **Layers** в области **Type** слои платы подразделяются на три типа и помечаются:

- **Signal** - слой разводки проводников, помечается первым символом S.

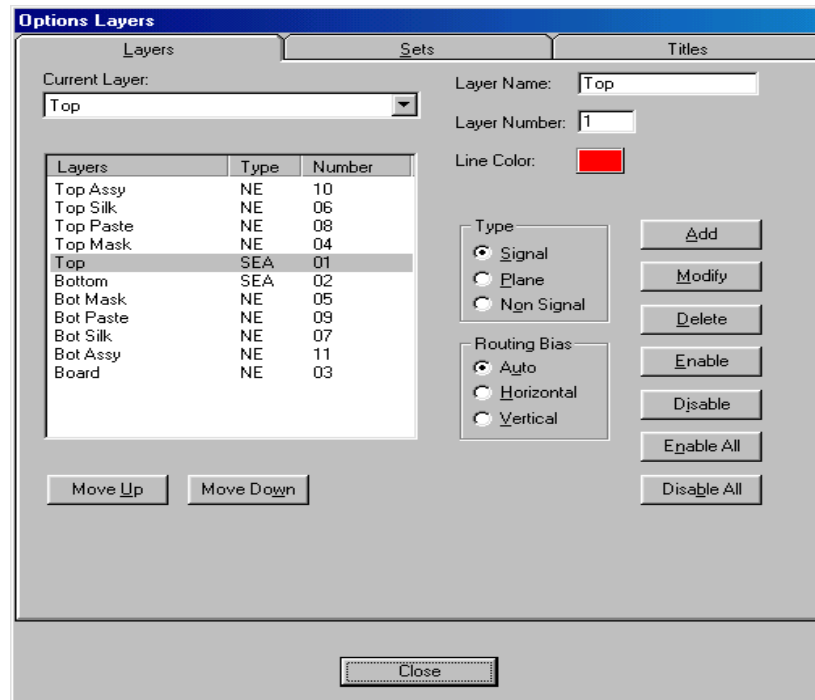


Рисунок 4.6 – Структура слоев платы

- **Plane** - слой металлизации, помечается первым символом P.
- **Non Signal** - вспомогательные слои, помечаются 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 включен (**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 слоев 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 слоев 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**.

Отдельные группы слоев (сигнальные, металлизации) отображаются в закладке **Sets** (рис. 4.7). На рисунке выделены сигнальные слои **Top** и **Bottom**.

Группирование слоев предназначено для управления выбором объектов, настройки печати, настройки управляющих программ для технологических автоматов и вывода проекта в формате **DXF**.

Для создания новой группы слоев необходимо в поле **Set Name** дать имя новой группе и нажать кнопку **New**. В результате в окне **Layer Sets** появится имя группы. После выделения в окне **Layers** слоев, объединяемых в новую группу, и нажатии на кнопку **Add** в окне **Set Contents** переносятся имена слоев новой группы, определенной пользователем. Ошибочно определенные в новую группу слои можно удалить с помощью кнопки **Remove**. Нажатие кнопки **Enable Layers** запоминает сделанные назначения слоев в группу.

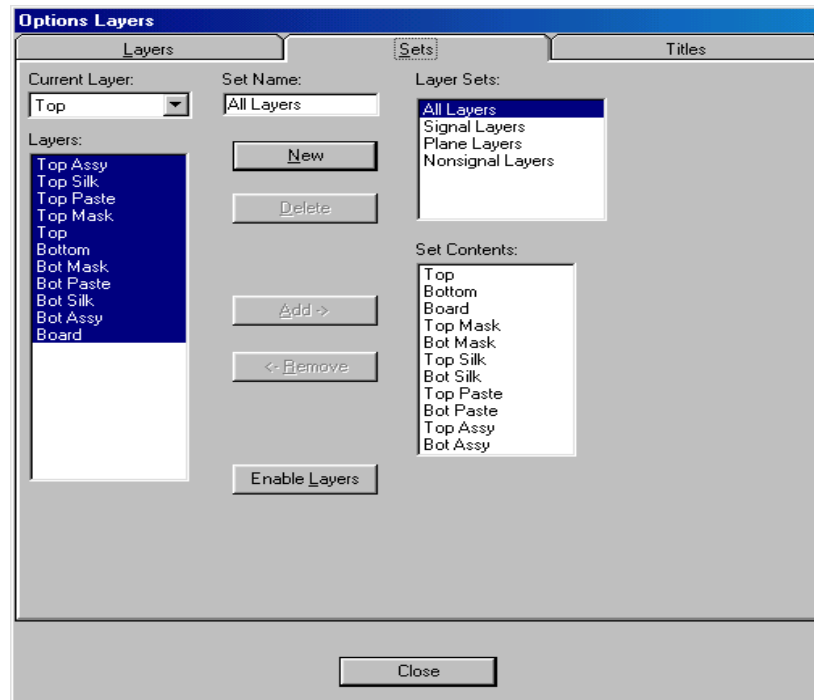


Рисунок 4.7 – Группы сигнальных слоев

В закладке **Titles** меню **Options/Layers** (рис. 4.8) можно редактировать оформление послойных чертежей печатной платы и ее сборочного чертежа (если установлена утилита **P-CAD Document Toolbox**).

В окне **Layers** отображается список установленных слоев платы.

Границы изображения листа с высотой и шириной, установленными соответственно в окнах **Height** и **Width** области **Border**, могут быть выведены на экран установкой флажка **Display Border**.

Если точка привязки границы листа не совпадает с левым нижним углом рабочего поля, то в области **Relative Origin** задаются координаты точки привязки.

Деление листа на зоны по границе листа форматки в горизонтальном и вертикальном направлениях производится в области **Zones** и подобластях **Horizontal** и **Vertical**. В окнах **# of Zones** задается число зон, а вид их нумерации - алфавитный или цифровой, определяется соответственно флажками **Alpha** (буквенный) или **Numeric** (цифровой). Направление увеличения номеров зон сверху вниз и слева направо устанавливается флажками **Ascending** и **Descending** соответственно. При включении флажка **Annotate Zone Information** видно отображение нумерации зон на экране. Стиль текста для нумерации зон выбирается в окне **Text Style**.

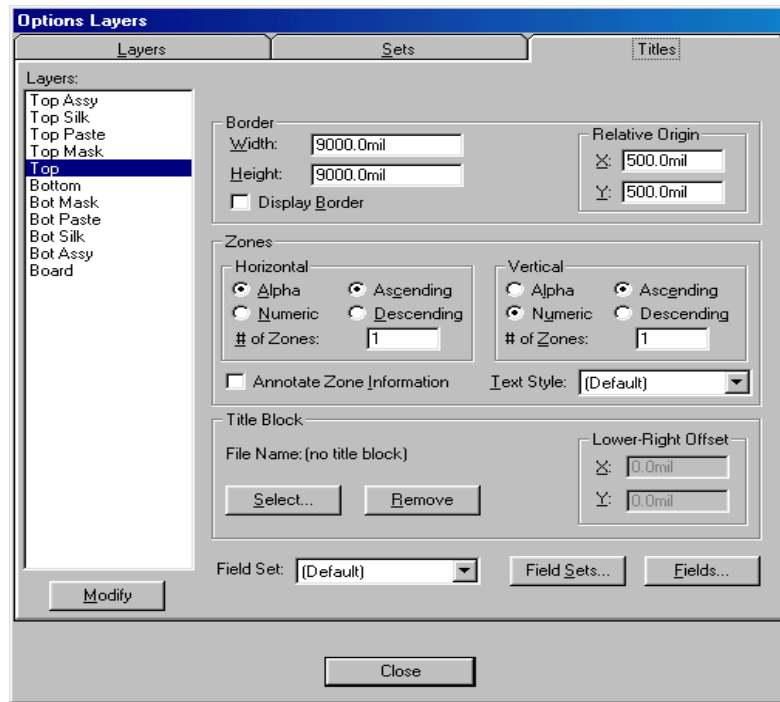


Рисунок 4.8 – Задание вида форматки листа

Основная форматка (надпись) подключается при нажатии на кнопку **Select** в области **Title Block** и последующем выборе соответствующего файла с расширением **.tbk**. В строке **File Name** появляется имя форматки. В окнах области **Lower-Right Offset** задается смещение основной надписи относительно правого нижнего угла рабочего поля.

В окне **Field Set** установлен список полей форматки по умолчанию. Для изменения списка полей и задания им атрибутов нажимается кнопка **Fields**, а затем - кнопка **Field Sets**. Все внесенные изменения на листе закрепляются после нажатия на кнопку **Modify**.

6.1.4 Ширина проводников

Список требуемых значений ширины проводников и геометрических линий устанавливается по команде **Options/Current Line** (рис. 4.9).

В окно **Line Width** вводится требуемая ширина проводника и нажимается кнопка **Add** для внесения проводника в список. Ширина текущего проводника может выбираться из этого списка, а также с помощью строки состояния экрана монитора.

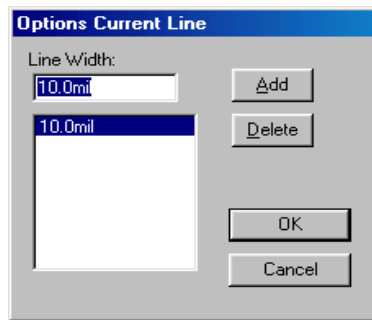


Рисунок 4.9 – Задание ширины линий и проводников

6.1.5 Задание барьеров для трассировки.

Как правило, не во всем пространстве ПП можно проводить трассировку. Поэтому с помощью команды **Options/Current Keepout** (рис. 4.10) устанавливается стиль **Style** (линия — **Line**, или многоугольник — **Polygon**) и слой (текущий — **Current** или все слои - АН) для *барьеров — областей запретов для трассировки*. Граница области запретов вводится (рисуеться) в слое **Keepout** командой **Place/Keepout**.

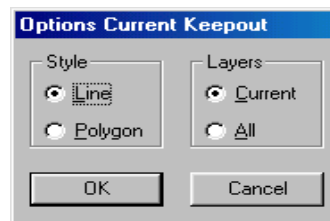


Рисунок 4.10 – Меню установки барьеров трассировки

6.2 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 устанавливаются 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).

6.2.1 Упаковка схемы на печатную плату

Вначале необходимо по команде **Utils/Load Netlist** (рис. 4.13) загрузить файл списка соединений (расширение .net) печатной платы (как создается этот файл сформулировано в главе 3 «Графический редактор P-CAD Schematic»).

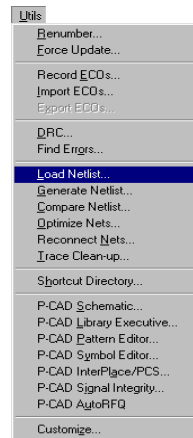


Рисунок 4.13 – Меню команды загрузки файла соединений

После загрузки команды **Utils/Load Netlist** выводится сообщение (рис. 4.14) о необходимости соблюдать следующие ограничения:

- компоненты с совпадающими на плате и схеме позиционными обозначениями (RefDes) 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;



Рисунок 4.14 – Сообщения о загрузке списка соединений на плату, имеющую предварительно установленные компоненты и проведенные связи

- после выполнения команды нельзя восстановить первоначальный вид печатной платы с предварительно размещенными компонентами, поэтому ее 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 еще не проведенных электрических связей.

При установке курсора (не нажимая левую кнопку мыши) на объект размещения появляется информация о позиционном обозначении компонента, его типе и значении атрибута компонента, а для электрической цепи — ее номер (имя) и имена компонентов и их контактов, которые цепь соединяет.

По команде `Library/Setup` можно просмотреть перечень открытых библиотек.

Теперь можно размещать компоненты схемы в контуре печатной платы.

6.2.2 Размещение компонентов на плате

После упаковки схемы на печатную плату можно приступить к упорядоченному (с точки зрения разработчика) размещению компонентов на плоскости платы. Попытки разработки алгоритмов для автоматического размещения компонентов на плату, увы, не привели к сколько-нибудь приемлемым результатам, удовлетворяющих разработчика. Слишком много условий, которые не поддаются формализации, возникает при разработке каждого проекта. Поэтому утвердилась практика размещать компоненты на плату вручную.

«Паутина» линий связей, появляющаяся между компонентами, позволяет разработчику ориентироваться при размещении компонентов. При перемещении компонентов указанная «паутина» перемещается вместе с компо-

нением. 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 (рис. 4.15).

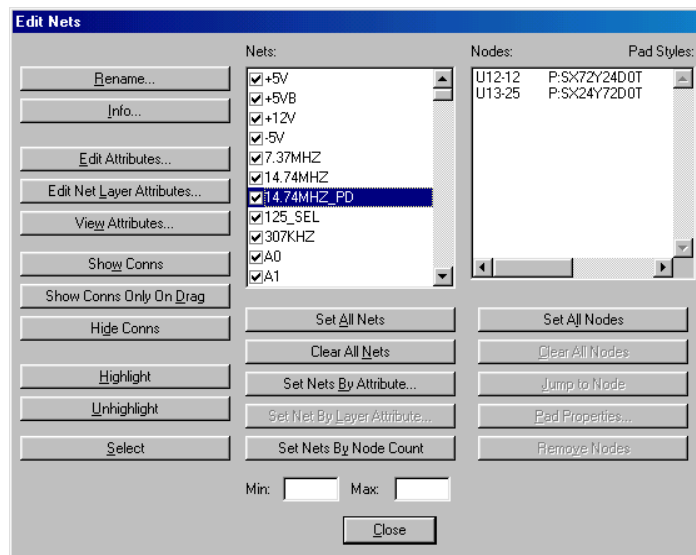


Рисунок 4.15 – Диалоговое окно команды Edit/Nets

В окне Nets отображены имена всех цепей проекта, а в окне Nodes указаны имена компонентов и номера их контактов, связанные с выделенной цепью. Можно выделить все цепи списка (кнопка Set All Nets). Или после нажатия на кнопку **Set Nets By Attribute** выделить все цепи, имеющие одинаковое значение атрибута (например, одинаковую ширину проводника **Width**). Выделение цепей по атрибуту производится в появившемся диалоговом окне. Снятие выделения всех цепей производится кнопкой **Clear All Nets**.

Нужную цепь можно выделить по ее имени. Кнопка **Set Nets By Node Count** позволяет выбрать цепи с минимальным и максимальным числом контактов, значения которых устанавливаются в окнах Min и Max.

Кнопка **Edit Attributes** разрешает перейти к редактированию или установке атрибутов выделенной цепи. Кнопка **View Attributes** открывает редактор **Notepad** для просмотра установленных атрибутов цепи.

Нажатие кнопки **Info** отражает всю информацию о выделенной цепи.

Кнопка **Show Conns** подсвечивает на экране все фрагменты, соответствующие выбранной цепи, а кнопка **Show Conns Only on Drag** включает видимость всех связей только при перемещении компонента.

Кнопка **Hide Conns** скрывает отображение выделенной цепи и ее связей.

Кнопки **Highlight** и **Unhighlight** высвечивают или убирают подсветку выделенной цепи или цепей. Если выделена цепь и ее узел в окне **Nodes**, то нажатие кнопки **Jump to Node** позволяет перейти к указанному узлу. Кнопка **Select** позволяет перейти к редактированию выбранной цепи.

Кнопка **Pad Properties** позволяет изменить стиль контактной площадки.

Автоматическое выравнивание компонентов на печатной плате

Для автоматического выравнивания компонентов после размещения на печатной плате вначале их надо выделить (при выборе второго и последующего компонентов удерживать клавишу Ctrl). Затем нажать правую кнопку мыши, выбрать точку привязки Selection Point и установить ее в точку печатной платы, относительно которой будет производиться выравнивание. Вновь нажать правую кнопку мыши и выбрать строчку **Align**. В области **Alignment** диалогового окна (рис. 4.16) выбрать одно из трех возможных направлений выравнивания:

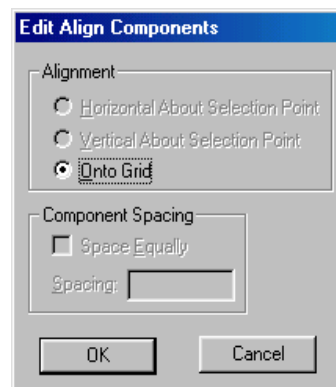


Рисунок 4.16 – Окно команды выравнивания компонентов на плате

- **Horizontal About Selection Point** - выравнивание по горизонтали относительно указанной на плате точки привязки;
- **Vertical About Selection Point** - выравнивание по вертикали относительно точки привязки;
- **Onto Grid** — выравнивание в узловые точки сетки.

В области **Component Spacing**, если установлен флажок **Space Equally**, то в окне **Spacing** можно точно установить расстояние между выравниваемыми

компонентами в выбранной системе единиц. Заметим, что указанные команды выравнивания не действуют на зафиксированные компоненты.

6.2.3 Редактирование компонента

При размещении компонентов на печатной плате зачастую требуется скорректировать свойства компонента: изменить тип посадочного места, переместить или изменить имя компонента, зафиксировать компонент и т. п. Для этих целей служит команда **Edit/Properties**, которая становится доступной после выделения компонента. Окно этой команды содержит пять закладок, которые в полной мере решают задачи редактирования компонента. Первая закладка **Pattern** представлена на рис. 4.17.

Флажок **Fixed** фиксирует компонент в заданном месте платы. В этом случае к компоненту нельзя применить операции переноса, вращения, зеркального отображения, вырезания, удаления, смены посадочного места и т. д. Если же компонент не зафиксирован, то к нему можно применять все возможные в указанном меню действия.

Могут быть отредактированы атрибуты номинала (Value), тип (Type) компонента и его позиционное обозначение (RefDes).

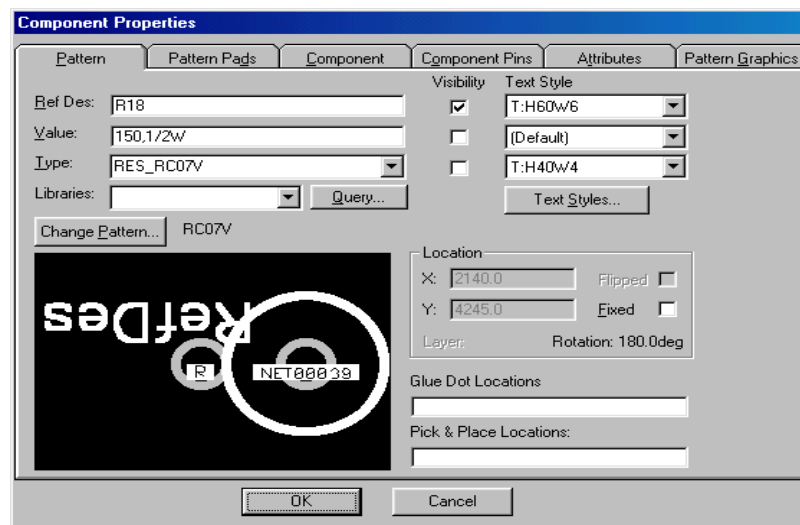


Рисунок 4.17 – Закладка Pattern редактирования компонента

После нажатия на кнопку **Change Pattern** можно изменить посадочное место компонента.

В окнах **Location** отображаются координаты точки привязки компонента. Флажок **Flipped** служит индикатором переноса компонента на противоположную сторону платы. В строке **Rotation** показан угол поворота компонента относительно его базового положения, зафиксированного в библиотеке компонентов. В области **Visibility**, при включении соответствующих

флажков, устанавливается видимость позиционного обозначения, номинала и типа компонента.

При нажатии на кнопку **Query** из открытых библиотек можно выбрать компоненты с одинаковыми признаками (столбец **Field**) для возможной замены выбранного компонента.

На рис. 4.18 показана закладка **Pattern Pads** для редактирования контактных площадок установочного места компонента.

В окне **Pads** выводится список контактных площадок выбранного компонента. В области **Location** отображаются координаты контактной площадки, выбранной в окне **Pads**. В строке Net Name указано имя цепи, подключенной к выбранному контакту. Стиль контактной площадки указан в окне Pad Style, и его можно изменить выбором нужного стиля (из доступных в проекте) в окне **Pad Style** или после нажатия кнопки **Pad Styles**. Кнопки **Set All** и **Clear All** выделяют или снимают выделение всех контактных площадок. После проведенных изменений каждой контактной площадки нажимается кнопка **Apply**.

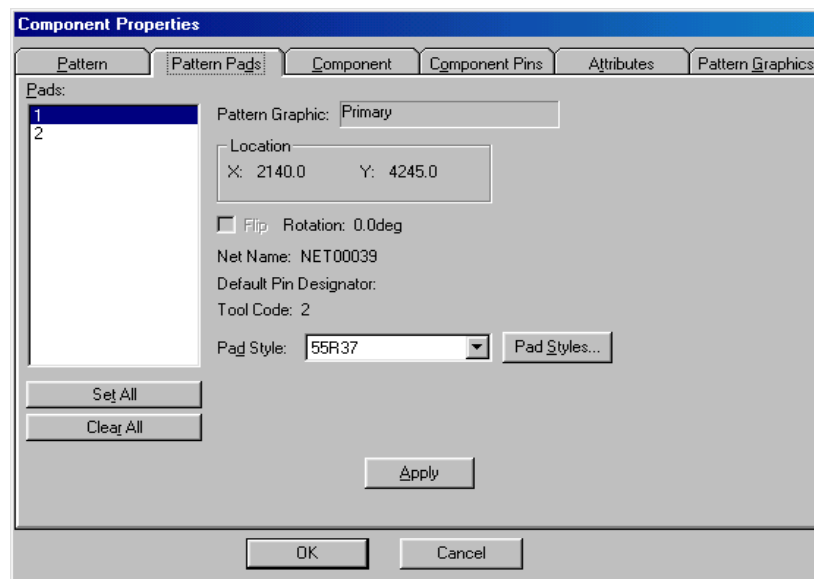


Рисунок 4.18 – Закладка Pattern Pads команды Component Properties

В следующей закладке **Component** приводится справочная информация о выбранном компоненте: имя библиотеки, в которой закодирована информация о посадочном месте компонента, его тип **Type**, имя посадочного места **Pattern Name**, число вентилях в корпусе **Number of Gates**, текущий номер вентиля **Gate Number** и т. д.

В закладке **Component Pins** представлена (но не может редактироваться) информация о выводах выбранного компонента. Эта информация

кодируется и редактируется при создании компонента в редакторе **P-CAD Library Executive**.

В закладке **Attributes** отображены атрибуты компонента. Для того чтобы изменить существующий атрибут, необходимо нажать кнопку **Properties** и в окне **Value** проставить новое значение атрибута. Чтобы добавить новый атрибут, надо нажать кнопку **Add** и затем в окне **Name** ввести имя нового атрибута, а в окне **Value** — значение атрибута. Для удаления атрибута надо выделить строку с именем и значением атрибута, а затем нажать кнопку **Delete**.

Для поиска компонента по его схемному имени, для проверки его расположения на печатной плате, проверки цепей, подсоединенных к компоненту, используется команда **Edit/Components**, диалоговое окно которой изображено на рис. 4.19.

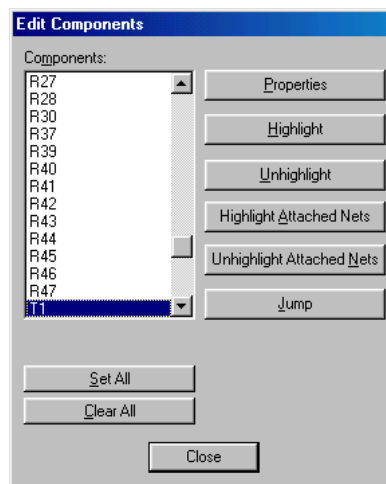


Рисунок 4.19 – Меню для редактирования компонента

В окне **Components** представлен весь список компонентов проекта. Можно выделить *на* экране цветом собственно компонент (кнопка **Hightlight**), а также все цепи, подходящие к нему (кнопка **Hightlight Attached Nets**). Можно отменить выделение цветом компонента (кнопка **Unhightlight**) и цепей, подходящих к компоненту (кнопка **Unhightlight Attached Nets**). После нажатия на кнопку **Jump** можно перейти на схеме к выделенному компоненту. И наконец, можно приступить к редактированию компонента после нажатия на кнопку **Properties**.

Команда **Utils/Force Update** позволяет заменить в проекте указанные пользователем компоненты на однотипные другие библиотечные компоненты (рис. 4.20).

В списке Components перечислены типы всех компонентов, используемых в проекте. Заменяемые компоненты можно выделить стандартным способом. Флажок **Maintain Rotation** сохраняет углы поворота компонентов. В области **Attribute and Pin Label Handling** устанавливаются следующие опции:

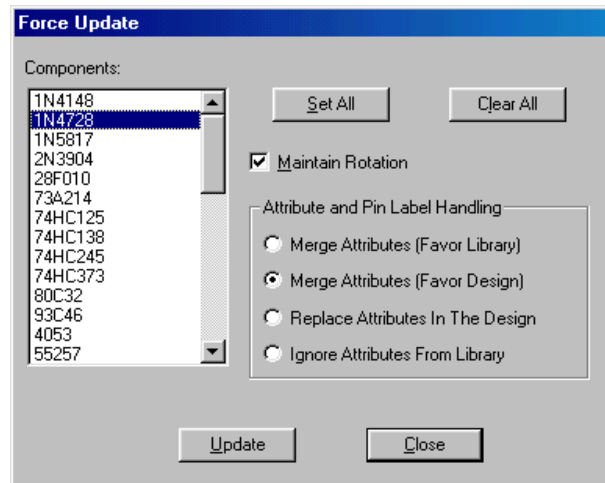


Рисунок 4.20 – Диалоговое окно Utils/Force Update

- **Merge Attributes (Favor Library)** - объединение атрибутов библиотечных компонентов с текущими атрибутами проекта, приоритет за атрибутами библиотечных компонентов;
- **Merge Attributes (Favor Design)** — объединение атрибутов библиотечных компонентов с текущими атрибутами проекта, приоритет за атрибутами проекта;
- **Replace Attributes in The Design** - замена текущих атрибутов проекта на атрибуты библиотечных компонентов;
- **Ignore Attributes From Library** — игнорирование атрибутов библиотечных компонентов. После внесения изменений нажимается кнопка **Update**.

6.2.4 Оптимизация электрических связей

Данная операция проводится перед началом трассировки соединений на печатной плате с целью минимизации общей длины физических связей между компонентами и оптимизации гистограммы плотности соединений. Для этой цели применяется команда **Utils/Optimize Nets**, окно которой представлено на рис. 4.21.

В области **Method** можно выбрать режим оптимизации:

- **Auto** — автоматическая оптимизация;

- **Manuel Gate Swap** — ручная парная перестановка эквивалентных вентиляй;
- **Manuel Pin Swap** - ручная парная перестановка эквивалентных выводов.

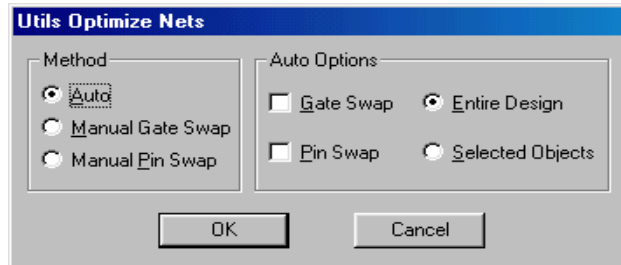


Рисунок 4.21 – Окно команды Utils/ Optimize Nets

При выборе автоматического метода размещения в области Auto Options доступны следующие опции:

- Gate Swap - перестановка эквивалентных вентиляй;
- Pin Swap — перестановка эквивалентных выводов;
- Entire Design — оптимизация связей в пределах всего проекта (после выделения всех компонентов).

Опция Selected Objects оптимизирует связи между предварительно выбранными объектами.

При перестановке выводов должны соблюдаться определенные условия:

- величина логической эквивалентности вывода Pin Eg (см. рис. 2.25) не должна быть равно нулю. И это значение должно быть одинаковым для двух переставляемых выводов. Перестановка неэквивалентных выводов производится только вручную;
- при подсоединенном к выводу цепи или области металлизации перестановка выводов не производится;
- если цепь, присоединенная к выводу, имеет атрибут Optimize="No" (цепь не оптимизируется), то перестановка выводов не производится;
- если компонент имеет атрибут Noswap="Yes" (запрещение перестановки компонента), то перестановка выводов не производится.

При перестановке вентиляй должны соблюдаться определенные условия:

- вентили должны быть логически эквивалентными и принадлежать к компонентам одного и того же типа (Type) и номинала (Value). Это ус-

ловие позволяет переставлять дискретные компоненты — резисторы, конденсаторы и т. п.;

- если цепь, присоединенная к выводу, имеет атрибут **Optimize="No"**, то перестановка вентиля не производится;
- если компонент имеет атрибут **Noswap="Yes"**, то перестановка вентиля не производится;
- при подсоединенном к выводу вентиля проводнике или области металлизации перестановка вентиля не производится.

После нажатия кнопки **ОК** происходит оптимизация электрических соединений и появляется сообщение, вид которого представлен на рис. 4.22.

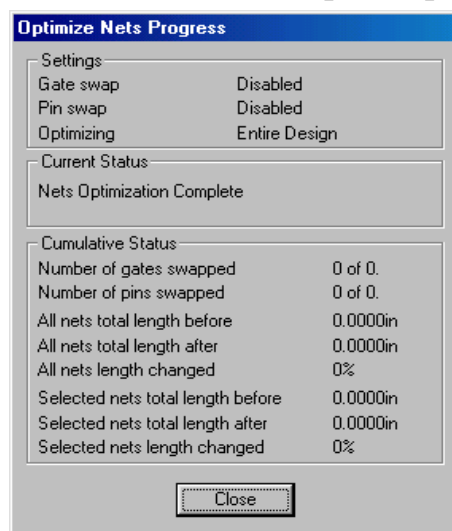


Рисунок 4.22 – Сообщение о результате автоматической перестановке вентиля и выводов компонентов

В сообщении указываются параметры оптимизации цепей (**Setting**), текущее состояние процесса оптимизации (**Current Status**) и отчет о результатах оптимизации (**Cumulative Status**):

- **Numbers of gates Swapped** - число переставленных вентиляй;
- **Numbers of pins Swapped** — число переставленных выводов;
- **All net total length before** - общая длина цепей до оптимизации;
- **All net total length after** - общая длина цепей после оптимизации;
- **All net total length changed** — относительное изменение общей длины цепей после оптимизации;
- **Selected net total length before** — длина выбранных цепей до оптимизации;

- **Selected net total length after** — длина выбранных цепей после оптимизации;
- **Selected net total length changed** - относительное изменение выбранных цепей после оптимизации.

6.3 Контрольные вопросы

- Какие слои использует редактор печатных плат?
- Какие параметры интерфейса P-CAD PCB требуют настройки перед началом создания печатной платы?
- Как совершается упаковка схемы на печатную плату?
- С какой целью может проводиться операция оптимизации электрических связей?
- Почему размещение компонентов на плате производится преимущественно вручную?

Лабораторная работа № 7

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ТРАССИРОВКА СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы: ознакомится с программами автоматической трассировки, доступными параметрами трассировки, выполнить оптимальную в каком-либо смысле трассировку печатной.

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**.

7.1 Настройка автотрассировщика **Quick Route**

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 слоев 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 запускается из графического редактора **P-CAD PCB** с помощью меню **Route/Autorouters**. Диалоговое окно автотрассировщика **Quick Route** показано на рис. 5.1.

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/KeepOut**.

В области **Strategy** диалогового окна находятся следующие кнопки:

- **Strategy File** - файл стратегии трассировки, т. е. совокупность параметров для трассировки (расширение файла - **.STR**). По умолчанию имеет имя входного файла;
- **Output PCB File** - файл с записью результатов трассировки (расширение файла — **.PCB**). По умолчанию имеет имя входного файла, но перед именем файла добавляется буква R;
- **Output Log File** - текстовый отчет о результатах трассировки (расширение файла - **.LOG**). По умолчанию имеет имя входного файла, но перед именем файла добавляется буква R.

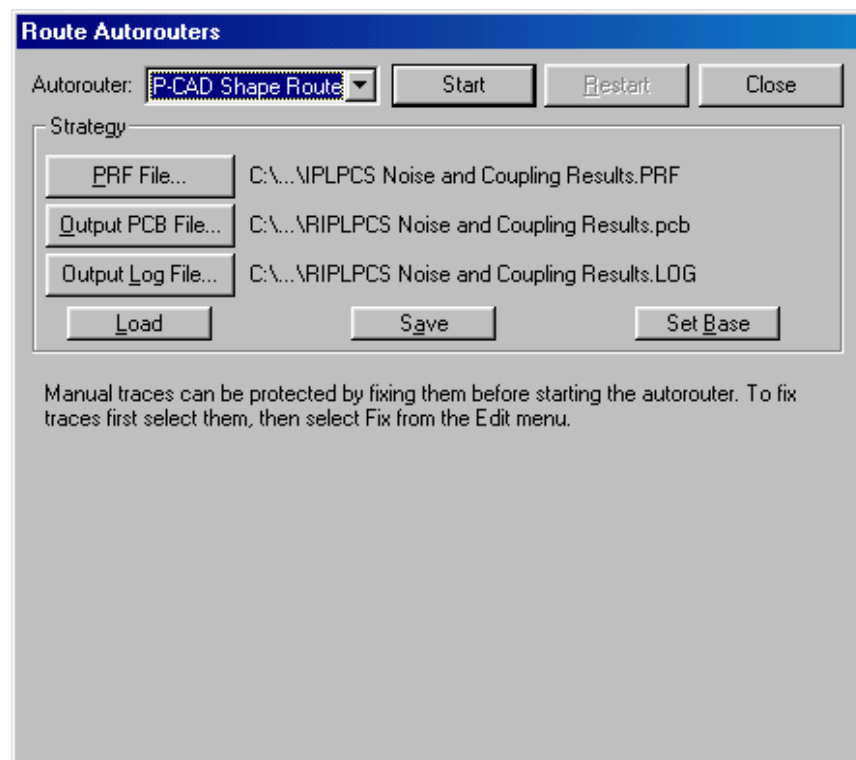


Рисунок 5.1 – Окно автотрассировщика Quick Route

Кнопка **Load** загружает готовый файл стратегии. Кнопка **Save** сохраняет выбранный файл стратегии для текущего проекта. Кнопка **Set Base** устанавливает параметры стратегии и имена перечисленных выше трех файлов по умолчанию.

Кнопка **Layers** вызывает для проверки или возможных изменений диалоговое окно **Options Layers**.

Кнопка **Net Attrs** вызывает диалоговое окно **Edit Nets** для просмотра и редактирования атрибутов цепей или редактирования атрибутов.

Кнопка **Via Style** вызывает диалоговое окно **Options Via Style** для просмотра и редактирования стеков контактных площадок. Переходные от-

версия, которые всегда располагаются в узлах сетки трассировки, для различных цепей можно задавать с помощью атрибута **VIATYPE**. Максимальный диаметр переходного отверстия ограничен двумя шагами сетки трассировки.

7.2 Возможности по оптимизации алгоритма трассировки

После нажатия на кнопку **Passes** в диалоговом окне **Pass Selection** (рис. 5.2) простановкой соответствующих флажков выбираются *типы проходов трассировки*.

Wide Line Routing - автотрассировщик производит разводку в первую очередь «широких» цепей, имеющих атрибуты **AUTOROUTEWIDE** и **WIDTH**. Разводка производится только в горизонтальном и вертикальном направлениях. Наклонные трассы проводятся вручную, и при дальнейшем запуске **QuickBoute** ширина таких трасс трассировщиком не изменяется.

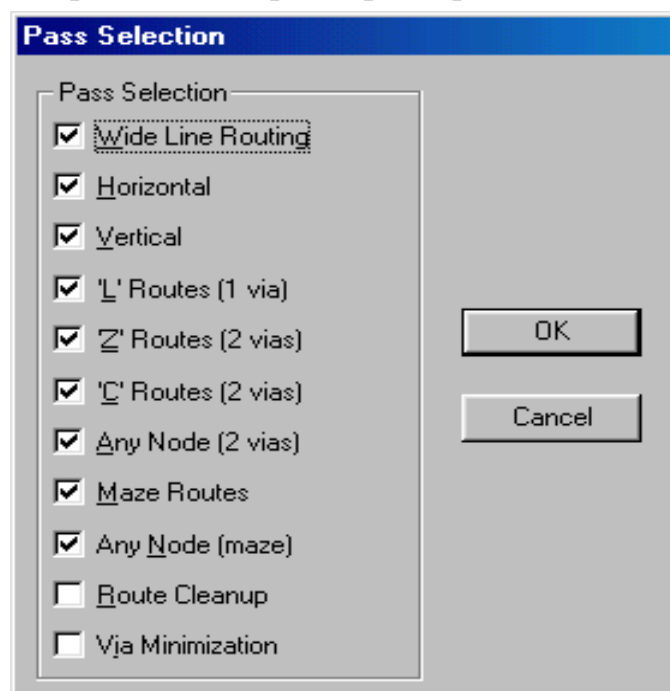


Рисунок 5.2 – Окно выбора шагов трассировки

Вначале рекомендуется запустить автотрассировщик (рис. 5.3) только при активном проходе **Wide Line Routing** (другие проходы должны быть запрещены). Если не выполнена трассировка «широких» трасс, то доводка трасс производится вручную. Трассировщик можно запускать несколько раз с активизацией всех проходов, за исключением двух оптимизирующих - **Route Cleanup** и **Via Minimization**.

Horizontal — трассировка простых трасс только горизонтальными линиями без переходных отверстий с минимальными отклонениями от горизонтальной линии.

Vertical — трассировка простых трасс только вертикальными линиями без переходных отверстий с минимальными отклонениями от вертикальной линии.

"L" Routes (1 via) - формирование фрагментов цепи, имеющих два проводника (вертикальный и горизонтальный), расположенных в двух разных слоях и соединяемых переходным отверстием. Такая конфигурация имеет вид буквы L с различной ее ориентацией. Проводники размещаются на расстоянии не *более 100 mil (2,5 мм)* от сторон прямоугольника, вершины которого расположены в центре двух соединяемых трассой контактных площадок. Если противоположные слои платы имеют ориентацию трассы отличную от ортогональной, то данный проход не используется.

"Z" Routes (2 vias) — формирование фрагментов цепи, имеющих три проводника (вертикальные и горизонтальные), расположенных в двух разных слоях и соединяемых двумя переходными отверстиями. Такая конфигурация имеет вид буквы Z с различной ее ориентацией. Проводники размещаются на расстоянии не *более 100 mil (2,5 мм)* от сторон прямоугольника, вершины которого расположены в центре двух соединяемых трассой контактных площадок. Если противоположные слои платы имеют ориентацию трассы отличную от ортогональной, то данный проход не используется.

"C" Routes (2 vias) - формирование фрагментов цепи, имеющих три проводника (вертикальные и горизонтальные), расположенных в двух разных слоях и соединяемых двумя переходными отверстиями. Такая конфигурация имеет вид буквы C с различной ее ориентацией. Проводники размещаются на расстоянии *более чем 100 mil (2,5 мм)* от сторон прямоугольника, вершины которого расположены в центре двух соединяемых трассой контактных площадок.

Any Node (2 vias) - попытка трассировки связи между двумя контактными площадками с введением не более чем двух переходных отверстий с целью выполнения наиболее полной трассировки схемы. При этом оптимизация (минимизация) длины трассы, в отличие от предыдущих проходов, не производится.

Maze Routes - оптимизирующая «лабиринтная» трассировка, не имеющая ограничений на ориентацию проводников на слое. Нет ограниче-

ний и на число переходных отверстий. Максимальное число переходных отверстий для одной цепи устанавливается атрибутом MAXVIAS (по умолчанию число переходных отверстий для одной трассы равно 10). Поскольку лабиринтная трассировка уменьшает число свободных каналов для разводки остальных цепей, то рекомендуется вначале сделать разводку при выключенном проходе **Maze Routes**, затем провести ручную разводку сложных участков платы, а затем вновь запустить трассировку при включенном проходе **Maze Routes**.

Any Node (maze) - «лабиринтная» трассировка без оптимизации длины трассы, с целью попытки проведения трассы «любой ценой».

Route Cleanup - используется для улучшения «внешнего вида» печатной платы путем спрямления уже проведенных трасс. Проход используется после завершения разводки всех электрических цепей.

Via Minimization — уменьшает число переходных отверстий на разведенной плате.

Последние два прохода рекомендуется использовать совместно после полного завершения трассировки.

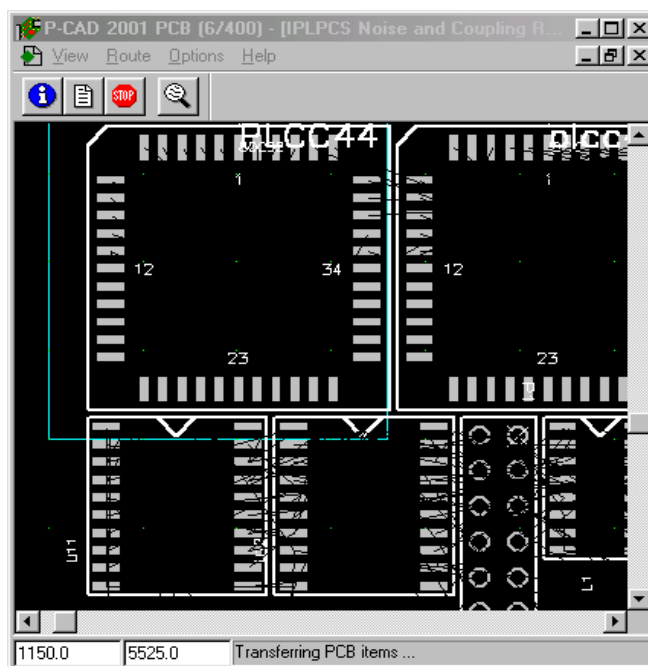


Рисунок 5.3 Окно трассировщика Quick Route

В строке **Routing Grid** окна **Route Autorouters** определяется сетка трассировки из четырех возможных значений шагов трассировки: 25 mil, 20 mil, 16,7 -16,6 - 16,7 mil (для нерегулярной сетки) и 12,5 mil. Другие значения шагов трассировки, включая и метрическую систему единиц, запрещены.

В строке Line Width выбирается ширина всех проводников. Минимальное значение ширины - 0,1 mil (0,01 мм - в метрической системе). Максимальное значение ширины проводников ограничено выбранным шагом сетки трассировки. Если необходимо задать ширину отдельного проводника, то она определяется при выполнении команды Edit/Nets заданием атрибута WIDTH.



Внимание! Область переключателя *Error Messages* позволяет вывести сообщения об ошибках на экран монитора (*Output to Screen*), в файл диагностики (*Output to Log File*) или как в файл, так и на экран (*Output to Both*).

7.3 Ограничения для QuickRoute

- Используются только простые контактные площадки и переходные отверстия, имеющие одну и ту же форму на всех слоях;
- Для цепей, не имеющих атрибута AUTOROUTEWIDE, допускается только один стиль переходных отверстий;
- Широкие цепи, разводимые на проходе **Wide Line Routing**, должны иметь атрибуты VIASTYLE, WIDTH и AUTOROUTEWIDE. Значения ширины проводника и стили переходных отверстий устанавливаются разными для каждой широкой цепи;
- Диаметр переходного отверстия не должен превышать двойного размера текущей сетки трассировки;
- Метрическая сетка трассировки не разрешается, а разрешенные сетки трассировки могут иметь шаги 10 мил, 12,5 мил, 16,7-16,6-16,7 мил, 20 мил и 25 мил; "V"
- Ширина проводника не должна превышать половину шага текущей сетки;
- Атрибут RIPUP трассировщиком не поддерживается;
- Атрибут MAXVIAS используется только при разводке типа «лабиринт»;
- Для переходных отверстий специальную сетку создать нельзя;
- Выводы компонентов разрешено поворачивать только на 90°;
- Допускается не более четырех слоев металлизации.

7.4 Контрольные вопросы

- Что такое трассировка печатной платы?
- Назовите основные настройки алгоритмов трассировки.
- Чем отличаются программы автоматической трассировки, входящие в состав P-CAD?
 - Какие возможности по оптимизации алгоритма трассировки предоставляет QuickRoute?
 - Как отличить картину проводников принадлежащую верхнему слою двухслойной печатной платы от картины нижнего слоя?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уваров А. С. Проектирование и конструирование электронных устройств. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2004. – 760 стр.
2. Лопаткин А. В. P-CAD 2004. – П.: БХВ-Петербург, 2006. – 550 с
3. Стешенко В. Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат. – П.: БХВ-Петербург, 2003. – 720 с.
4. Саврушев Э. Ц. P-CAD для Windows. Система проектирования печатных плат. – М.: ДМК прес, 2002. – 320 с.
5. Сучков Д. И. Основы проектирования печатных плат в САПР P-CAD 4.5, P-CAD 8.5 - 8.7 и ACCEL EDA. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2000. – 620с.
6. Разевиг В. Д. Система P-CAD 2000. Справочник команд – М.: Горячая Линия – Телеком, 2001. – 256 с.
7. Мактас М. Я. Восемь уроков по P-CAD 2001. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 224 с.