

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



**Кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой КИПР

\_\_\_\_\_ **В.Н. Татарин**

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2012 г.

## **Автоматическая трассировка проводников печатных плат в P-CAD**

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

Разработчик:

Доцент кафедры КИПР

\_\_\_\_\_ **Ю.П. Кобрин**

Томск 2012

---

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Цель работы.....	3
2	Порядок выполнения работы.....	3
3	<b>Трассировка проводников печатных плат в автоматическом режиме</b>	<b>4</b>
3.1	Алгоритмы автоматической трассировки ПП.....	4
3.2	Характеристика программ автоматической трассировки в системе <b>P-CAD 2006</b> .....	6
3.3	Автоматическая трассировка печатных плат программой <b>Quick Route</b> .....	7
3.3.1	Настройка программы <b>Quick Route</b> .....	7
3.3.2	Трассировка печатных плат программой <b>Quick Route</b> .....	12
3.4	Автоматическая трассировка печатных плат программой <b>Pro Route</b>	15
3.4.1	Настройка программы <b>Pro Route</b> .....	15
3.4.2	Трассировка ПП программой <b>P-CAD PRO Route</b> .....	19
3.5	Автоматическая трассировка печатных плат программой <b>Shape-Based Route</b> .....	20
3.5.1	Настройка программы <b>Shape Based Route</b> .....	20
3.5.2	Трассировка ПП программой <b>Shape Based Route</b> .....	30
3.6	Заключение.....	31
4	<b>Формирование документации</b> .....	<b>32</b>
4.1	Оформление чертежей.....	32
4.2	Вывод конструкторской документации на бумажный носитель.....	33
5	<b>Контрольные вопросы</b> .....	<b>35</b>
6	<b>Отчетность</b> .....	<b>35</b>
	<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>35</b>

---

---

## 1 Цель работы

1. Изучение методики автоматической трассировки проводников печатных плат программами **Quick-Route** и **Shape Based Router**.
2. Приобретение практических навыков работы с графическим редактором **P-CAD PCB** при решении задачи автоматической трассировки.
3. Получение практических навыков в оформлении чертежей, генерации отчетов и вывода на бумажный носитель.

## 2 Порядок выполнения работы

1. Проанализируйте основные рекомендации по трассировке проводников печатных плат (ПП) РЭС (разд. 3) [1 -7].
  2. Загрузите в **PCB Editor** файл с размещенными в ходе выполнения предыдущего этапа проектирования ЭРЭ [12] и выполните последовательность действий по практической трассировке ПП учебного примера с помощью программы **PCB Editor** в автоматическом режиме.
  3. Выполните средствами **PCB Editor** трассировку проводников печатной платы своего проекта в автоматическом режиме.
  4. Сформируйте необходимую конструкторскую документацию в соответствии с разделом 4 и выведите ее на бумажный носитель.
  5. Ответьте письменно на контрольные вопросы (раздел 5).
  6. Составьте и защитите отчет о выполненной работе (раздел 6) .
-

### 3 Трассировка проводников печатных плат в автоматическом режиме

#### 3.1 Алгоритмы автоматической трассировки ПП

В основе многих алгоритмов автотрассировки лежит алгоритм С. Ли, называемый также **волновым алгоритмом**. Работа данного алгоритма и его модификаций разделена на два этапа - **распространение волны** и **проведение трассы**:

- 1 шаг.** Плата разбивается на прямоугольные площадки - дискретов. Задача проведения трассы сводится к получению цепочки дискретов, соединяющих соответствующие выводы компонентов.
- 2 шаг** (формирование целевой функции). Задается целевая (весовая) функция, являющаяся критерием качества пути. Аргументами целевой функции являются численные характеристики данной трассы: длина пути, число пересечений, переходов со слоя на слой и т.д. Несомненно, что выбор целевой функции - задача номер один при проектировании соответствующего алгоритма автотрассировки.
- 3 шаг** (распространение волны). Начиная с площадки, соответствующей началу трассы (**дискрет-исток**), площадкам, соседним с ранее просмотренной, присваивается определенное значение целевой функции (распространение волны). Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнута конечная точка трассы (**дискрет-сток**).
- 4 шаг** (проведение трассы). Трасса проводится таким образом, чтобы значения масс площадок монотонно убывали (или возрастали, в зависимости от выбранной целевой функции).

В ряде модификаций волнового алгоритма вводится этап коррекции проложенной трассы на предмет уменьшения изломов и т.п.

Ряд алгоритмов предполагает использование идей **построения максимальных потоков на сети**. При этом множество площадок платы заменяется сетью, клеткам графа решетки в соответствие ставятся узлы сети, а границам площадок - ребра, соединяющие эти узлы. Цепью является множество точек, состоящее из непересекающихся подмножеств, одно из которых называется "источником", а другие "стоком". Цепь считается проведенной, если построена трасса, соединяющая одну точку источника только с одной точкой каждого стока. Точкам цепи соответствуют некоторые узлы на сети. Проведенной цепи ставится в соответствие дерево с ориентированными ребрами, причем ориентация идет от источника к стоку. Дерево строится по звеньям, и производится последовательное присоединение очередного стока к построенному фрагменту дерева. Алгоритм построения звена состоит из предварительного этапа, этапа распространения волны, выделения корректировочного маршрута и этапа корректировок. На предварительном этапе в узлы и ребра сети ставятся признаки (флаги) запрета и свободы. Введение запретов и задержек прохождения по ребрам сети соответствует введению запретов и ограничений на проведение трасс. Это позволяет уменьшить паразитные емкости проводников. Если в результате трассировки всех цепей окажется, что некоторые вершины какой-либо цепи изолированы, т.е. невозможно проведение трассы к уже существующему фрагменту, то эти вершины переносятся на другой слой платы.

Модификации волнового алгоритма позволяют построить путь минимальной длины между точками на плоскости, если между ними существуют препят-

---

ствия для проведения соединений. Однако волновой алгоритм связан со значительными временными затратами на решение задач. При этом на этап распространения волны приходится порядка 90% вычислений, в то время как на этап проведения трассы приходится 10%. Вместе с тем, в большинстве схем при удачном размещении значительная часть соединений имеет достаточно простую форму. Очевидно, в этом случае для проведения пути нет необходимости рассматривать все дискреты сетки. В этих случаях обычно используются **лучевые алгоритмы трассировки** (в частности, известен алгоритм Л. Б. Абрайтиса). Основная идея лучевого алгоритма состоит в исследовании решетки для определения пути между вершинами по некоторым заранее заданным направлениям (лучам).

Помимо волнового алгоритма и его модификаций в САПР печатных плат используют алгоритмы, основанные на **методе прокладки каналов**. В его основе лежит идея разбиения графа схемы на несколько плоских субграфов с переходами между слоями не только по вершинам графа, но и с помощью введения дополнительных вершин, соответствующих переходным отверстиям платы. Для каждой рассматриваемой трассы предполагается построение такого рабочего поля, что время нахождения пути между двумя вершинами не зависит от расстояния между ними. Трассы и координаты возможного расположения вершин графа и дополнительно введенных вершин представляют собой регулярную структуру. На одном слое эта структура является системой горизонтальных, на другом - вертикальных линий, по которым прокладываются проводники и вводятся переходные отверстия. При трассировке каждой паре координат решетки для возможной установки вершины ставится в соответствие вертикальный и горизонтальный каналы, по которым могут проходить трассы возможных соединений вершин графа схемы. Каналы характеризуются числом параллельных ребер (**магистралей**) и числом возможных межслойных переходов в сечении канала. Каждый канал характеризуется координатой, пропускной способностью, максимальным числом магистралей, которые можно проложить в слое, а также загрузкой канала, под которой понимается число трасс, проложенных в канале.

**Работа канального алгоритма** состоит из двух этапов. На первом этапе вычисляются таблицы загрузки каналов, затем каждая вершина и каждый участок канала между двумя вершинами представляются в укрупненном рабочем поле одной элементарной площадкой. При распространении волны площадкам присваивают путевые координаты и веса. Распространяющаяся волна скачком переходит от одной вершины координатной сетки к другой, независимо от фактической длины канала между этими вершинами. Трасса прокладывается по участкам канала с наименьшим весом. На втором этапе алгоритма производится распределение трасс внутри каналов по магистральям.

Некоторую особенность имеют алгоритмы автоматической трассировки, работающие более чем в двух слоях. В этом случае одним из существенных ограничений является сведение к минимуму длины проводников, идущих параллельно в разных слоях. Наличие таких участков приводит к паразитным наводкам и препятствует повышению быстродействия схемы. Кроме того, технологически трудно осуществить переход из слоя в слой в любой точке платы. В этом случае целесообразно начинать проведение трасс с кратчайших соединений, переходя затем к более длинным связям, что позволяет значительно повысить плотность монтажа.

Рассмотренные алгоритмы имеют общей чертой наличие координатной решетки (сетки). Принципиально отличными от них являются бессеточные алгоритмы программы **SPECCTRA** фирмы **Cadence**, которая может поставляться совместно с **P-CAD 2006**.

---

### 3.2 Характеристика программ автоматической трассировки в системе *P-CAD 2006*

В штатный набор поставки *P-CAD 2006* входят программы автотрассировки **Quick-Route**, **ProRoute 2/4**, **ProRoute** и **P-CAD Shape Route**, а также интерфейс к программе **SPECCTRA** фирмы **CADENCE**.

Выбор программы автотрассировщика осуществляется в раскрывающемся списке **Autorouter** диалогового окна (рис. 3.1), которое открывается при помощи команды **Route / Autorouters** графического редактора печатных плат *P-CAD PCB*.



Рисунок 3.1 - Диалоговое окно *Route Autorouters*

Пункты раскрывающегося списка соответствуют названию программ:

- Программа **Quick Route** использует простейшие алгоритмы и предназначена для трассировки несложных плат, включающих не более 4-х слоев металлизации и содержащих небольшое число компонентов.
- Автотрассировщик **PRO Route 2/4** позволяет проводить трассировку однослойных и двухслойных плат без ограничения числа выводов либо четырехслойных плат с числом выводов компонентов до 4000.
- Автотрассировщик **P-CAD PRO Route** свободен от этих ограничений и позволяет проводить трассировку плат, имеющих до 32 слоев.
- Трассировщик **P-CAD Shape Route** основан на бессеточной технологии (**Shape-Based**) и реализует принципы оптимизации нейронных сетей, что позволяет существенно улучшить качество трассировки.. Программа предназначена для трассировки многослойных ПП (до 30 слоев) с высокой плотностью размещения ЭРЭ и реализует такие алгоритмы, которые стремятся получить 100% трассировки соединений. Работает программа в автоматическом, интерактивном и ручном режимах.
- Из этого окна также может быть запущен и трассировщик **SPECCTRA**.

### 3.3 Автоматическая трассировка печатных плат программой *Quick Route*

#### 3.3.1 Настройка программы *Quick Route*

Для работы с программой автотрассировки **Quick-Route** надо запустить программу **P-CAD PCB**. В ней открыть файл размещения элементов на печатной плате, которую необходимо трассировать - «**Размещение**» (рис. 3.2) и сохранить его под именем **QuickRoute** с помощью команд **File / Save as...**

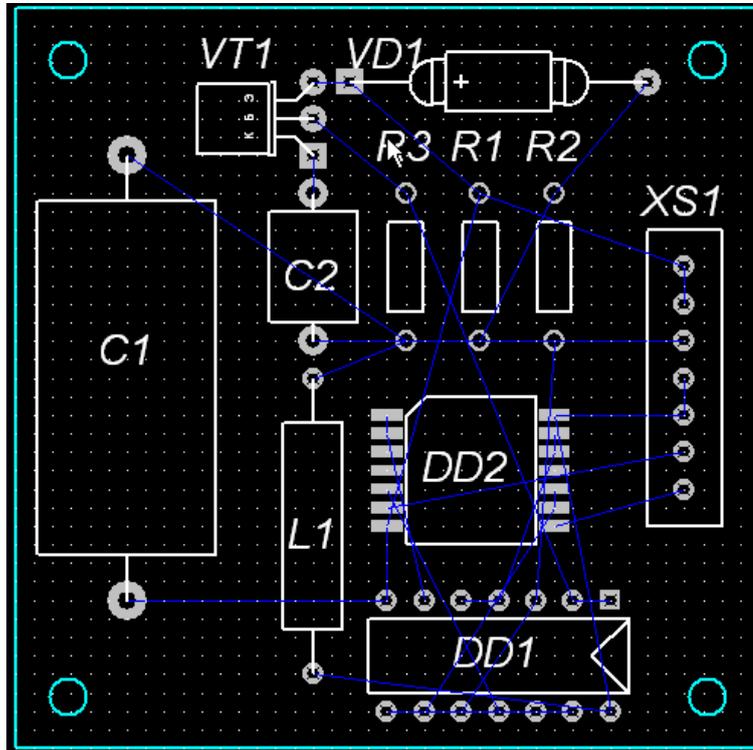


Рисунок 3.2 - Открытие файла размещения элементов на ПП

Затем выполнить команды **Route / Autorouters**, по которым откроется одноименное окно (рис. 3.3), в котором выбирается программа-трассировщик **Quick**

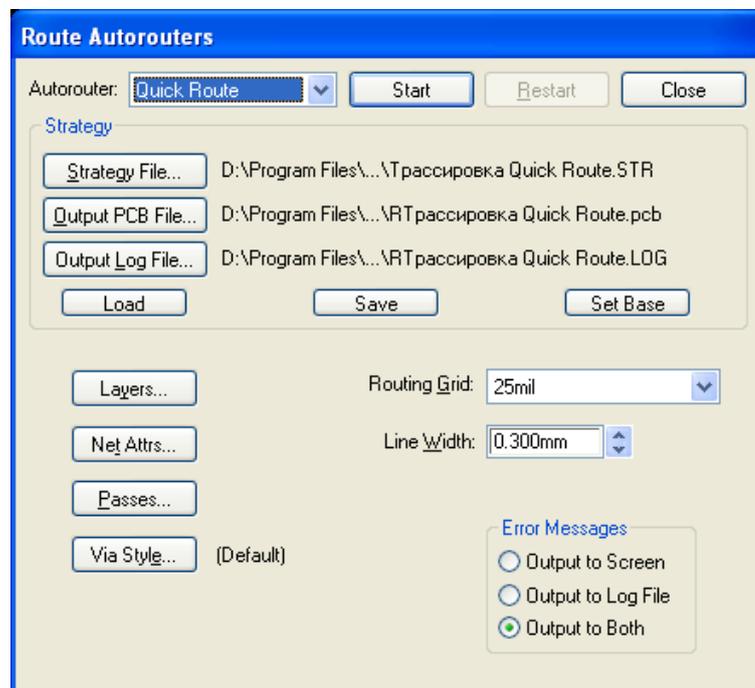


Рисунок 3.3 - Настройка режимов работы программы *Quick Route*

**Route** и настраиваются режимы трассировки.

### ■ Сформировать файлы трассировки.

В разделе **Strategy** окна **Route Autorouters** задать следующие имена файлов.

- При нажатии кнопки **Strategy File** (стратегия трассировки) вызывается стандартное диалоговое окно выбора файла **Windows** (расширение **.str**). Установить «**Трассировка Quick Route.str**»

- При нажатии кнопки **Output PCB File** (имя файла выходной ПП) определяется выходной файл оттрассированной печатной платы. По умолчанию имеет то же имя, что и входной файл, но перед названием добавляется префикс **R**.

- При нажатии кнопки **Output Log File** (протокол трассировки) создается файл отчета о трассировке с расширением **log**, в него заносится информация о ходе трассировки, которая анализируется при каждом новом запуске. По умолчанию имеет то же имя, что и входной файл, но перед названием добавляется префикс **R** - «**RTрассировка Quick Route.log**».

- Для сохранения выбранного файла стратегии нажать на кнопку **Save**.
- **Load** - позволяет загрузить готовый файл стратегии.
- **Set Base** - предоставляет возможность установить параметры стратегии трассировки по умолчанию.

### ■ Задать параметры слоев.

- Нажать кнопку **Layers**.
- В открывшемся окне **Options Layers** на закладке **Layers** (рис. 3.4) для слоев **Top** и **Bottom** задать тип **Signal** (Сигнальный), в поле **Routing Bias** (Трассировать) выбрать **Auto** (Автоматически), а для слоев **Board** и **Top Mask - on Signal** (Не сигнальный).

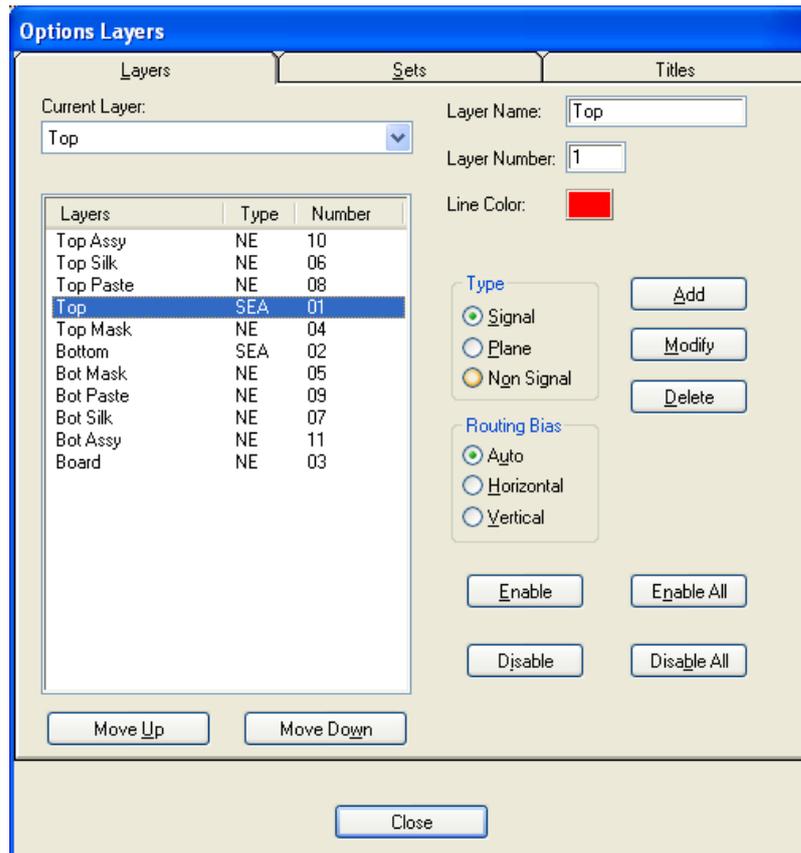


Рисунок 3.4 - Задание параметров слоев

- Нажать кнопку **Close**.
- **Задать параметры сеток и ширины проводников<sup>1</sup>.**
  - В раскрывающемся списке **Routing Grid** определяется сетка трассировки. Всего имеется 4 значения:
    - **25 mil;**
    - **20 mil;**
    - **16.7 mil - 16.6 mil -16.7 mil;**
    - **12.5 mil.**
  - В окне **Routing Grid** (рис. 3.4) выбрать шаг сетки **25 mil (0,625 мм)**,
  - В окне **Line Width** задается ширина проводников (в P-CAD 2006 можно и в мм), для которых не заданы атрибуты **AUTOROUTEWIDE** и **WIDTH** (ширина). Минимально возможная ширина проводника равна **0.1 mil** (0.01 мм). Ширина проводника не может превышать половину шага координатной сетки, например, для шага **25 mil** максимально возможная ширина проводника будет равна **12 mil** (автоматически отслеживается системой).
  - Установить ширину проводника равной **0,450 мм** в соответствии со вторым классом точности.
- **Задать стратегию трассировки.**

Нажать на кнопку **Passes** (Выбор проходов трассировки). Откроется диалоговое окно управления проходами трассировки **Pass Selection** (рис. 3.5), в котором установить флажки во всех пунктах. Установкой соответствующих флажков выбираются типы проходов трассировки **P-CAD Quick Route**, выполняемые в следующем порядке:

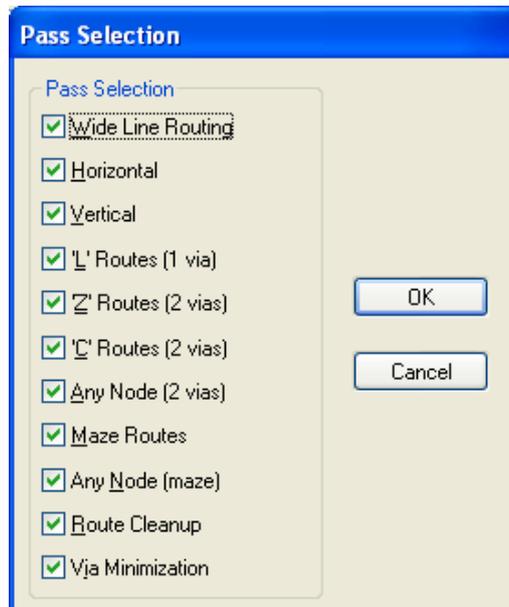


Рисунок 3.5 - Диалоговое окно **Route Autorouters Pass Selection**

- Проход **Wide Line Routing** осуществляет разводку "широких" цепей перед выполнением других проходов автотрассировки. Для этого цепь должна иметь атрибуты **AUTOROUTEWIDE** и **WIDTH**. При этом "широкие" цепи автоматически разводятся только вертикальными и горизонтальными отрезками, диагональная трассировка в этом проходе невозможна. Обычно рекомендуется запустить авто-разводчик **Quick Route**, разрешив только проход **Wide Lines Routing** и запретив

<sup>1</sup> К сожалению, программа **Quick Route** может работать только в дюймовой сетке. Другие шаги сетки (в том числе и метрические) недопустимы.

---

остальные проходы. Если **Quick Route** не в состоянии полностью выполнить трассировку широких линий, она доводится до конца вручную с использованием **P-CAD PCB**. Затем вновь несколько раз запускается **Quick Route** с разрешением всех проходов трассировки, кроме оптимизирующих проходов **Route Cleanup** и **Via Minimization**, до тех пор, пока не будут разведены все цепи.

- Проход **Horizontal** обеспечивает выполнение трассировки простых трасс на любом слое в горизонтальном направлении без переходных отверстий и с минимальными отклонениями от прямой горизонтальной линии.

- Проход **Vertical** обеспечивает выполнение трассировки простых трасс на любом слое в вертикальном направлении без переходных отверстий и с минимальными отклонениями от прямой вертикальной линии.

- Проход **L Routes (1 via)** формирует соединения между двумя контактными площадками в виде одного вертикального и одного горизонтального отрезков, выполненных в разных слоях и соединенных переходным отверстием. Внешний вид трасс напоминает букву **L** с произвольной ориентацией. Проводники располагаются на сторонах прямоугольника с вершинами, расположенными в центрах соединяемых контактных площадок, при этом отклонение от прямоугольника не превышает 100 mil. Обычно этот проход используется во всех случаях, за исключением вариантов, когда противоположные слои платы имеют взаимную ориентацию, отличающуюся от ортогональной. В таких случаях данный проход отменяется.

- В проходе **Z Routes (2 vias)** производится разводка с использованием соединений в виде трех отрезков и двух переходных отверстий, имеющих форму буквы **Z** с произвольной ориентацией. Так же, как и в **L Routes (1 via)** проводники располагаются на расстоянии не более 100 mil от сторон прямоугольника с вершинами в центре соединяемых контактных площадках. Проход применяется в тех же случаях, что и **L Routes (1 via)**.

- Проход **C Routes (2 vias)** реализует трассировку связи с использованием трех отрезков двух переходных отверстий, трасса имеет форму буквы **C**, которая может иметь произвольную ориентацию. Этот проход позволяет производить трассировку в более сложных случаях, чем **L Routes** или **Z routes**, так как проводники могут располагаться на расстоянии более 100 mil от сторон прямоугольника.

- В проходе **Any Node (2 vias)** делается попытка выполнить трассировку связей между двумя контактными площадками с использованием только двух переходных отверстий без оптимизации длины трассы, в отличие от предыдущих проходов, обеспечивающих соединение минимально возможной длины.

- Проход **Maze Routes** реализует лабиринтный алгоритм, позволяющий определить оптимальный маршрут трассы, если такой вообще существует. Этот режим не имеет ограничений на ориентацию проводников. Направление текущего проводника может отличаться от принятого на данном слое направления, при этом возможны повороты и петли. В случае лабиринтной трассировки переходные отверстия создаются в количестве, необходимом для завершения трассы. Следует определить максимальное число переходных отверстий для одной цепи с помощью атрибута **MAXVIAS**, который по умолчанию равен **10**. Необходимо учитывать, что петли и повороты уменьшают число свободных каналов трассировки, поэтому рекомендуется выполнить трассировку платы без использования прохода **Maze Routes**, затем выполнить ручную разводку сложных участков, стараясь не занимать свободные каналы, и вновь запустить автотрассировку **Quick Route**, разрешив проход **Maze Routes**.

- Проход **Any Node (Maze)** использует те же лабиринтные алгоритмы и стратегии, что и проход **Maze Routes**. Отличие состоит в том, что при выполнении

---

прохода **Any Node (Maze)** не накладываются ограничения на оптимальную длину трассы. Проход **Any Node (Maze)** обеспечивает максимальное возможное число законченных трасс, при этом анализируется каждая цепь и делается попытка выполнить трассу между любыми узлами в цепи.

- Проход **Route Cleanup** предназначен для улучшения внешнего вида платы путем спрямления некоторых участков трасс, если, конечно, это возможно. Рекомендуется выполнять этот проход только после полного завершения трассировки всех проводников. Кроме того, удаление лишних точек излома трасс позволяет несколько уменьшить размер файла печатной платы.

- Проход **Via Minimization** позволяет уменьшить число переходных отверстий на плате. В случае если это возможно, **Quick Route** удаляет переходное отверстие, перенося сегмент трассы с одного слоя на другой.

Следует отметить, что последние два прохода нужно использовать совместно и только после выполнения трассировки всех соединений.

#### ■ Сформировать стиль переходных отверстий.

- Нажать на кнопку **Via Style**. Откроется окно **Options Via Style** (рис. 3.6). По умолчанию имеется только стиль **Default**.

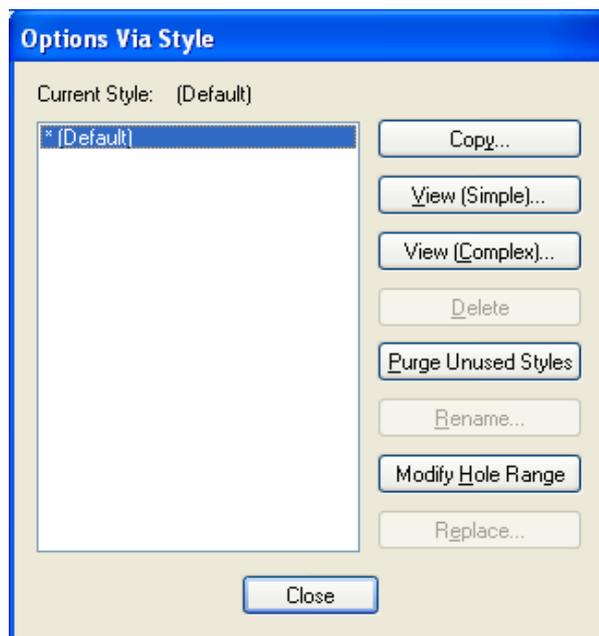


Рисунок 3.6 - Окно **Options Via Style**

- Для формирования собственного стиля необходимо нажать кнопку **Copy**. Появится окно **Copy Via Style** (рис. 3.7). В поле **Via Name** задать имя **Via\_1**,

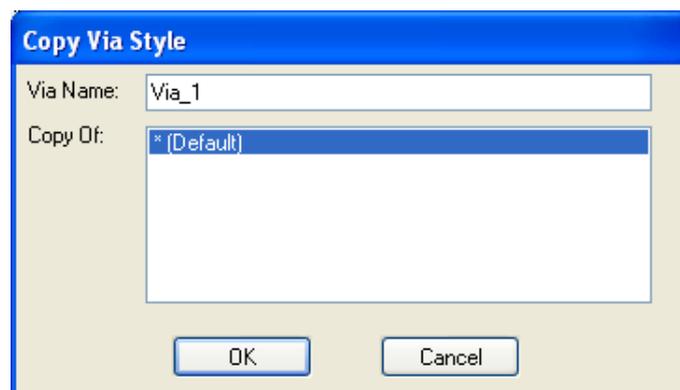


Рисунок 3.7 - Окно **Copy Via Style**

нажать **OK**.

- В списке стилей переходных отверстий появится новый стиль - **Via\_1**. Необходимо выделить его цветом и нажать на кнопку **Modify (Simple)**. В результате появится окно **Modify Via Style (Simple)**

- В окне **Modify Via Style (Simple)** в области **Type** следует указать **Thru** (сквозное). В области **Hole** задать **Diameter 1,0** мм. В полях **Width** и **Height** записать **1,25** мм. В поле **Shape** выбрать **Ellipse** (рис. 3.8). Нажать **OK**.

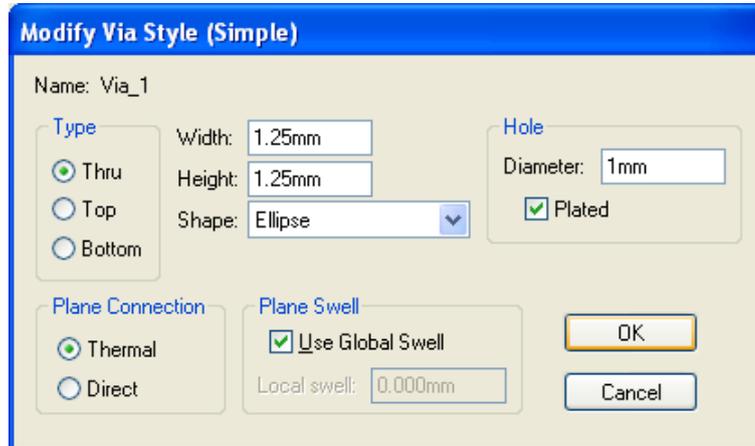


Рисунок 3.8 - Окно **Modify Via Style (Simple)**

- В окне **Options Via Style** дважды щелкнуть по стилю **Via\_1**. Этот стиль будет использоваться для переходных отверстий

- Данный автотрассировщик не требует обязательного наличия границы платы в слое **Board**, он также не изменяет топологию предварительно проложенных вручную проводников. При использовании команды **Place / KeepOut** графического редактора печатных плат **P-CAD PCB** можно задать области запрета трассировки проводников.

#### ■ **Задать параметры вывода протокола трассировки.**

В группе **Error Messages** указывается куда будет выводиться протокол трассировки:

- **Output to Screen** - на экран;
- **Output to Log File** - в файл протокола<sup>2</sup>;
- **Output to Both** - на экран и в файл протокола.

Конфигурация автотрассировщика настроена.

### 3.3.2 **Трассировка печатных плат программой Quick Route**

Для автоматической трассировки проводников нажать кнопку **Start** в окне **Route Autorouters** (рис. 3.3), после чего система выдает сообщение, что ряд файлов будут перезаписаны. В случае положительной реакции на это сообщение открывается окно трассировщика **QuickRoute** и процесс трассировки немедленно запускается.

После этого будет выполняться трассировка ПП в двух слоях. Полученный результат трассировки ПП представлен на рис. 3.9.

- Нередко после автоматической трассировки часть соединений остается нереализованной. Эффективность трассировки можно повысить, уменьшая шири-

<sup>2</sup> Если выбран режим **Output to Log File** трассировка не может быть приостановлена, поскольку нет возможности реагировать на сообщения системы.

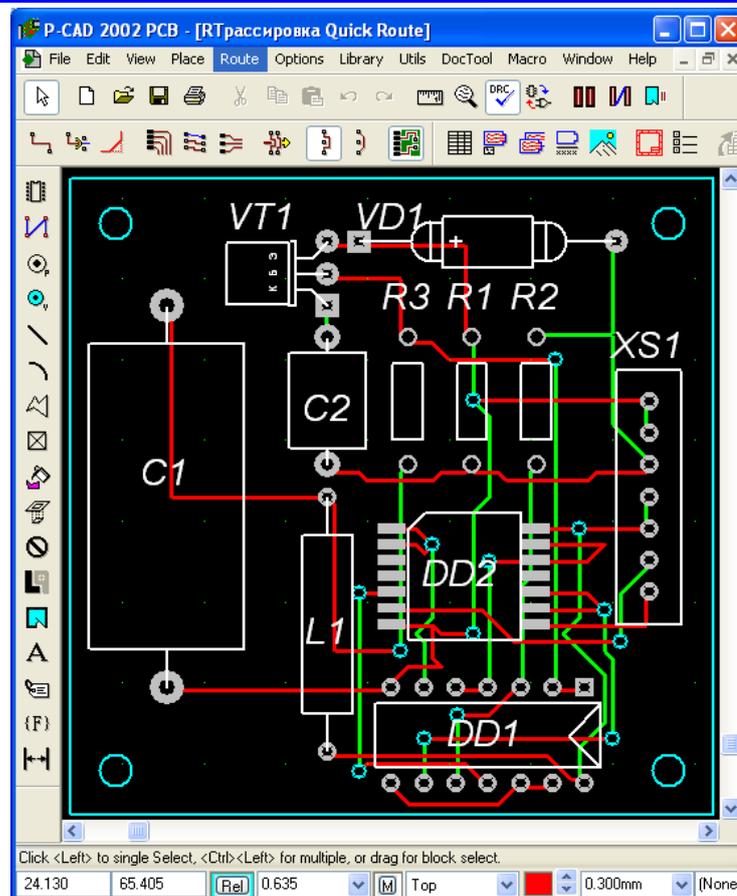


Рисунок 3.9 - Результат трассировки ПП программой **Quick Route**

ну проводников или шаг сетки. При этом появляется возможность размещать проводники между выводами элементов.

- Связи оставшиеся неразведенными после автотрассировки придется разводить вручную или выполнить объемными перемычками (проводами).

- В ряде случаев удастся повысить эффективность трассировки, используя разную последовательность и различные сочетания проходов трассировки. Так, некоторые разработчики рекомендуют на первой итерации отключить все проходы кроме **Wide Line Routing** (трассировка вертикальных и горизонтальных сегментов «широких» линий).

- После окончания автотрассировки для улучшения внешнего вида печатной платы и повышения технологичности за счет удаления лишних изломов и изгибов проводников и уменьшения количества переходных отверстий необходимо выполнить последние два прохода из списка на панели **Pass Selection**<sup>3</sup>:

- проход **Route Cleanup** позволит улучшить внешний вид рисунка ПП путем спрямления некоторых участков трасс;
- проход **Via Minimization** позволит уменьшить число переходных отверстий на плате.

- Увеличить количество удаленных переходных отверстий можно путем многократного (2-3 раза) перезапуска автотрассировщика!

- Командами **Route/View Log** можно вывести на экран отчет о стратегии трассировки, результатах выполнения отдельных ее фаз и итоговые данные проектирования. Фрагмент этого файла представлен на *рис 3.10*.

<sup>3</sup> Рекомендуется последние два прохода выполнять совместно и только после завершения трассировки всех соединений.

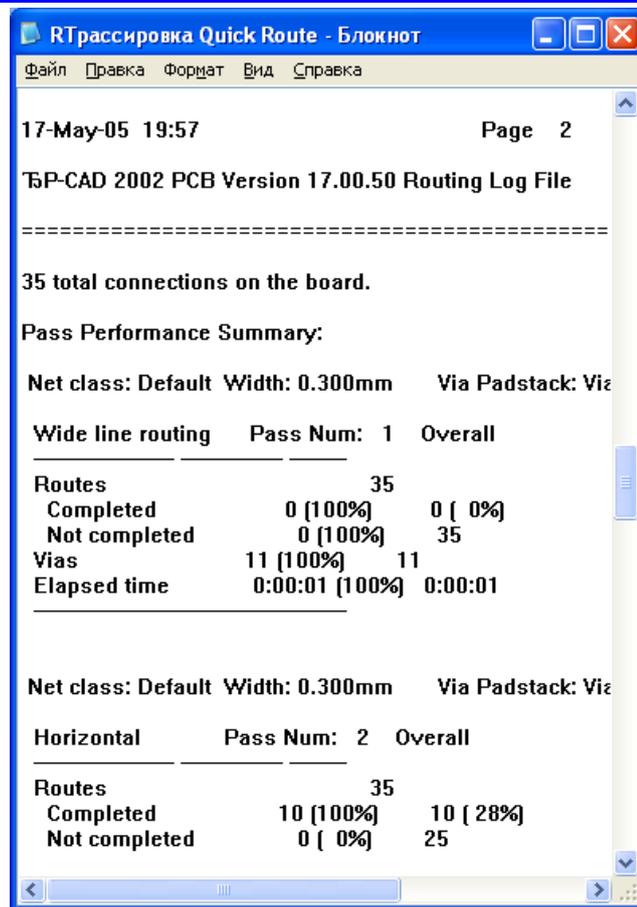


Рисунок 3.10 - Фрагмент файла с отчетом о стратегии трассировки, результатах выполнения отдельных ее фаз и итоговых данных проектирования

При работе программы **Quick Route** выполняется проверка электрических соединений проводников и зазоров. Если при разводке возникают ошибки, цепь разводится заново.

Визуальная оценка качества разводки проводников учебного примера показывает, что при 100% разводке на ПП введено необоснованно много переходных отверстий. Их количество и расположение можно просмотреть одновременным нажатием клавиш **Ctrl + 4** (рис 3.11). На экран выводятся только контуры ЭРЭ и переходных отверстий. Нажатие клавиш **Ctrl + 1** выводит весь рисунок.

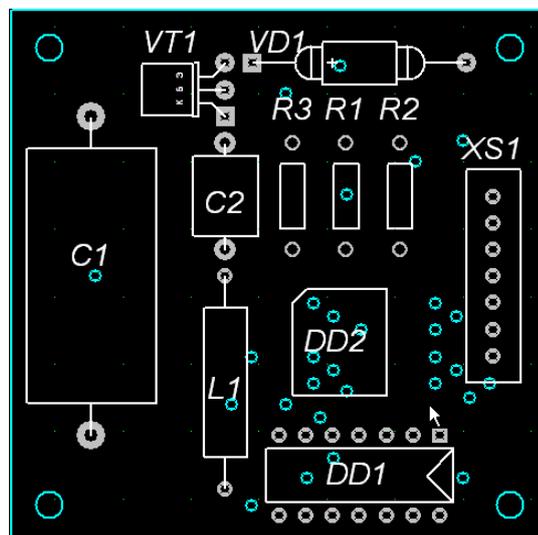


Рисунок 3.11 – Просмотр количества и расположения переходных отверстий

### 3.4 Автоматическая трассировка печатных плат программой *Pro Route*

#### 3.4.1 Настройка программы *Pro Route*

Программа **P-CAD Pro Route** обладает большими возможностями и позволяет проводить автоматическую и полуавтоматическую трассировку с большей эффективностью.

Для работы с автотрассировщиком **P-CAD Pro Route** необходимо запустить программу **P-CAD PCB**. В ней открыть файл размещения элементов на печатной плате, которую необходимо трассировать - «**Размещение**» (рис. 3.2) и сохранить его под именем «**Трассировка Pro Route**» с помощью команд **File / Save as...**

#### ■ Вызов программы *P-CAD Pro Route*.

Запуск программы автоматической трассировки **PRO Route** осуществляется аналогично запуску трассировщика **Quick Route** из диалогового окна **Route Autorouters** графического редактора **P-CAD PCB**. В открывшемся одноименном окне (рис. 3.3) нажатием кнопки **Autorouter** открыть список и выбрать программу-трассировщик **P-CAD Pro Route** (рис. 3.12).



Рисунок 3.12 - Диалоговое окно **Route Autorouters** автотрассировщика **P-CAD Pro Route**

Назначение кнопок и параметров во многом идентично программе **Quick Route**.

Группа параметров **Strategy** представлена кнопками **Strategy File**, **Output PCB**, **Output Log File**, назначение которых подробно описано в разд. 3.3.1.

- Кнопки **Load** и **Save** относятся к работе с файлами стратегии трассировки. С помощью кнопки **Set Base** устанавливаются параметры стратегии трассировки по умолчанию.

- Кнопкой **Design Rules** вызывается диалоговое окно команды **Options / Design Rules**, предназначенное для определения правил трассировки (зазоров) различных объектов.

- Кнопка **Layers** служит для вызова диалогового окна команды **Options / Layers**, с помощью которого определяются последовательность и параметры слоев трассировки.

- Кнопкой **Net Attrs** вызывается диалоговое окно команды **Edit / Nets**, которое позволяет редактировать атрибуты цепей.

- Нажатием на кнопку **Line Width** открывается диалоговое окно **Options Current Line**, в котором можно задать необходимую ширину линий трассировки (рис. 3.13).

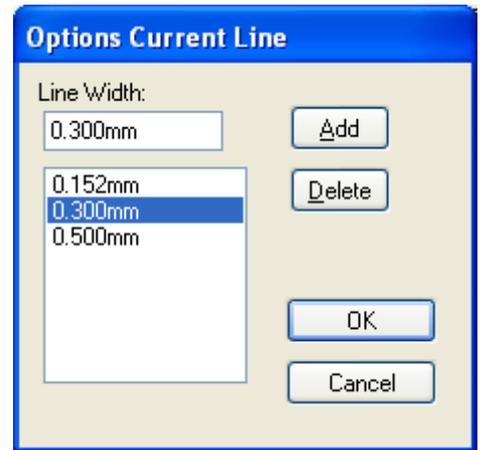


Рисунок 3.13 - Диалоговое окно **Options Current Line**

- Кнопка **Via Style** (см. рис. 3.7) предназначена для вызова диалогового окна команды **Options / Via Style**. При использовании автотрассировщика **PRO Route**, в отличие от **Quick Route**, поддерживаются не только простые стили контактных площадок и переходных отверстий, но и сложные, позволяющие выполнить подключение к внутренним слоям (см. разд. 3.3.1.).

- С помощью кнопки **Routing Grid** определяется сетка трассировки. Она аналогична команде **Options / Grids**.

Подробно многие из этих команд описаны в разд. 3.3.

#### ■ **Задать стратегию трассировки.**

Нажатие кнопки **Passes** приводит к выводу диалогового окна управления проходами трассировки **PRO Route**, показанного на рис. 3.14.

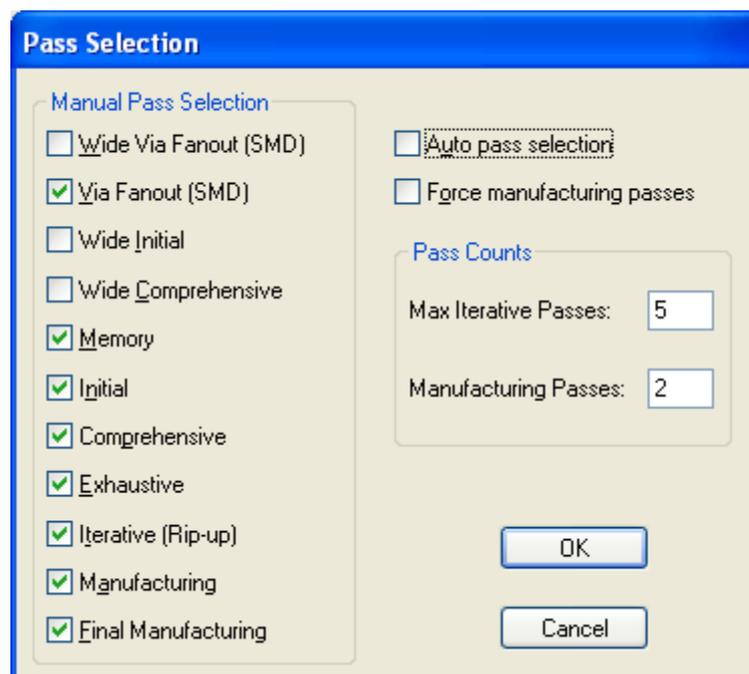


Рисунок 3.14 – Диалоговое окно управления проходами трассировки **PRO Route**

---

Выбор требуемых проходов осуществляется установкой соответствующего флажка в области **Manual Pass Selection**. Выбор доступен только в том случае, если флажок **Auto pass selection** не установлен.

Все проходы по функциональному признаку можно разделить на три группы.

1. В группу **непосредственной трассировки (Constructive)** включены проходы **Wide Via Fanout (SMD)**, **Via Fanout (SMD)**, **Wide Initial**, **Wide Comprehensive**, **Memory**, **Initial**, **Comprehensive**, **Exhaustive**. При их выполнении не производится перекраивание уже проложенных цепей. Новая цепь проводится в доступном для трассировки месте.

2. К группе **трассировки с перетрассировкой уже проложенных цепей (Iterative)**, относится проход **Iterative (Rip-up)**. Характерной особенностью данного режима трассировки является разрыв и повторная прокладка цепей с анализом платы в целом.

3. В группу **улучшения внешнего вида и технологичности платы (Manufacturing Improvement)**, включены проходы **Manufacturing**, **Final Manufacturing**, которые позволяют улучшить внешний вид платы за счет спрямления углов проводников, удаления лишних переходных отверстий и т.д. Эти проходы выполняются только для полностью разведенной платы, если не установлен флажок **Force Manufacturing passes**.

Рассмотрим действие каждого прохода подробнее.

- Проход **Wide Via Fanout (SMD)** обеспечивает прокладку коротких отрезков с переходным отверстием на конце (**fanout, stringer**) для выводов планарных компонентов, подключенных к "широким" цепям (как правило, общей шины и питания). При этом цепь должна иметь атрибуты **WIDTH** (ширина) и **AUTOROUTEWIDE** (разрешение на автоматическую трассировку), задаваемые с помощью команды **Edit / Nets**.

- Проход **Via Fanout (SMD)** отличается от прохода **Wide Via Fanout (SMD)** тем, что короткие отрезки формируются для всех цепей, относящихся к планарным компонентам.

- На проходе **Wide Initial** производится разводка несложных (не более 3 переходных отверстий) цепей большой ширины. Цепи должны иметь атрибуты **WIDTH** и **AUTOROUTEWIDE**. Применение этого прохода позволяет в дальнейшем улучшить условия трассировки сигнальных цепей.

- В процессе прохода **Wide Comprehensive** осуществляется разводка "широких" цепей без ограничений на количество переходных отверстий. Напомним, что "широкие" цепи должны иметь атрибуты **WIDTH** и **AUTOROUTEWIDE**.

- Проход **Memory** выполняет трассировку соединений типа шин (характерно для блоков памяти, откуда и пошло это название). При этом соединяемые контактные площадки должны иметь смещение по горизонтали или вертикали не более **100 mil** или одного шага сетки. В этом проходе использование переходных отверстий допускается только между поверхностными контактными площадками.

- Проход **Initial** (начальный) позволяет выполнить трассировку несложных цепей (не более трех переходных отверстий) стандартной ширины с учетом принятой для того или иного слоя ориентации проводников без использования диагональной разводки.

- Для более сложных трасс (до шести переходных отверстий) применяется проход **Comprehensive** (комплексный). При использовании этого прохода возможна прокладка проводников в направлении, не являющимся приоритетным для данного слоя (до шести переходных отверстий).

---

---

- Проход **Exhaustive** (полный) дает возможность выполнить трассировку соединений при произвольной ориентации проводников на слое и возможностью неограниченного добавления дополнительных переходных отверстий. При этом единственным ограничением остаются технологические нормы проекта, заданные командой **Options / Design Rules**.

- Проход **Iterative (Rip-up)** (итерационный принципиально отличается от проходов группы **Constructive**. При выполнении этого прохода осуществляется разрыв существующих трасс и модификация их разводки с целью увеличения числа свободных каналов. Данный проход отличает трассировщик **PRO Route** от трассировщика **Quick Route**. Для каждого класса цепей допускается до 10 итеративных проходов. Существует два типа итеративных проходов: локальные и глобальные. При глобальных проходах производится модификация трасс по всей плате. Во время выполнения локальных проходов трассировщик обрабатывает только отдельные участки платы. Первоначально применяются глобальные проходы, и лишь когда будет достигнуто 98% разведенных цепей или полностью завершаться три глобальных прохода, включается локальный итеративный проход. При выполнении итеративных проходов допускается произвольное количество переходных отверстий и произвольная ориентация проводников на плате. При этом при поиске свободных каналов трассировки анализируется вся плата.

- В группе параметров **Pass Counts** в поле ввода **Max Iterative Passes** указывается число применяемых итеративных проходов. Допускается до 10 проходов итеративной трассировки (по умолчанию устанавливается 5 итеративных проходов). Не рекомендуется делать это число большим (двух проходов вполне достаточно во всех случаях). Следует помнить, что применение только итеративных проходов автотрассировщика не рекомендуется, поскольку итеративный алгоритм отличается сложностью и длительностью работы. Во многих случаях проще доработать вручную несколько связей после выполнения проходов **Constructive**, чем дожидаться, пока итеративный трассировщик "соизволит" провести половину из оставшихся цепей, протащив их по всей плате.

- Проход **Manufacturing** (производственный) предназначен для оптимизации проводников с целью обеспечения технологичности печатной платы. В этом проходе происходит сглаживание острых углов, удаление избыточных переходных отверстий, уменьшение общей длины проводников, увеличение расстояния между трассами и т.п. Число проходов **Manufacturing** указывается в поле ввода **Manufacturing Passes** группы параметров **Pass Counts**. Всего возможно до 10 проходов оптимизации, по умолчанию устанавливается два.

- Проход **Final Manufacturing** (заключительный производственный) практически не отличается от предыдущего, только все операции выполняются более тщательно. В этом проходе также происходит сглаживание под углом 45° изломов проводников (фасок).

- Проходы группы **Manufacturing** выполняются только после 100%-й разводки платы. В случае если отмечен флажок **Force manufacturing passes**, оптимизация включается независимо от завершенности платы.

- Установка флажка **Auto pass selection** позволяет автотрассировщику **P-CAD PRO Route** самостоятельно выбрать проходы для трассировки конкретной платы. В случае если этот флажок отмечен, невозможно выбрать вручную набор проходов, однако можно выбрать число проходов итеративной трассировки и оптимизации.

После выбора типов и числа проходов трассировщика вернемся к конфигурированию остальных его параметров.

---

Группа параметров **Options** содержит флажки **Auto Grid**, **Ripup**, **Diagonals**, **Checkpoint Interval Minutes**, **Simultaneous Class Routing**.

При установке флажка **Auto Grid** используется наиболее подходящая сетка трассировки из существующих сеток проекта. Следует помнить, что если флажок **Auto Grid** отмечен, то невозможно вручную определить сетку трассировки с использованием кнопки **Routing Grid**.

Флажок **Ripup** разрешает разрывать проложенные цепи в процессе итеративной трассировки и оптимизации. Если планируется применение этих проходов, то флажок **Ripup** следует отметить. Для того чтобы избежать разрыва предварительно проложенных вручную цепей, следует устанавливать для них атрибут **No-AutoRoute**.

Флажок **Diagonals** разрешает производить трассировку цепей под углом 45°. Как правило, применение диагональной разводки уменьшает процент разведенных цепей. Однако сглаживание изломов под углом 45° позволяет улучшить внешний вид и параметры платы. Обычно рекомендуется вначале выполнить трассировку платы с выключенным флажком **Diagonals** и отключенными проходами **Manufacturing**. Затем, после завершения трассировки, следует включить диагональную разводку и выполнить оптимизацию трассировки.

Поле ввода **Checkpoint Interval Minutes** предназначено для задания интервала времени (в минутах) между моментами сохранения файла результатов трассировки, имеющего расширение **cpt**. Используя кнопку **Restart**, можно возобновить трассировку с последнего сохраненного в файле с расширением **cpt** состояния. По умолчанию результаты трассировки сохраняются каждые 2 часа. Лучше выбрать интервал сохранения в пределах 30 мин.

Флажок **Simultaneous Class Routing** позволяет разрешить одновременную трассировку цепей, относящихся к различным классам. В случае если этот флажок сброшен, различные классы цепей трассируются последовательно, причем в этом случае цепи с большим приоритетом могут "захватить" все каналы и трассировка цепей с меньшим приоритетом станет практически невозможной. Поэтому перед началом трассировки рекомендуется установить этот флажок, так как по умолчанию он сброшен.

Группа переключателей **Copper Share** определяет стиль соединений проводников для различных способов организации T-образной разводки к всевозможным фрагментам трассы (**T-Routing**). Возможны следующие варианты:

- **Lines and Vias** - T-образное соединение можно выполнять как к ближайшей контактной площадке или переходному отверстию, так и к любой точке линии;
- **Vias Only** - T-образное соединение можно выполнять только к ближайшей контактной площадке или переходному отверстию;
- **Disable** - T-образное соединение можно выполнять только к ближайшей контактной площадке.

Группа переключателей **Error Messages** позволяет выбрать способ индикации сообщений об ошибках:

- **Output to Screen** - вывод сообщений об ошибках только на экран;
- **Output to Log File** - вывод сообщений об ошибках в файл протокола;
- **Output to Both** - вывод сообщений об ошибках как в файл протокола, так и на экран.

### 3.4.2 Трассировка ПП программой P-CAD PRO Route

Для запуска трассировки используется кнопка **Start**, для повторного запуска - кнопка **Restart**.

При запуске трассировки появляется окно автотрассировщика **P-CAD PRO Route**.

В случае если производится попытка запустить трассировку платы заново, появляется предупреждение о перезаписи файлов перед повторным запуском платы на автотрассировку

Практически все команды **PRO Route** аналогичны командам автотрассировщика **Quick Route**.

Для прекращения трассировки, а также для управления ее ходом используется команда **Route / Cancel**, диалоговое окно **Route Cancel**.

Возможные варианты завершения трассировки платы указываются установкой соответствующего переключателя в области **Cancel Options**:

- **Stop routing and save** - немедленно прекратить трассировку и сохранить ее результаты;
- **Stop routing and do not save** - немедленно прекратить трассировку и не сохранять ее результаты. В этом случае файл протокола трассировки (\*.spt) будет удален;
- **Stop routing at the end of this pass** - прекратить трассировку по окончании текущего прохода и сохранить ее результаты;
- **Skip this pass and continue** - прекратить текущий проход трассировки и перейти к следующему проходу;
- **Checkpoint route and continue** - создать spt-файл и продолжить процесс трассировки;
- **Suspend route** - создать spt-файл и прекратить трассировку.

### 3.5 Автоматическая трассировка печатных плат программой **Shape-Based Route**

#### 3.5.1 Настройка программы **Shape Based Route**

Программа автоматической трассировки печатных плат **P-CAD Shape Route** использует бессеточные нейросетевые алгоритмы. Она обладает большими возможностями и позволяет проводить автоматическую и полуавтоматическую трассировку с большей эффективностью.

Оптимизированный для сегодняшних планарных (SMT) конструкций с большой плотностью компоновки и малым шагом выводов, автотрассировщик **P-CAD Shape Route** легко обрабатывает смешанные метрические и дюймовые шаги выводов компонентов с двусторонней установкой компонентов. Автоматический анализ ПП и гибкая настройка проходов трассировки гарантирует, что трассировка будет выполнена с высокой эффективностью для всех технологии монтажа кристалла в корпус.

Для работы с автотрассировщиком **P-CAD Shape Route** необходимо запустить программу **P-CAD PCB**. В ней открыть файл размещения элементов на печатной плате, которую необходимо трассировать - «**Размещение**» (рис. 3.2) и сохранить его под именем «**Трассировка ShapeRoute**» с помощью команд **File / Save as...**

#### ■ Вызов программы **P-CAD Shape Route**.

Для вызова программы **P-CAD Shape Route** выполнить команды **Route/Autorouters**, по которым откроется одноименное окно (рис. 3.3), в котором нажатием кнопки **Autorouter** открыть список и выбрать программу-трассировщик **P-CAD Shape Route**.

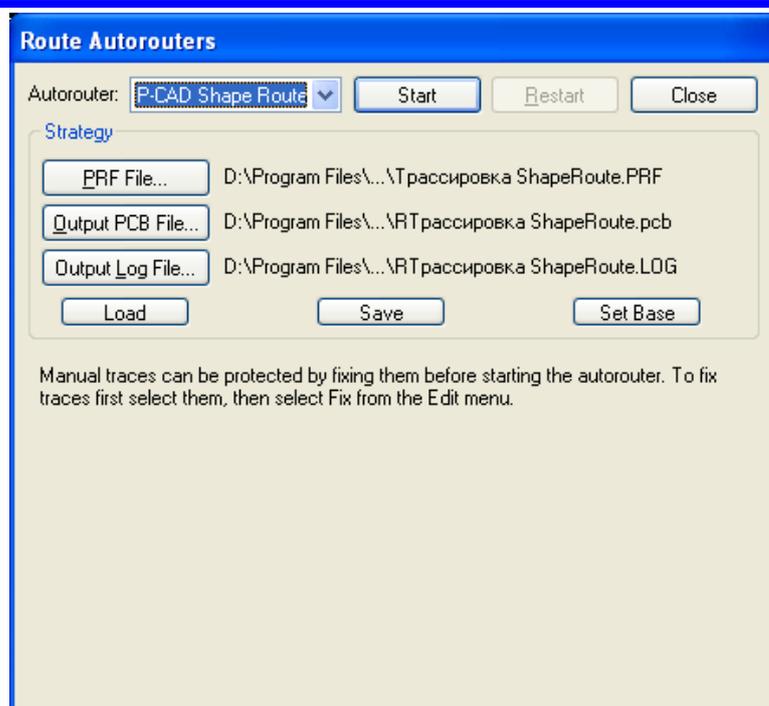


Рисунок 3.15 - Диалоговое окно **Route Autorouters** автотрассировщика **P-CAD Shape Route**

#### ■ Сформировать файлы трассировки.

В разделе **Strategy** окна **Route Autorouters** (рис. 3.15) выбрать следующие имена файлов:

- При нажатии кнопки **PRF File** (исходный файл) вызывается стандартное диалоговое окно выбора файла **Windows** (расширение **.prf**). Установить «**Трассировка ShapeRoute.prf**».

- При нажатии кнопки **Output PCB File** (имя файла выходной ПП) определяется выходной файл оттрассированной печатной платы. По умолчанию имеет то же имя, что и входной файл, но перед названием добавляется префикс **R** - «**RTтрассировка ShapeRoute.pcb**».

- При нажатии кнопки **Output Log File** (файл протокола трассировки) создается файл отчета о трассировке с расширением **log**, в него заносится информация о ходе трассировки, которая анализируется при каждом новом запуске. По умолчанию имеет то же имя, что и входной файл, но перед названием добавляется префикс **R** - «**RTтрассировка ShapeRoute.log**».

- Для сохранения выбранного файла стратегии нажать на кнопку **Save**.
- **Load** - позволяет загрузить готовый файл стратегии.
- **Set Base** - предоставляет возможность установить параметры стратегии трассировки по умолчанию.

- **Вызов программы P-CAD Shape Route.**

Для запуска программы **P-CAD Shape Route** нажать кнопку **Start**. Откроется рабочее окно трассировщика с загруженным проектом с расширением **.prf**, на котором будет отображаться контур ПП, границы поля трассировки, контактные площадки компонентов, их позиционные обозначения и связи между выводами (рис. 3.16).

### ■ Настройка стратегии трассировки.

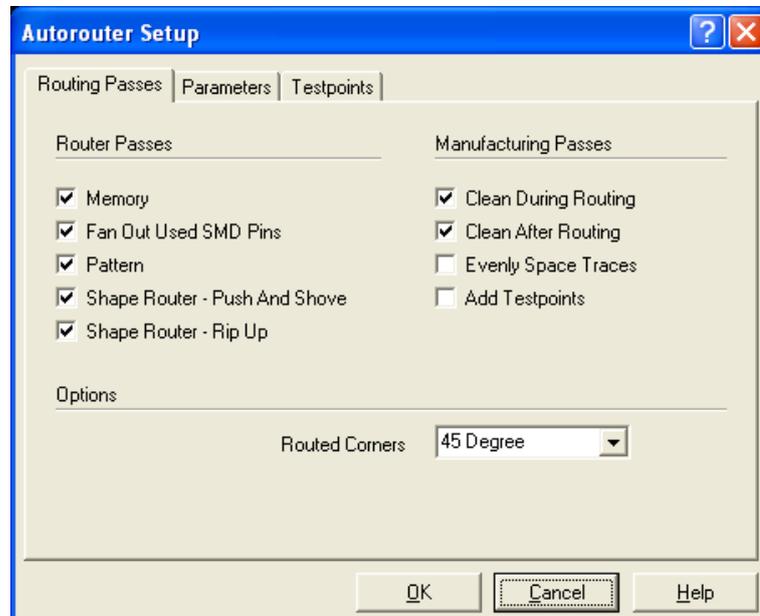


Рисунок 3.17 - Диалоговое окно **Autorouter Setup**, вкладка **Routing Passes**

Настройка стратегии трассировки выполняется командами **Options/AutoRouter**. Открывается диалоговое окно **Autorouter Setup**. В нем имеется три закладки: **Routing Passes**, **Parameters** и **Testpoints**. С помощью диалогового окна **Autorouter Setup**, задаются основные проходы трассировки, параметры трассировки, а также тестовые точки.

● На закладке **Routing Passes** в полях **Router Passes** и **Manufacturing Passes** зададим тип трассировки в соответствии с рис. 3.17.

### ■ Установка проходов трассировки.

На закладке **Routing Passes** (проходы трассировки) можно установкой соответствующих флажков выбрать необхо-

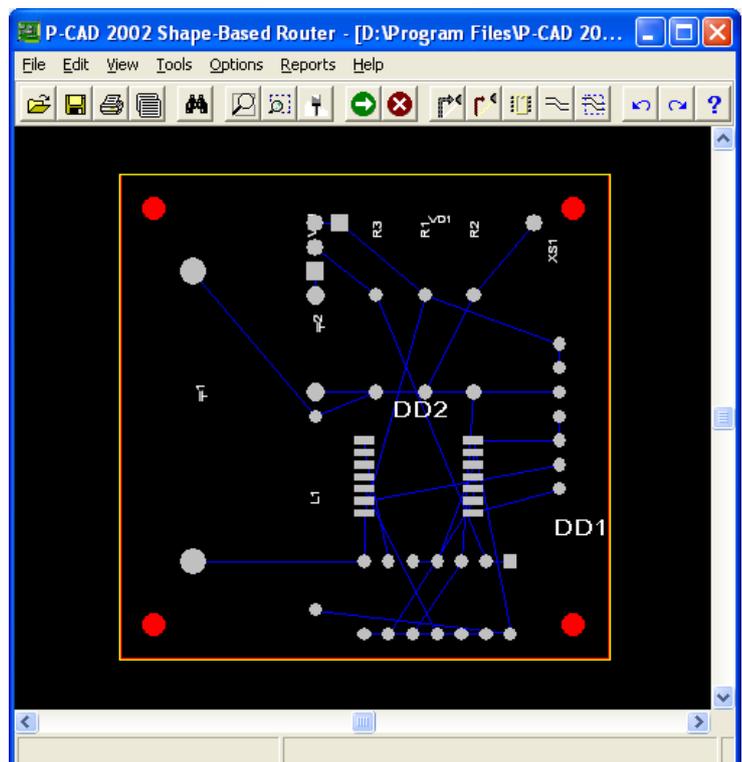


Рисунок 3.16 - Окно **P-CAD Shape Route**

димые проходы трассировки<sup>4</sup>. Возможны следующие проходы:

- **Memory** - трассировка типа «память». Выделяет все соединения, типичные для плат памяти (полностью вертикальные или полностью горизонтальные). Проход является как эвристическим, так и поисковым. Разработчики советуют всегда использовать этот проход, даже если на плате нет компонентов типа запоминающих устройств.

- **Fan Out User SMD Pins** (разделка планарных выводов) - генерация веерообразно расположенных стрингеров; проход позволяет подключить короткие отрезки линии с переходными отверстиями на конце (т.к. называемые **стрингеры**) к планарным контактным площадкам. При наличии на плате компонентов с планарными выводами этот проход всегда должен использоваться. Неудачные попытки создать подобного рода элементы отображаются маленькими желтыми окружностями с «X» в центре. Для плат с высокой плотностью, имеющих большое количество планарных компонентов, рекомендуется сделать пробную трассировку, включающую только этот проход. Если для более чем 10 % выводов стрингеры не смогут быть созданы, нужно перекомпоновать компоненты в области с наибольшим количеством сбоев.

- **Pattern** - трассировка фрагментов ПП с использованием типовых образцов. Практически на каждой плате могут быть найдены образцы (шаблоны) соединений. Успех трассировки этих образцов во многом зависит от того, в какой последовательности выбираются соединения при трассировке шаблона. Этот проход относится к числу поисковых и имеет набор различных алгоритмов, адресованных к определенному типу шаблонов. Он должен всегда использоваться при автотрассировке.

- **Shape Router - Push And Shove** (потесни и протолкни) - раздвигание и отталкивание мешающих трасс. Этот проход является основным в наборе проходов. Он значительно расширен по части условий смещения и проталкивания проводников, когда возможно смещение и проталкивание соседних трасс по диагонали без ограничения по дальности, можно перепрыгивать через переходные отверстия и контактные площадки.

- **Shape Router - Rip Up** - разрыв и повторная трассировка трасс, проложенных с нарушением. Этот проход является признанным **трассировщиком очистки**. После завершения прохода **Push And Shove** возможны нарушения технологических правил. Места этих нарушений на мониторе отмечаются маленькими желтыми окружностями. Как правило, очередные проходы различных алгоритмов трассировки позволяют убрать эти нарушения. В случае очень сложных плат часть этих нарушений остается после полного завершения других проходов. Проход **Rip Up** позволяет удалить эти нарушения за счет разрезания и переразводки трасс, связанных с технологическими нарушениями.

- **Clean During Routing** (проходы зачистки) - минимизация числа изгибов трасс и ПО при трассировке. Эти проходы уменьшают количество углов (спрямляют проводники) и улучшают подключения к контактным площадкам. Возможно выполнение зачистки во время трассировки (**Clean During Routing**) и после завершения основных проходов (**Clean After Routing**).

- **Clean After Routing** - минимизация числа изгибов трасс и ПО после трассировки;

- **Evenly Space Traces** (равномерное распределение трасс) - характерный проход, позволяющий равномерно распределять дорожки. Например, если

<sup>4</sup> Важно заметить, что в процессе загрузки платы она анализируется и параметры, в том числе, и необходимые проходы трассировки, устанавливаются автоматически. Изменяйте их только в случае крайней необходимости.

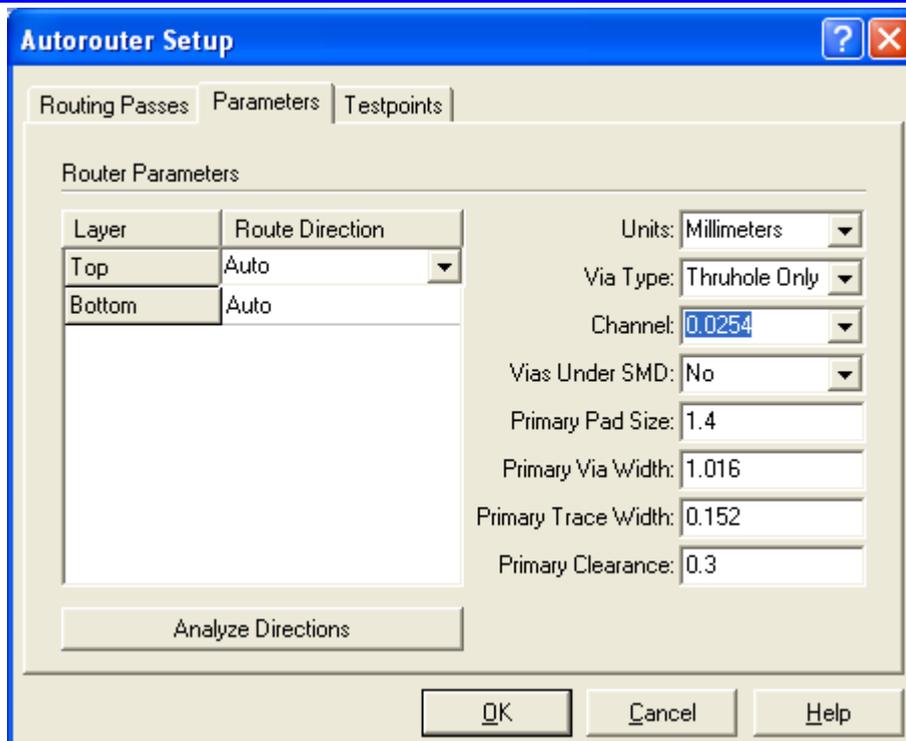


Рисунок 3.18 - Установка параметров трассировки

между соседними выводами микросхемы могут быть проведены две дорожки, но реально проходит одна, то в результате выполнения этого прохода она будет сдвинута в центр расстояния между выводами.

- **Add Testpoints** (добавить контрольные точки) - когда этот проход включен, каждая цепь проверяется на необходимость добавления контрольной точки. Проход включается только при необходимости размещения контрольных точек на плате.

- В поле **Options** в окне **Routed Corners** (углы трассировки) выбирается вариант изгибов трасс: под углом 90 градусов или под углом 45 градусов.

#### ■ Установка параметров трассировки.

На закладке **Parameters** панели **Autorouter Setup**, показанной на *рис. 3.18* устанавливаются некоторые важные параметры трассировки. Рассмотрим их более подробно.

- В столбце **Layer** отображаются имена проводниковых слоев, используемых для трассировки. Их имена передаются в трассировщик из редактора печатных плат PCB и изменению не подлежат.

- В поле **Router Direction** для слоев ПП задают ориентацию трасс. Щелчок в этой колонке напротив требуемого слоя вызывает стрелку, по которой открывается ниспадающее меню вариантов ориентации трасс:

- **Disabled** - запрет проведения трасс в данном слое;
- **Auto** - автоматический выбор;
- **Vertical** - предпочтительное направление вертикальное;
- **Horizontal** - предпочтительное направление горизонтальное;
- **PLane** - резервирует слой для металлизации;
- **Fan Out** - используется при необходимости создания стрингеров для планарных выводов и при желании ограничить количество проводниковых трасс в этом слое.

- Целесообразно установить автоматический выбор.

- Щелчок по панели **Analyze Directions** (анализ направлений) выбирает предпочтительные направления трассировки слоев в автоматическом режиме.
- Справа окна параметров:
  - **Units** - система единиц измерения - микроны, миллиметры, сантиметры, дюймы или милы<sup>5</sup>.
  - **Via Type** - можно запретить (**No Vias**) или разрешить (**Thruhole Only**) использование переходных отверстий при трассировке.
  - **Via under SMD** - можно разрешить или запретить создание переходных отверстий под планарными контактными площадками. Создание таких отверстий может значительно облегчить задачу трассировки печатных плат с высокой плотностью компоновки.
  - **Channel Size** - устанавливается размер канала для трассировки - пространства для прокладки трассы с необходимыми зазорами. Размер канала рассчитывается, исходя из первичной ширины трассы (**primary Track width**) и величины необходимых зазоров. Как правило, размер канала предложенный системой автоматически дает хорошие результаты. Размер канала задается в **mil** (тысячная часть дюйма). Для проведения бессеточной трассировки задавайте величину канала равной **1 mil** (для метрической системы единиц равной или менее **0,0254 мм**).
  - **Primary Pad Size** - задается исходный диаметр большинства контактных площадок для штыревых выводов. Для планарного вывода этим параметром задается наибольший размер. Используется для расчета размера канала трассировки.
  - **Primary Via Width** - задается исходный диаметр текущего переходного отверстия на плате.
  - **Primary Trace Width** - устанавливается исходная ширина трассы, принимаемая для большинства трасс.
  - **Primary Clearance** - устанавливается исходная величина зазоров между краями проводниковых трасс, между проводником и контактной площадкой, между проводником и переходным отверстием и между переходным отверстием и контактной площадкой.

#### ■ Установка контрольных точек.

---

<sup>5</sup> Следите за согласованностью единиц измерения редактора печатных плат и трассировщика!

---

● На закладке **Testpoints** (контрольные точки) **Autorouter Setup**, показанной на *рис. 3.19*, устанавливается приоритет размещения различных контрольных точек в случае необходимости их размещения на печатной плате. Контрольные точки могут быть пяти разновидностей:

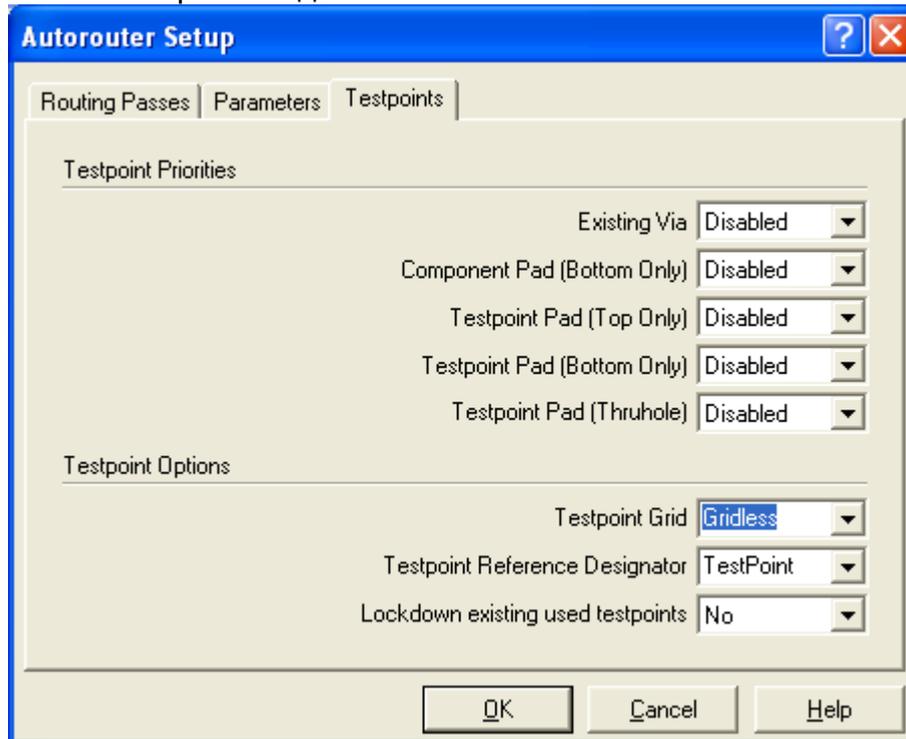


Рисунок 3.19 - Установка параметров контрольных точек

- **Existing Via**, использующие существующие переходные отверстия;
- **Component Pad (Bottom Only)**, использующие контактные площадки монтажных отверстий на нижней стороне платы;
- **Testpoint Pad (Top Only)**, контактная площадка со стилем **TestPoint1** на верхней стороне печатной платы, размещенная специально для создания контрольной точки;
- **Testpoint Pad (Bottom Only)**, контактная площадка со стилем **TestPoint2** на нижней стороне печатной платы, размещенная специально для создания контрольной точки;
- **Testpoint Pad (Thruhole)**, контактные площадки со стилем **TestPoint3** на нижней и верхней сторонах печатной платы со сквозным отверстием, размещенные специально для создания контрольной точки.
- Назначить режим запрета (**Disabled**).
- В группе **Testpoint Options** (см. *рис. 3.19*) устанавливаются некоторые параметры для контрольных точек, а именно:
  - в окне **Testpoint Grid** определяется сетка, к которой будут привязываться контрольные точки. Значение **Gridless** - позволяет устанавливать их вне сетки;
  - в окне **Testpoint Reference Designator** определяется стиль позиционных обозначений для добавляемых контрольных точек. Возможные варианты: **TP1**, **TP2** или **T1**, **T2**, **T3**. В случае использования в качестве контрольных точек существующих площадок переходных или монтажных отверстий позиционные обозначения им не присваиваются;

- в окне **Lock Down Existing Used Testpoint** можно разрешить или запретить использование контрольных точек от предыдущих сеансов трассировки.

#### ■ Задание атрибутов цепям проекта.

● Очень важно, что в автотрассировщике можно установить некоторые атрибуты цепей, такие как ширина, приоритет разводки, метод оптимизации и используемые слои. Для установки этих параметров используется команда **Edit/Net Attributes** (Редактирование/Атрибуты цепей), открывающая диалоговое окно задания атрибутов цепям проекта (рис. 3.20), в котором:

- в 1-й колонке (**Net Attributes**) дан список цепей на ПП.
- во 2-й (**Display**) - разрешение на отображение электрических соединений для каждой цепи. Возможны два значения - **True** (видимый) и **False** (невидимый).
- в 3-й (**Priority**) - приоритет трассировки. Если из раскрывающегося списка для какой-либо цепи выбирается **1**, то она будет разводиться первой. В случае выбора значения **Default** (по умолчанию) выбор порядка трассировки будет производиться автоматически.
- в 4-й (**Length Minimize**) - (минимизация длины) задается режим минимизации отдельной цепи. Здесь возможны следующие значения:
  - **None** - минимизация не производится;
  - **Min Dist** - минимизируется полная длина цепи;
  - **Daisy** - цепь сохраняет последовательность соединений между выводами, записанную в базе данных;
  - **Horizontal** - сегменты проводников цепи ориентируются преимущественно горизонтально. Чаще всего используется для цепей питания и «земли».
  - **Vertical** - сегменты проводников цепи ориентируются преиму-

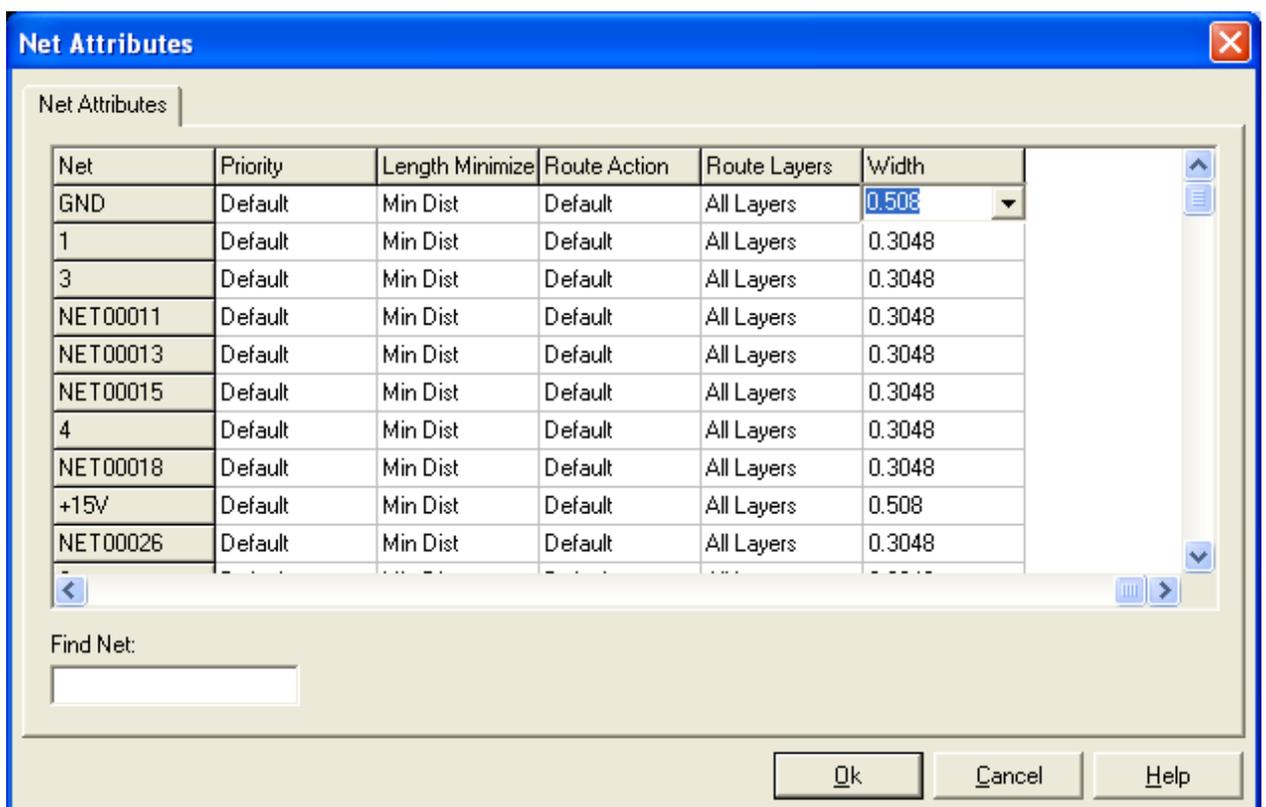


Рисунок 3.20 - Задание атрибутов цепям проекта

щественно вертикально. Чаще всего используется для цепей питания и «земли».

- в 5-й (**Route Action**) - стиль автотрассировки. Возможные значения:
  - **Default**<sup>6</sup> - при установке этого значения стрингеры к контакт-ным площадкам планарных компонентов будут создаваться только для многослойных печатных плат (с числом слоев более двух):
  - **Route** - разводка цепи без генерации стрингеров;
  - **No Route** - игнорирование цепи при автотрассировке;
  - **Locked**<sup>7</sup> - запрет трассировки ранее разведенной цепи;
  - **Fan Out / Route** - при установке этого значения для имеющихся планарных выводов перед трассировкой будут сгенерированы стрингеры:
  - **Fan Out / Plane** - при установке этого значения для имеющихся планарных выводов будут сгенерированы стрингеры, но сама цепь трассироваться не будет. Можно использовать для цепей питания и «земли» при наличии слоев металлизации.
- в 6-й (**Route Layer**) - (слои для трассировки) указываются сигнальные слои для трассировки отдельной цепи. Возможные значения:
  - **All Routing** - для трассировки могут использоваться все сигнальные слои;
  - **Top** - трассировка только на верхнем слое;
  - **Bottom** - трассировка только на нижнем слое..
- в 7-й (**Width**) - устанавливается ширина проводников для отдельных трасс. По умолчанию здесь установлено значение определенное при задании параметров трассировки или в атрибутах цепи. Новое значение можно установить, выбрав его из предопределенного списка или набрав на клавиатуре.
- **Окно Find Net** (поиск цепи) позволяет осуществлять навигацию по списку цепей. Для движения по списку достаточно набрать первые буквы имени цепи.
- До начала трассировки командами **Reports/Pre-Route Synopsis** просмотреть статистические данные на проектируемую ПП (рис. 3.21). Здесь можно получить информацию о параметрах используемой стратегии трассировки, количестве разводимых цепей и компонентов в проекте, плотности размещения и т.д.

<sup>6</sup> Режим **Default** является основным и должен изменяться только в обоснованных случаях!

<sup>7</sup> Значение **Locked** может быть установлено только для полностью разведенных цепей!

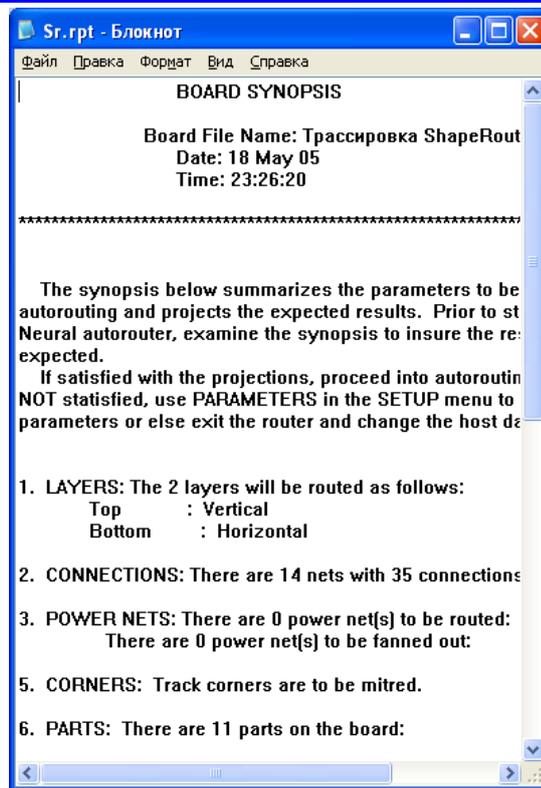


Рисунок 3.21 – Просмотр статистических данных на проектируемую ПП

- Система позволяет оценить ожидаемую плотность трассировки на отдельных участках платы до начала трассировки. Это необходимо сделать до начала трассировки, что бы убедиться в правильности расстановки компонентов.
- Для оценки плотности трассировки используется команда **View/Density** (Просмотр/Плотность) основного меню (рис. 3.22)..
- На появляющейся после активизации этой команды цветовой диаграмме ПП красным цветом отмечены места с наивысшей плотностью трасс, голубым -

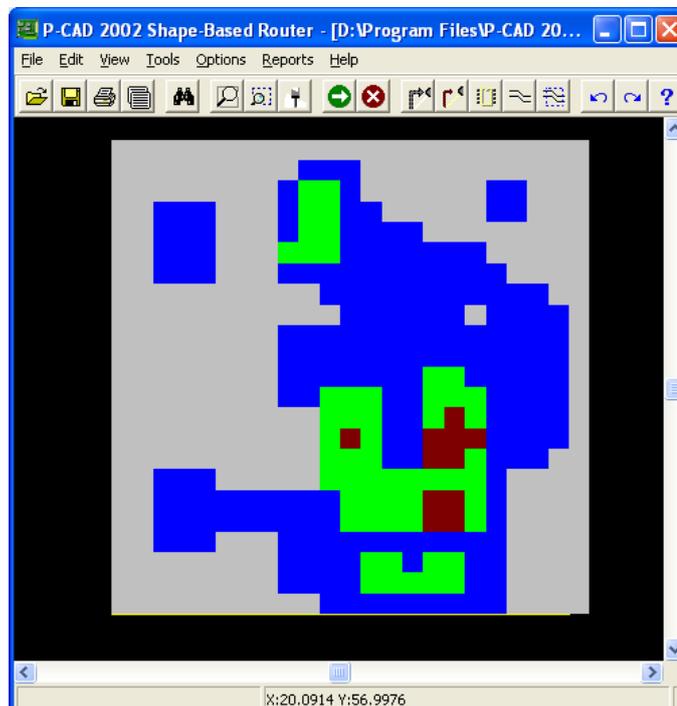


Рисунок 3.22 – Информация о плотности связей на ПП

с наименьшей плотностью. Если участки, помеченные красным цветом, занимают более 10-20% площади платы, рекомендуется разместить компоненты по-другому.

### 3.5.2 Трассировка ПП программой *Shape Based Route*

- Для трассировки ПП выполнить команды **Tools/Start Autorouter**. Программа выполнит трассировку проводников (рис. 3.23).

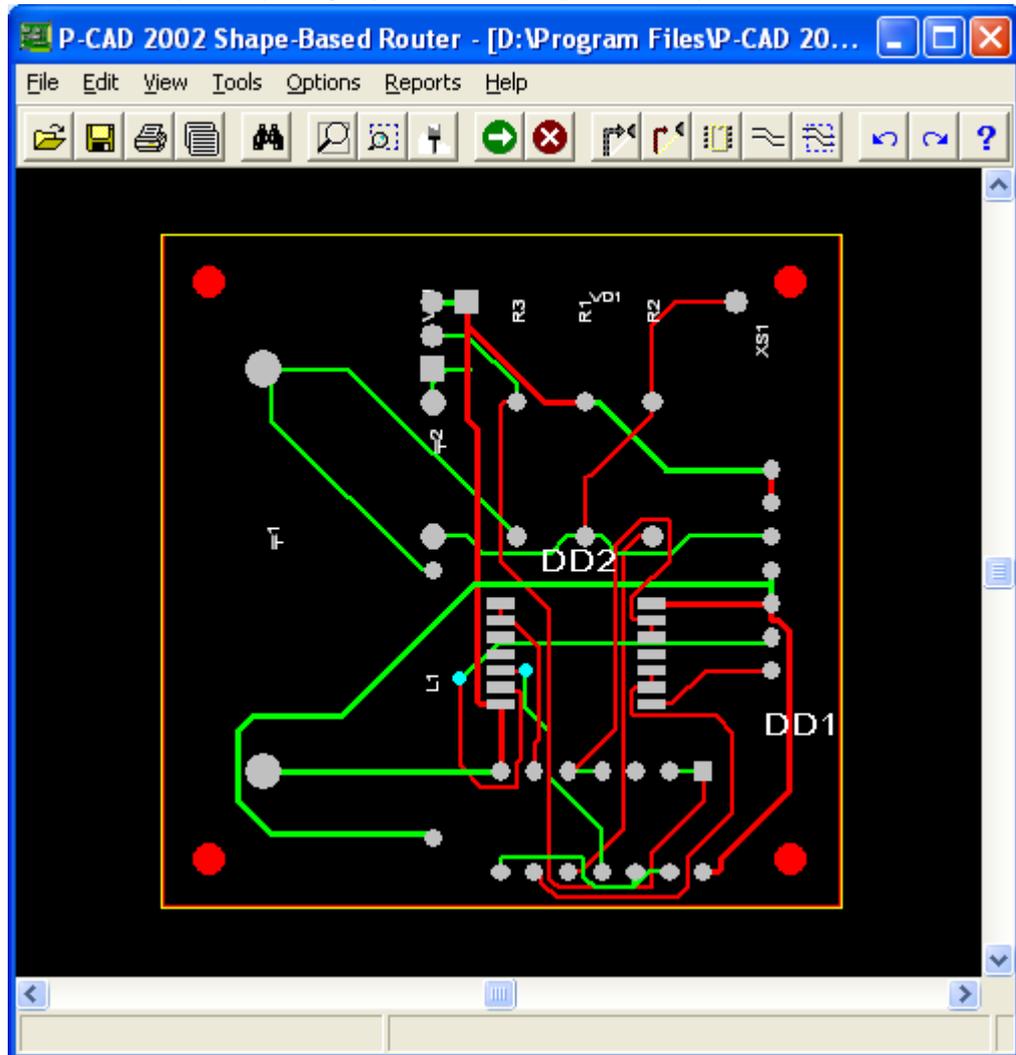


Рисунок 3.23 - Вариант трассировки ПП программой *P-CAD Shape Route*

- Неоднократное нажатие на кнопку **Start Autorouter** приводит к перетрассировке рисунка ПП. При этом сокращается длина отдельных соединений, но могут вводиться дополнительные переходные отверстия. Поэтому, пользуясь этой командой, можно получить более качественный рисунок ПП (рис. 3.24)

- После окончания трассировки командами **Reports/Routing Statistics** просмотреть итоговый статистический отчет.

- Для просмотра всех итоговых отчетов командами **Reports/Reports** открыть окно **Reports** (Отчеты), установить флажки во всех окнах и нажать кнопку **View**

- Процедура трассировки печатной платы автотрассировщиком **Shape-Based Router** завершена.

- Кроме описанных выше команд, в меню **Tools** (Инструменты) трассировщика **Shape-Based Router** предусмотрены команды, позволяющие выполнять ручную и интерактивную прокладку трасс.

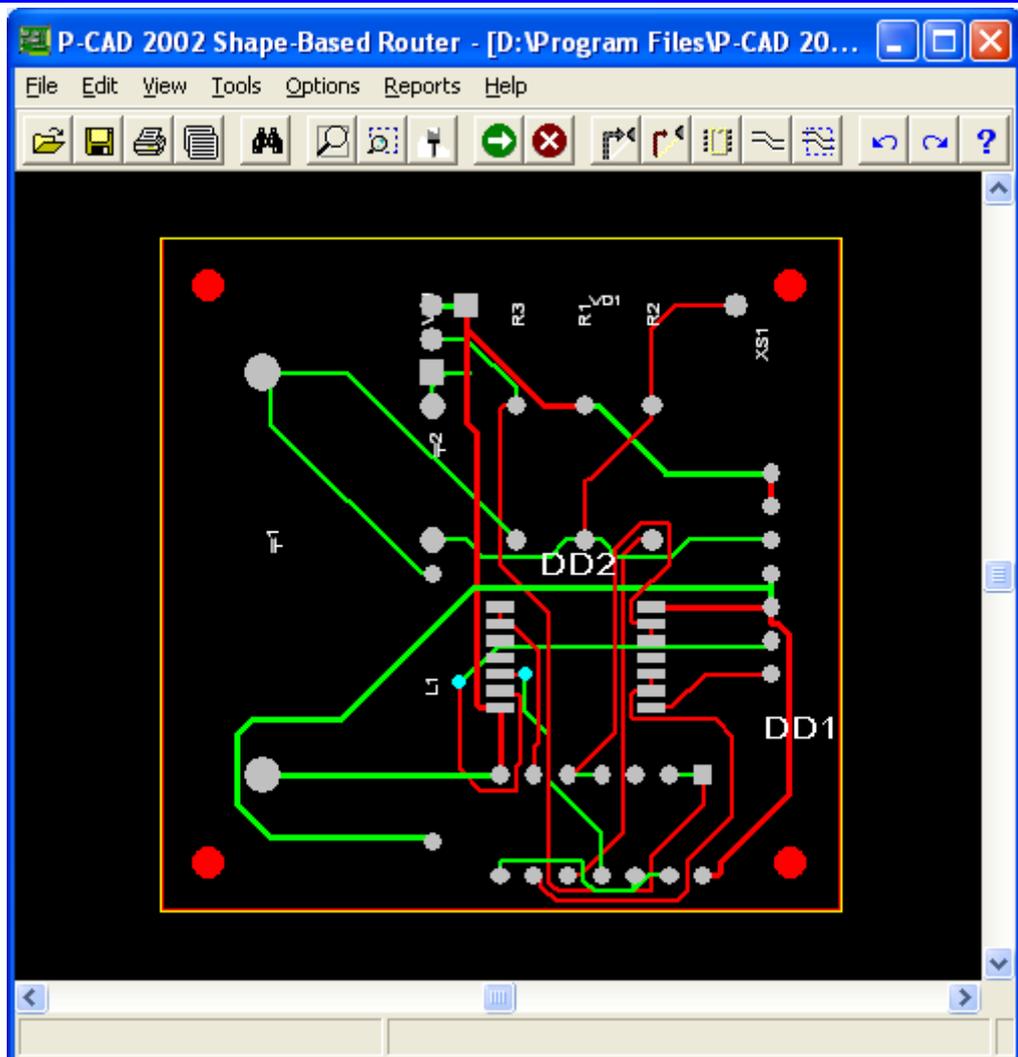


Рисунок 3.24 - Окончательный вариант трассировки ПП программой *P-CAD Shape Route*

- Ручная трассировка соединений выполняется командами **Tools/Manual Route**. Команды **Tools / Sketch Route** позволяют изобразить курсором примерное расположение трассы, которая после этого может прокладываться автоматически.
- Интерактивная трассировка выполняется следующими командами меню **Tools**:
  - **Autoroute Connection** - автотрассировка соединений,
  - **Autoroute Net** - автотрассировка цепей;
  - **Autoroute Component** - автотрассировка компонента;
  - **Autoroute Area** - автотрассировка в заданной области.
- Для сохранения файла трассировки и возврата к редактору **P-CAD PCB** выполнить команды **File/Save and Return..**

### 3.6 Заключение

В результате работы над проектом и выполнения всех основных процедур проектирования узла ПП

- сформированы УГО радиоэлементов,
- разработаны посадочные места для конструктивных элементов схемы;
- упакованы выводы ЭРЭ,
- создана принципиальная электрическая схема,

- размещены конструктивные элементы на печатной плате,
- выполнены ручная, интерактивная и автоматическая трассировки ПП.

## 4 Формирование документации

### 4.1 Оформление чертежей

Запуск ПП в производство сопровождается выпуском необходимой конструкторской и технологической документации. Продолжительное время программы автоматического проектирования печатных плат не имели развитых средств оформления чертежей. Поэтому приходилось конвертировать файл из формата *P-CAD* в *DXF* формат и производить окончательное оформление уже в пакете *AutoCAD*. Тем не менее, в *P-CAD 2006* имеется набор утилит *P-CAD Document Toolbox*, позволяющих во многих случаях обойтись без использования других графических САПР.

Оформление чертежей начинается с создания основной надписи и границ формата листа. Во многом эта работа аналогична для графического редактора *P-CAD Schematic* [16], в этом разделе приведем основные различия. Поскольку графический редактор печатных плат *P-CAD PCB* имеет структуру слоев, то для создания форматки удобно с помощью команды *Option / Layers* ввести новый слой *Titles*, в котором и рисуется рамка и основная надпись. Готовую форматку можно сохранить в виде файла с расширением или *pcb*, или *tbk (Title Block)*. В первом случае файл форматки может быть введен в проект с помощью команд *Edit / Paste From File*, во втором случае форматку можно будет подгрузить с использованием вкладки *Titles* в диалоговом окне *Option Layers* (см. рис. 2.13).

Работа с полями производится так же, как и в графическом редакторе принципиальных схем *P-CAD Schematic*.

Набор утилит *P-CAD Document Toolbox* имеет ряд команд, которые в значительной степени облегчают оформление чертежей. В частности с помощью команды *DocTool / Place / Table* удобно размещать таблицу отверстий на печатной плате, таблицы примечаний и изменений. К сожалению, стиль оформления таблиц не соответствует ГОСТу, однако путем их редактирования можно привести документ в соответствие со стандартами.

Для того чтобы ввести в произвольном месте чертежа изображение детали, созданной в графическом редакторе *P-CAD PCB*, используется команда *DocTool / Place Detail*. Деталь создается в каком-либо из несигнальных слоев и сохраняется в виде блока (расширение *blk*) с помощью команды *Edit / Copy to File*. Удобно использовать механизм этой команды для введения в сборочный чертеж вариантов установки компонентов.

В целом содержание диалогового окна *DocTool / Place Detail* аналогично окну *DocTool / Place Diagram*.

Кроме того, с помощью команды *DocTool / Place Picture* можно ввести графическое изображение, созданное аналогично детали, из файла с расширением *emf*. В отличие от команды *DocTool / Place Detail* при этом не вводится никакого текстового заголовка и комментария.

Если предполагается ввести объект в чертеж печатной платы со стороны монтажа, то следует заранее отметить флажок *DocTool Mirror on Copy*. В этом случае при его размещении он будет зеркально отражен.

Для внесения изменений в таблицы, диаграммы и поля используются команды *DocTool / Update* и *DocTool / Update All*.

Для простановки размеров рекомендуется использовать команду **Place Dimension**, которую можно вызвать из меню **Place** или нажатием пиктограммы  на панели инструментов размещения.

В раскрывающемся списке **Styles** выбираются следующие типы размеров:

- **Point to Point** - измеряет расстояние между двумя точками;
- **Baseline** - измеряет расстояние между базовой линией и последующими точками;
- **Leader** - используется для создания выноски;
- **Center** - измеряет расстояние между центрами дуг и окружностей;
- **Radius** - измеряет радиус дуги или окружности;
- **Diameter** - измеряет диаметр дуги или окружности;
- **Angular** - измеряет угловой размер;
- **Datum** - измеряет расстояние между отдельной опорной и последующими точками. Размер указывается на линии выноски.

Ориентация размерной линии выбирается в области **Orientation** с помощью переключателей **Horizontal** или **Vertical**.

Кнопка **Text Style** позволяет определить стиль текста для нанесения размеров.

Ориентация текста определяется в области **Text Orientation** с помощью переключателей **Horizontal** или **Vertical**.

В раскрывающемся списке **Units** задаются единицы измерения.

Группа параметров **Symbol** используется для выбора символа при использовании стиля **Leader**. Данный стиль удобен для задания выносных линий с

В текстовых полях **Title** и **Subtitle** задается необходимая информация заголовка и комментария. Стиль текста выбирается в раскрывающемся списке **Text Style**. Масштаб диаграммы слоев указывается в поле **Scaling**.

#### 4.2 Вывод конструкторской документации на бумажный носитель

После того как сформированные системой в процессе проектирования и необходимая дополнительная информация нанесены на чертеж, можно приступить к выводу различной конструкторской документации на бумажный носитель.

Для вывода на печать используется команда **File / Print**.

Поскольку для сборочного чертежа и послойных чертежей печатной платы требуется информация, заключенная в различных слоях, то для формирования заданий на печать (**Print Jobs**) используется кнопка **Setup Print Jobs**, после чего появляется диалоговое окно **File Print**.

При формировании заданий на печать в поле **Print Job Name** задается имя задания с последующим нажатием кнопки **Add**. В области **Print Jobs** отображается список заданий.

В поле ввода **Layers** выводится список слоев проекта. Щелчком по имени слоя при удерживаемой клавише **<Ctrl>** выбираются слои, которые будут выведены из данного чертежа.

Три кнопки: **Select AD**, **Clear AD**, **Apply Layer Set** позволяют выбрать все слои, сбросить все слои и выбрать определенный набор слоев соответственно.

Масштабирование изображения задается в области **Print Adjustments**. Для того чтобы изображение полностью заполнило лист, отмечается флажок **Scale to Fit Page**. В противном случае задаются масштабы в поле **Scale**. Расстояние до края бумаги задается в полях **X offset** и **Y offset**.

Область печати задается в группе параметров **Print Region**. Можно заполнить весь лист, отметив флажок **Design Extents**. Если требуется вывод в заданную область, то в соответствующих графах задаются координаты нижнего ле-

вого угла (**Lower Left Corner**) и правого верхнего угла (**Upper Right Corner**) области вывода.

В группе флажков **Display Options** определяются поворот изображения на 90° (**Rotate**), зеркальность (**Mirror**), черновая печать в виде контуров линий (**Draft**), а также перечень объектов, выводимых на печать.

Параметры вывода условных обозначений отверстий задаются в области **Drill Symbols**. Установка флажка **Print Drill Symbols** разрешает печать символов отверстий. Переключатели **Plated Holes**, **Non-plated Holes** или **All Holes** определяют типы отверстий, включаемые в задание на печать.

Для принятия изменений служит кнопка **Modify**.

Графику вывода отверстий определяют с использованием кнопки **Drill Symbols** в диалоговом окне **File Print**. В этом случае открывается диалоговое окно **Drill Symbols Assignments**

В левой части диалогового окна выводится список типов отверстий с указанием диаметра и наличия металлизации (**Plated**). В правой части **Drill Symbols** выбирается условное обозначение отверстия. Задание условного обозначения данному типу отверстий производится с помощью кнопки **Assign**, отмена с помощью кнопки **UnAssign**. Возможно автоматическое назначение условных обозначений отверстий с помощью кнопки **Automatic Assign**.

Настройка цветов вывода осуществляется по нажатию кнопки **Colors** в диалоговом окне **File Print**. Предварительный просмотр выполняется при нажатии кнопки **Print Preview**.

Собственно печать выполняется после нажатия кнопки **Generate Printouts**.

С помощью команды **File / Reports** выводятся различные отчеты.

#### ■ Получение рисунка верхнего слоя (**Top**) ПП

Для получения рисунка верхнего слоя (**Top**) ПП необходимо выполнить команды **Options Layers** (Редактирование слоев). В открывшемся окне **Layers** на закладке **Sets** (Набор) выделить имя слоя **Top**, затем в окне **Set Name** (Имя набора) набрать **Top** и щелкнуть по кнопке **New**. В окне **Layer Sets** (Набор слоев) в существующий набор будет введено это имя.

● После этого в окне **Layers** выделить имя **Top** цветом (щелкнув по нему ЛК) и нажать кнопку **Add**. В окне **Set Contents** (Состав набора) также появится имя **Top**. Для получения контура платы в окне **Layers** еще выделить имя **Board**, и вновь нажать кнопку **Add**. Щелкнуть ЛК по кнопке **Enable Layers** (Видимые слои), а затем по **Close**.

#### ■ Получение рисунка нижнего слоя (**Bottom**) ПП

● Для получения рисунка нижнего слоя **Bottom** ПП необходимо выполнить ту же последовательность команд, но с именем **Bottom**.

#### ■ Получение расположения радиоэлементов на ПП

● Расположение радиоэлементов на плате вывести на экран одновременным нажатием клавиш **Ctrl + 4**.

#### ■ Получение рисунка верхнего слоя **Top** и нижнего слоя (**Bottom**) ПП

● Рисунки проводников нижнего слоя **Bottom** получить одновременным нажатием соответственно клавиш **Ctrl + 5** и **Ctrl + 6**.

## 5 Контрольные вопросы

- 1) Какие программы автоматической трассировки печатных проводников включает система **P-CAD 2006** и чем они различаются?
- 2) Как вызываются программы **Quick-Route** и **Shape Based Router**?
- 3) Каким образом настраиваются режимы работы программы **Quick-Route**?
- 4) Как задаются конфигурации слоев, шаг сетки, ширина проводников?
- 5) Как задается стратегия трассировки проводников?
- 6) Каким образом формируется стиль переходных отверстий на ПП?
- 7) Как выполнить автоматическую трассировку проводников?
- 8) Как получить отчет о результатах трассировки и какая информация выводится на экран?
- 9) Как запускается программа **Shape Based Router** и что при этом выводится на экран?
- 10) На каких закладках выполняется настройка стратегии трассировки и для чего они служат?
- 11) Как задаются атрибуты цепей проекта?
- 12) Каким образом выполняется трассировка ПП программой **Shape-Based Router**?
- 13) Какими командами выполняются ручная и интерактивная прокладки трасс?
- 14) Как сохраняется файл трассировки и что при этом происходит?

## 6 Отчетность

Для получения зачета по работе студент должен представить все необходимые чертежи печатного узла. Чертежи должны быть оформлены в соответствии с требованиями ЕСКД.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кофанов Ю.Н., Сарафанов А.В., Трегубов С.И. Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат: Учеб. Пособие. 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Радио и связь, 2006, 220 с.
2. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Ч. Т. Романычева, А. К. Иванова, А. С. Куликов и др.; Под ред. Э.Т. Романычевой. - 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Радио и связь, 1989. - 448 с.
3. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. - М.: Высш. шк., 1990. - 432 с.: ил.
4. Савельев М.В. Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. Шк., 2006. – 319 с.: ил.
5. Чернышев А.А. Основы конструирования и надежности электронных вычислительных средств: Учеб. для вузов. - М.: Радио и связь, 1998. - 448 с.: ил.
6. Стешенко В.Б. EDA. Практика проектирования радиоэлектронных устройств. – СПб.; БХВ-Петербург, 2003. – 720 с.: ил.
7. Стешенко В.Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 720 с.: ил.
8. Мактас М.Я. Восемь уроков по P-CAD 2006. - М.: СОЛОН-Пресс, 2003. - 224 с.: ил.

- 
9. Разевиг В. Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2006. - М.: Солон-Р, 2006.
  10. Саврушев Э.Ц. P-CAD для Windows. Система проектирования печатных плат. Практическое пособие — М.: Издательство ЭКОМ, 2006. - 320 с.: ил.
  11. Лопаткин А.В. Проектирование печатных плат в системе P-CAD 2006. Учебное пособие для практических занятий. – Нижний Новгород, НГТУ, 2006. - 190 с.
  12. Кобрин Ю.П. Диалоговое размещение электрорадиоэлементов в **P-CAD 2006**. – Томск, ТУСУР, 2012. - 48 с.
  13. Кобрин Ю.П. Создание электрических схем графическим редактором **P-CAD Schematic**. – Томск, ТУСУР, 2012. - 46 с.
  14. Кобрин Ю.П. Разработка посадочных мест на печатной плате для монтажа конструктивных элементов. – Томск, ТУСУР, 2012. - 78 с.
  15. Кобрин Ю.П. Создание компонентов радиоэлектронных средств с помощью программы работы с библиотеками **P-CAD Library Executive**. – Томск, ТУСУР, 2012. - 30 с.
  16. Кобрин Ю.П. Создание углового штампа чертежа и форматов в P-CAD 2006. – Томск, ТУСУР, 2012. - 31 с.
  17. ОС ТУСУР 6.1-97. Образовательный стандарт ВУЗа. Работы студенческие учебные и выпускные квалификационные. Общие требования и правила оформления. – Томск, ТУСУР, 1997. – 40 с.
-