

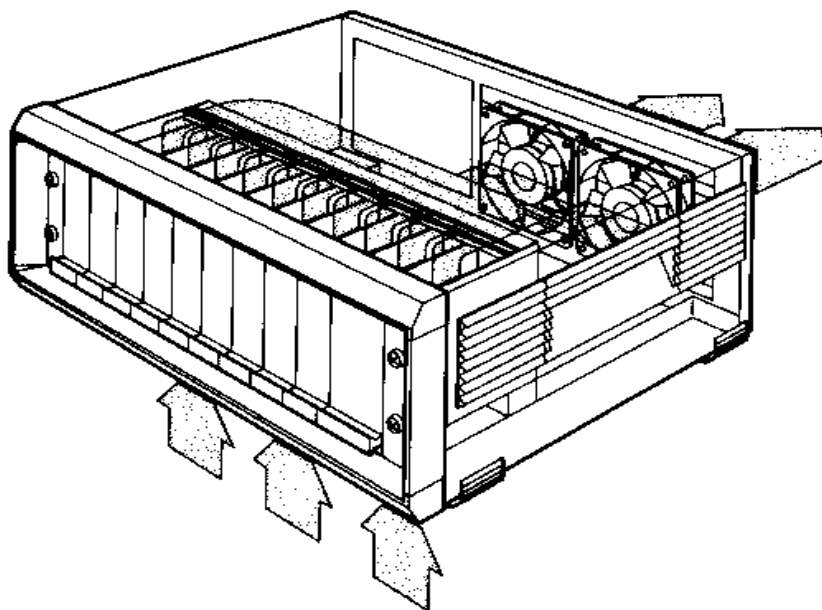


Кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры

А.К.Кондаков

КОНСТРУИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ РЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР P-CAD

Методическое пособие для выполнения практического занятия
для студентов радиотехнического факультета по дисциплине
«Основы конструирования и технологии производства
радиоэлектронных средств»



1 Цель работы

Система *P-CAD* предназначена для проектирования печатных плат (ПП) функциональных узлов (ФУ) конструкций РЭС. Практические работы предусматривают приобретение студентами навыка работы с САПР *P-CAD* и выполнение студентами процедуры проектирования ФУ с помощью системы *P-CAD* с целью возможности дальнейшего использования этой системы в качестве инструмента подготовки конструкторской документации при разработке и проектировании конструкций РЭС.

2 Основные положения

Процесс конструкторского проектирования ФУ в системе *P-CAD* включает выполнение следующих этапов.

1. Настройка конфигурации схемного графического редактора принципиальных электрических схем *P-CAD*.
2. Выполнение принципиальной электрической схемы проектируемого узла конструкции в графическом редакторе *P-CAD*.
3. Создание списка соединений для выполнения процедуры «упаковки схемы на печатную плату».
4. Настройка конфигурации редактора печатных плат *P-CAD*.
5. Выбор контура печатной платы и осуществление автоматической трассировки проводников в формате программы PRO Route.
6. Выполнение конструкторских документов ФУ.

Конструкторские документы включают в себя электрическую схему, перечень элементов электрической схемы, сборочный чертеж ФУ с указанием позиций и технических требований, спецификацию к сборочному чертежу, чертеж детали - печатной платы с указанием размеров, точности изготовления, материала ПП, технических требований и т.п.

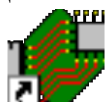
2.1 Назначение и возможности основных программ *P-CAD*

Система конструкторского проектирования функциональных узлов *P-CAD* включает основные модули:



***P-CAD Schematic* - графический редактор электрических схем.**

Он предназначен для разработки принципиальных электрических схем (файлы с расширением *.sch*), на основании которых осуществляется в дальнейшем весь процесс разработки и проектирования ФУ.



❖ ***P-CAD PCB (printed circuit board* – печатная плата схемы) - графический редактор ПП**, предназначенный для конструкторско-технологического проектирования ПП. Он позволяет задавать размеры

ПП, ширину проводников, величину зазоров, размеры и расположение контактных площадок, диаметры переходных отверстий (ПО), задавать экранные слои, маркировку, размещение ЭРЭ и т.д.



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

В интегрированной библиотеке каждому символу УГО ЭРЭ могут быть сопоставлены *несколько вариантов корпусов*. Библиотеки легко пополняются с помощью графических редакторов с обязательным указанием упаковочной информация о цоколевке ЭРЭ, логической эквивалентности выводов и т.п. Вся текстовая информация об упаковке ЭРЭ и их атрибутах заносится в таблицы, удобные для просмотра и редактирования. Библиотеки всех предыдущих версий *P-CAD* через текстовый формат *PDIF* переносятся в *P-CAD* и затем объединяются в интегрированные библиотеки.

В системе *P-CAD* имеются мастера создания символов и корпусов компонентов по всевозможным атрибутам.



❖ ***P-CAD Symbol Editor - редактор для создания и редактирования символов элементов электрических принципиальных схем (УГО)***.



❖ ***Pattern Editor - редактор для создания и редактирования корпусов электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и их посадочных мест на ПП***. Редактор позволяет создавать новый корпус компонента ЭРЭ и его отредактированные параметры и атрибуты в дальнейшем внести в библиотеку *PCAD*.

P-CAD включает **программу автоматической трассировки *Quick Route***, которая вызывается из основной оболочки *P-CAD* по команде *Route>Autorouters*.

2.2 Запуск системы

Запуск программ системы *P-CAD* выполняется следующим образом. Если пиктограммы программ находятся на рабочем столе, то для запуска любой из них достаточно щелкнуть по требуемой пиктограмме.

Другой способ заключается в том, что сначала щелчком левой кнопки мыши (ЛК) по кнопке «Пуск» в выпадающем меню команд «Программы» следует найти «*P-CAD*», а далее щелкнуть ЛК по ней. В открывшемся меню будут представлены все модули *P-CAD*. В том случае, если на компьютере уже запущена одна из программ *P-CAD*, необходимо ЛК мыши щелкнуть *Utils* (Служебные команды). Откроется выпадающее меню, в котором щелчком ЛК мыши можно запустить интересующую вас программу. При этом действующая программа не закрывается, а только свернется и к ней всегда можно будет вернуться.

2.3 Экраны графических редакторов

Экраны программных модулей *P-CAD* организованы по единому образцу. Небольшие отличия касаются только специфики решаемых модулями задач, что упрощает процесс изучения и работы с системой.

В верхней части экрана *строка заголовка* окна указывает название запущенной программы и имя проекта, с которым ведется работа.

В следующей строке помещено *меню основных команд* редактора.

Далее следует *горизонтальная панель инструментов*, которая содержит пиктограммы системных команд, а *вертикальная панель* в левой части экрана содержит кнопки (пиктограммы), предназначенные для быстрого вызова наиболее часто употребляемых *команд размещения объектов* на рабочем поле экрана.

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

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

Самая нижняя строка - *строка состояний* графического редактора.

2.4 Команды обзора рабочего окна

Команды обзора рабочего окна сгруппированы в меню **View**. Они изменяют вид, масштаб изображения объекта и его положение в пределах рабочего окна.

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

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

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

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

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

Команды **View/Zoom In** или **View/Zoom Out** увеличивают или уменьшают изображение на величину параметра **Zoom Factor**, указанного в меню **Options/Configure**. Изменение масштаба изображения удобнее производить при установке курсора в точку, относительно которой будет произведено изменение, и последующем нажатии на клавиши **серый «+»** или **серый «-»**.

Команда **View/Jump Location** перемещает курсор в точку с координатами, которые указываются в окнах диалогового окна, появляющегося после выполнения указанной команды.

После выделения объекта и последующего щелчка правой кнопкой мыши по объекту вызывается контекстное меню.

Полный перечень команд контекстного меню таков:

- ❖ **Properties...** - просмотр и редактирование характеристик выбранного объекта;
- ❖ **Copy** - копирование объекта в буфер обмена;
- ❖ **Copy Matrix...** - множественное копирование объекта;
- ❖ **Cut** - удаление выбранного объекта с сохранением его копии в буфере обмена;
- ❖ **Delete** - удаление выбранного объекта;
- ❖ **Edit Nets...** - редактирование атрибутов цепи;
- ❖ **Select Contiguous** – выбор соприкасающихся элементов цепи;
- ❖ **Select Net** - выбор всей цепи (включая фрагменты цепи, связанные с общей шиной);
- ❖ **Net Info...** - вывод информации о цепи;
- ❖ **Highlight** - окрашивание выбранного объекта;
- ❖ **Unhighlight** - отмена предыдущей команды;
- ❖ **Highlight Attached Nets** - окрашивание цепей, подсоединенных к выбранным объектам;
- ❖ **Unhighlight Attached Nets** - отмена предыдущей команды;
- ❖ **Align** - выравнивание компонентов на рабочем поле;
- ❖ **Selection Point** - изменение положения точки привязки выбранного объекта или группы объектов.

3 Основные этапы проектирования печатной платы в системе P-CAD

Проектировщик функционального узла РЭС вместе с техническим заданием на проектирование получает исходную принципиальную электрическую схему, включающую основные электрорадиоэлементы, применяемые в современной радиоэлектронной аппаратуре: микросхемы, транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, электрические соединители и т.д.

Далее, используя схемный редактор P-CAD Schematic, обеспечивающий создание принципиальной электрической схемы, и технологический редактор P-CAD PCB, предназначенный для редактирования топологии печатной платы, приступают к выполнению проекта.

Основой работы системы P-CAD являются библиотеки радиоэлементов. Библиотечные элементы содержат как графическое описание, так и упаковочную информацию. Упаковочная информация представляет собой текстовое описание контактов и взаимные ссылки на нумерацию контактов в символах схемной библиотеки и посадочных местах технологической библиотеки.

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

- Создание условных графических обозначений (УГО) отдельных элементов электрической схемы с помощью редактора символов P-CAD Symbol Editor (при отсутствии необходимых УГО в библиотеке P-CAD).

- Разработка посадочных мест для всех конструктивных электрорадиоэлементов (ЭРЭ) принципиальной электрической схемы с помощью редактора корпусов P-CAD Pattern Editor (при их отсутствии в библиотеке P-CAD).

- Упаковка выводов конструктивных элементов (перенос атрибутов ЭРЭ схемы на посадочное место этого элемента) средствами программы P-CAD Library Executive.

- Разработка принципиальной электрической схемы ФУ с помощью графического редактора P-CAD Schematic.

- Формирование контура печатной платы и размещение на ней конструктивных элементов, имеющих фиксированное положение, с помощью графического редактора печатных плат P-CAD PCB.

- Трассировка проводников печатной платы.

4 Общие правила создания электрических схем

Графический редактор *P-CAD Schematic* предназначен для создания схем электрических принципиальных (файлы с расширением *.sch*). Затем из них извлекается список цепей и далее в соответствующих программных средствах выполняется трассировка печатной платы.

Анализируя предложенную электрическую схему ФУ необходимо:

- 1) Уяснить какие элементы относятся к органам управления РЭС и органам контроля за его работой. Как правило, подобные элементы не размещают на печатной плате ФУ, их выносят на лицевую или заднюю панель РЭС. Туда же выносят элементы включения (выключения) питания, входные и выходные гнезда, элементы индикации, регистрирующие приборы и другие элементы, которые нецелесообразно размещать на печатной плате.

- 2) Определить способ соединения ФУ с оставшейся частью схемы РЭС. Будет ли это соединение выполняться с помощью разъема или без него, например, с помощью жгута, припаиваемого к монтажным стойкам или клеммам печатной платы.

- 3) Предусмотреть способ крепления ФУ в корпусе радиоустройстве.

Результатом анализа принципиальной схемы ФУ должен быть вариант (черновик) преобразованной схемы, состоящий только из элементов, которые предполагается разместить на печатной плате ФУ.

5 Настройка конфигурации графического редактора *P-CAD Schematic*

Настройка конфигурации графического редактора принципиальных электрических схем заключается в следующем.

5.1 Выбор и установка системы единиц измерения и размеров чертежа

Выполнить команду *Options/Configure*.

- В области *Units* (Единицы измерения) при создании принципиальных схем в соответствии с ЕСКД выбрать в качестве единицы измерения метрическую систему единиц - миллиметры (*mm*).

- Область *Workspace Size* предназначена для определения размера листа схемы электрической принципиальной. Размеры листа могут быть выбраны из 10 стандартных форматов (5 американских — *A, B, C, D, E* и 5 европейских — *A4, A3, A2, A1, A0* – это не ЕСКД!), либо заданы пользователем путем, установкой переключателя *User (Пользовательский)* и непосредственного ввода ширины (поле ввода *Width*) и высоты (поле ввода *Height*) листа соответствующего ЕСКД.

- Группа флажков *Orthogonal Modes* (Варианты ортогональности) определяет взаимные углы цепей и линий. Если отмечен флажок *90/90 Line-Line*, то вводятся ортогональные линии и проводники, выбрав флажок *45/90 Line-Line*, можно вводить линии по диагонали. Целесообразно выделить флажком оба пункта.

- Кнопка *Edit Title Sheets* (Оформление чертежа) устанавливает стили оформления чертежей схем. К сожалению, шаблона оформления по ЕСКД в системе нет, а европейские и американские стандарты нас не устраивают. Тем не менее, имеется возможность установить на рабочем поле формат чертежа А4 соответствующий ЕСКД, обратившись к библиотеке PCAD.

- Флажок *DDE Hotlinks* устанавливает «горячие» связи редактора схем с редактором печатных плат (PCB) для подсветки выделенных компонентов и цепей.

- Поле *Zoom Factor* определяет масштаб изменения изображения при выполнении команд *View/Zoom In* или *View/Zoom Out*.

Для учреждения всех необходимых изменений и закрытия окна *Options Configure* следует нажать **OK**.

5.2 Выбор и установка системы параметров сетки

Параметры сетки (расстояние между узлами, вид сетки, ее тип) устанавливают по команде *Options/Grids* (Параметры/Сетки). При этом появляется специальная панель *Options Grids*. В области *Grids Spacing* ввести шаг сетки **2,5** (без указания единиц измерения), нажать *Add*. Затем аналогично ввести шаги сетки **10 мм, 5 мм и 1 мм** и нажать *Add*.

Для фиксации изменений и выхода из панели *Options Grids* щелкнуть ЛК по кнопке **OK**.

5.3 Настройка параметров отображения

- По команде основного меню *Options/Display* (Параметры / Отображение) на панели *Options Display* можно задать цвета и стили отображения различных объектов схемы. Окно этой команды содержит две закладки: *Colors* (Цвета) и *Miscellaneous* (Разное).

- На первой закладке *Colors* в рамке *Item Color* (цвет элементов) задаются цвета отображения проводников (*Wire*), символов компонентов (*Part*), шин (*Bus*), точек пересечения проводников (*Junction*), выводов компонентов (*Pin*), линий (*Line*), полигонов (*Polygon*), текстов (*Text*), неподсоединенных (открытых) выводов компонентов или цепей (*Open End*).

- В рамке *Display Color* (цвет отображения) устанавливают цвет дополнительных элементов чертежа: фона (*Background*), нормальной (*1x Grid*) и крупной

сетки (**10× Grid**), подсвеченных объектов (**Highlight**), выбранных объектов (**Selection**), форматки схемы (**Title**), атрибутов проводников (**Wire Attr**) и атрибутов компонентов (**Part Attr**).

Для изменения цвета какого-либо объекта необходимо нажать на соответствующую кнопку и выбрать цвет из представленной палитры.

- В группе **Junction Size** можно задать размер точек соединения проводников. Возможны три варианта:

- маленькие точки (**Small**) размером **20 mil**;
- большие (**Large**) размером **30 mil**;
- точки с размерами задаваемыми пользователем (**User**) в интервале **0.025 - 10** мм.

- В рамке **Bus Connection Style** (режим подключения к шине) нажатием соответствующей кнопки выбирается один из трех стилей подключения проводников к шине.

- Кнопка **Default** возвращает всем параметрам значения по умолчанию.

Установите желаемые параметры отображения и нажмите кнопку **OK**.

5.4 Сохранение шаблона проекта

Основная часть настроек проекта из меню **Options** сохраняется системой в специальных файлах настроек, расположенных в папке **P-CAD** (для схемного редактора это **sch.ini**) и при последующей работе они загружаются автоматически.


Другие настройки, например, вновь введенные поля, шаги сетки, стили текста хранятся только в текущем проекте и в последующих проектах должны быть введены заново. Поэтому рекомендуется сохранять некоторый набор пустых проектов (без схем и плат) в качестве шаблонов. При дальнейшей работе нужный шаблон можно загрузить командой **File/Open**, восстанавливая необходимые значения параметров.

Чтобы при переустановке системы **P-CAD** случайно не удалить созданные файлы шаблонов и проектов лучше их хранить в отдельном каталоге!!

5.5 Загрузка шаблона форматки А4

Используя команду **File/Open...** (Файл/Открыть), загрузите из папки «**Шаблоны**» директории **P-CAD** файл с заготовкой листа форматки **A4**, подготовленный ранее. При загрузке на панели **Open** в окне **Тип файлов** должно быть установлено "**All Files (*.*)**" (Все Файлы).

5.6 Заполнение основной надписи чертежа

- Выберите в основном меню команду **File/Design Info...** (или кнопку  на горизонтальной инструментальной панели) и откройте закладку **Field** (поля) панели **Design Info**.


Используя кнопку **Properties**, определите значения необходимых полей.

Для правильного заполнения основной надписи необходимо присвоить значения всем полям, имеющимся на форматке.

- Если необходимо, чтобы какая-либо графа, содержащая поле, была пустой, нужно соответствующему полю присвоить значение **ПРОБЕЛ**. В противном случае в этой графе будет отображаться имя поля в фигурных скобках.

Поскольку не все графы основной надписи чертежа закрываются системными полями, определенными в системе *P-CAD* по умолчанию, разумно расширить список полей.

- Для создания дополнительных полей (например, полей **Н. контр**, **Вид документа**, **Материал**, **Масса**, **Масштаб** и т.д.) необходимо:

- В основном меню выбрать команду **File/Design Info...**  (Файл/Информация о проекте).
- На появившейся панели **Design Info** выбрать закладку **Field** (поле) и нажать кнопку **Add** (добавить).

На панели **Field Properties** (свойства поля) в окне **Name** (имя) напечатать **Н. контр**. Окно **Value** (значение) оставить пустым.


Для завершения диалога создания нового поля нажать кнопку **ОК**.

Далее в основном меню выберите команду **Place/Field** (аналог – кнопка {F} на левой инструментальной панели).

- Щелкните левой кнопкой мыши в любом месте чертежа.
- На появившейся панели **Place Field** выберите из списка название нужного поля, например, «**Author**» (Автор) и щелкните по нему ЛК мыши.
- Нажмите кнопку **ОК** для закрытия панели выбора полей.

Переместите курсор в место, где должна располагаться точка привязки поля (в данном случае - левый нижний угол) и щелкните левой кнопкой мыши. Появится изображение поля.

5.7 Ввод произвольных надписей


Любые нужные надписи на чертеже могут быть реализованы с помощью команды **Place/Text**  (Расположить Текст), но к форматке эти надписи никакого отношения иметь не будут.

5.8 Ввод необходимых шагов сетки рабочего окна

В меню **Options** щелкнуть по строке **Grid**, появится диалоговое окно **Options Grid**. В нем определить новые сетки графического редактора с шагом **5 мм**, **2,5 мм** и **1 мм**.

6 Создание электрической принципиальной схемы

6.1 Размещение УГО элементов

➤ Для размещения УГО элементов в рабочем пространстве листа необходимо выполнить команды **Place/Part** (Размещение элементов) или нажать пиктограмму .

Появится одноименное окно **Place Part**.

➤ В области **Component Name** окна **Place Part** представлен список элементов, входящих в открытую библиотеку.

➤ Число логических секций, входящих в компонент, отображается в поле **Num Parts**. Номер вводимой логической секции выводится в поле ввода **PartNum**.




➤ Предварительный просмотр вводимого УГО символа осуществляется путем нажатия кнопки **Browse**.

➤ Имя открытой библиотеки отображается в раскрывающемся списке **Library**. При необходимости можно легко перейти к другой библиотеке.


➤ Для подключения библиотек списка **Library**, из которых будут загружаться УГО ЭРЭ, необходимо нажать панель **Library Setup**. Откроется окно, в котором представлены загруженные библиотеки. Нажать кнопку **Add**. В появившемся стандартном окне **Windows** надо выбрать файл соответствующей библиотеки и нажать кнопку «Открыть». После этого нажать кнопку **OK** в окне **Library Setup**.

➤ Следует заметить, что позиционные обозначения элементов в схеме представляются автоматически с использованием буквенных, либо цифровых обозначений логических секций. При этом разделителем между номером компонента и секции служит двоеточие (например, **DD1:1**, **DD1:2**), что не соответствует ГОСТу. Чтобы соблюсти стандарты, рекомендуется вводить позиционное обозначение вручную как *текст* или как *атрибут пользователя*. При этом с помощью нажатия ПК мыши в диалоговом окне **Part Properties** сбрасывается флажок видимости соответствующих атрибутов символа.

➤ При вводе УГО элемента размещение символа в поле экрана выполняется после щелчка ЛК в выбранной точке рабочего пространства. Пока ЛК мыши не нажата, можно перемещать символ по экрану. Вращение с шагом 90° осуществляется путем нажатия клавиши **R**, зеркальное отображение - клавиши **F**. Для увеличения на **1** позиционного обозначения символа служит клавиша **D**, для уменьшения - **Shift+D**.

➤ Нередко удобно применять команды выбора **Edit/Select** , а также копирования **Edit/Copy**  и вставки **Edit/Paste**  для копирования большого числа однотипных элементов или фрагментов схем.

6.2 Проведение электрических цепей

➤ Ввод соединительных проводников (электрических цепей) выполняется по команде **Place/Wire** (Разместить проводник), которую можно вызвать, используя меню **Place** или соответствующую пиктограмму . После щелчка по пиктограмме в строке подсказки появляется приглашение выбрать начальную точку цепи. Возможная точка излома цепи задается нажатием ЛК мыши. При необходимости сменить угол ввода линии на величину установленного при конфигурировании шага (45 или 90°) нужно нажать на клавишу **O**. Завершение ввода проводника выполняется по нажатию ПК мыши или клавиши **Esc**.

➤ Типичная очень грубая ошибка - нередко пытаются ввести электрическую связь с помощью команды **Place / Line**. Понятно, что при внешнем сходстве, извлечь из такой схемы список цепей невозможно.

После графического исполнения принципиальной электрической схемы необходимо проверить обозначение позиций каждого УГО. Допускается указывать номинальное значение параметров элементов схемы.

6.3 Синтаксическая проверка

Основной причиной ошибок при разработке печатной платы спроектированного ФУ является недостаточный контроль принципиальной схемы. К сожалению, автоматизации поддается лишь контроль простых синтаксических ошибок (цепи, присоединенные только к одному выводу или вовсе не имеющие узлов, неподключенные выводы, различные электрические ошибки и т.д.). Контроль соединений между выводами компонентов схемы является только визуальным, вот почему процесс создания принципиальной схемы - очень важный этап в проектировании изделия и требует самого пристального внимания.

Для проверки возможных синтаксических ошибок, допущенных при создании схемы необходимо выполнить команду *Utils/ERC*. Откроется окно *Utils electrical rules check* (проверка правильности выполнения правил электрических соединений), в котором приводится перечень проверок, выполняемых программой.

➤ Кнопка *Filename* позволяет выбрать файл, в который записывается отчет о проверке. В нем выводится информация о типе ошибки и ее координаты. Файл сообщений об ошибках **.erc* имеет текстовый формат и может быть просмотрен в любом текстовом редакторе.

➤ В зоне *Design Rule Checks* необходимо включить все виды проверок и вывод на экран отчета об ошибках с индикацией ошибок на схеме:

- *Single Node Nets* - поиск цепей, имеющих единственный узел.
- *No Node Nets* - поиск цепей, не имеющих узлов.
- *Electrical Errors* - поиск электрических ошибок, как правило, соединение выходов компонентов, их подключение к общим цепям и т. п.
- *Unconnected Pins* - поиск неподключенных (висячих) выводов компонентов.
- *Unconnected Wires* - поиск неподключенных цепей.
- *Bus/Net Errors* - поиск ошибок групповой связи.
- *Component Errors* - поиск ошибок компонентов, например расположение символа поверх других компонентов.
- *Net Connectivity Errors* - поиск неправильного подключения цепей земли и питания.
- *Hierarchy Errors* - поиск ошибок в иерархических структурах.

➤ В группе флажков *Report Options* выбираются параметры, подлежащие контролю при выполнении верификации схемы:

- установка флажка *View Report* вызывает просмотр файла сообщений об ошибках по окончании верификации схемы;
- выбором флажка *Annotate Errors* включается цветное выделение ошибок.

➤ Нажать на панель *Severity Levels*. Откроется окно *Rules Severity Level*, в котором указать степень серьезности ошибок. Нажать кнопку **OK**, а затем еще раз нажать кнопку **OK** в окне *Utils/ERC*.

6.4 Запись сформированной принципиальной схемы ФУ

Для сохранения сформированной электрической схемы выполнить команду *File/Save As*. Откроется диалоговое окно *Save As*, в котором необходимо указать папку для хранения данных своего проекта и в строке «*Имя файла*» набрать имя вашего проекта. Щелкнуть по панели «*Сохранить*».

6.5 Упаковка схемы на печатную плату

➤ Для осуществления упаковки принципиальной схемы на печатную плату (размещения на ПП корпусов *ЭРЭ* с указанием электрических связей между ними в соответствии с принципиальной схемой) ее надо записать в виде списка соединений. Последний включает в себя список *ЭРЭ* и цепей с указанием номеров выводов *ЭРЭ*, к которым они подключены.

➤ Для этого в меню *Utils* выполнить команду *Generate Netlst*. В открывшемся окне нажать на панель *Netlst Filename*, которая позволяет назначить имя выходного файла. В открывшемся стандартном окне *Windows* указать папку и имя файла списка соединений. Нажать кнопку **OK**.

➤ В открывшемся списке *Netlst Format* необходимо выбрать формат *P-CAD ASCII* (он передает атрибуты схем на ПП) и нажать кнопку **OK**. Список цепей схемы будет сохранен.

7 Разработка печатной платы (ПП) функционального узла

Для запуска редактора печатных плат в системе *P-CAD* следует:

- если пиктограммы программ находятся на рабочем столе, то достаточно щелкнуть ЛК по пиктограмме **PCAD PCB**;
- другой способ – через кнопку «**Пуск**», «**Программы**» и далее **PCAD PCB**.


7.1 Настройка конфигурации редактора PCAD PCB

Аналогично схемному графическому редактору по команде *Options / Configure* в графе *Units* выбирают метрическую систему единиц. В графе *Workspace Size* указывают размер рабочей области, превышающей габаритные размеры печатной платы.

По команде *Options / Display* устанавливают параметры экрана и цвет слоёв.

7.2 Подключение библиотек корпусов ЭРЭ

Перед размещением *ЭРЭ* на ПП необходимо обеспечить доступ к библиотекам, в которых находятся эти *ЭРЭ*. Библиотеки подключают командами *Library/Setup*. Добавляют имена библиотек в список открытых библиотек (*Open Libraries*) клавишей *Add*, а с помощью клавиши *Delete* удаляют их из этого списка.

Для загрузки всех библиотек, из которых были набраны элементы схемы, следует выполнить команду **Place/Component** (пиктограмма ). В появившемся одноименном окне щелкнуть ЛК по кнопке **Library Setup**.

Появится одноименное окно управления библиотеками, в котором для добавления в список новой библиотеки нажать кнопку **Add**.

После этого в стандартном окне **Windows** выбрать нужную библиотеку. Если необходимо, снова нажать кнопку **Add** и добавить следующую библиотеку. Таким способом надо загрузить все используемые при создании схемы библиотеки.

7.3 Загрузка списка соединений электрической схемы

Для этого в меню **Utils** выполнить команду **Load NetList** (Загрузить список соединений). В появившемся одноименном окне щелкнуть ЛК по кнопке **NetList Filename**.

В открывшемся стандартном окне **Windows** выбрать созданный ранее файл списка соединений (*.net).

В выпадающем списке **NetList Format** выбрать установленный ранее формат **P-CAD ASCII**. Нажать кнопку **OK**.

После этого на рабочем поле должны появиться контуры ЭРЭ и связи между ними. Если есть ошибки, загрузка файла соединений не произойдет, и тогда следует просмотреть перечень ошибок и предупреждений (файл *.erc) и исправить все ошибки.



Для удобства дальнейшего проектирования печатной платы желательно удалить различные атрибуты компонентов. Для этого щелкнуть ЛК по компоненту, после чего он изменит свой цвет. После этого щелкнуть ПК. Появится контекстное меню, в котором щелкнуть ЛК по строке **Properties** (свойства), вызывая окно **Component Properties**.

В окне **Component Properties** в области **Visibility** (видимость) напротив строки **Type** двумя щелчками ЛК снять флажок. Щелкнуть ЛК по кнопке **OK**. Надпись возле компонента исчезнет.

Подобную процедуру надо повторить со всеми ЭРЭ схемы. Тогда при размещении ЭРЭ в контуре ПП сохранятся только графические обозначения элементов.

7.4 Ввод контура печатной платы

Для этого в выпадающем списке **Select Layers** (находится в строке параметров состояния правее поля с текущей сеткой) перейти в слой **Board**.

После настройки конфигурации и выбора необходимых параметров контур печатной платы рисуют в слое **Board**. Обычно для этого используются команды **Place/Line**  и **Place/Arc** . В большинстве простых случаев достаточно целиком и полностью использовать возможности **P-CAD** и выбрать простейшую конфигурацию ПП – прямоугольную.

Вначале следует определить размеры ПП. Для этого подсчитаем установочную площадь, занимаемую каждым ЭРЭ. Для приближенного определения установочной площади ЭРЭ удобно установить шаг сетки 1 мм и, последовательно выделяя все ЭРЭ, замерить ширину и высоту пунктирных контуров, в которые заключены выделяемые ЭРЭ.

7.5 Диалоговое размещению ЭРЭ

Критерием качества размещения компонентов на ПП считают минимальную суммарную длину соединений.

Для диалогового размещения ЭРЭ выполнить команды *Edit/Select*.

Установить текущим слой *Top*.

При установке элементов редактор позволяет манипулировать ими: вращать, перемещать, делать невидимыми тексты.

Для вращения выбранного элемента вокруг точки привязки можно выделить его командами *Edit/Select* и, нажатием клавиши **R** поворачивать против часовой стрелки на 90° или клавишей **F** на 180°. Кроме того, можно перемещать тексты с места на место или сделать их невидимыми.

В соответствии с конструкторско-технологическими требованиями вначале на ПП устанавливаются разъемы. Для этого выделяют его (навести на него курсор и щелкнуть ЛК). Разъем изменит цвет. Еще раз нажать ЛК и, не отпуская ее, перетащить разъем в центр крайней правой части контура ПП.

Остальные элементы необходимо размещать внутри контура ПП стараясь, чтобы суммарная длина соединений была минимальной. Для этого рядом с разъемом устанавливают ЭРЭ, имеющие максимальные связи с ним.

При размещении каждый из элементов надо выделять курсором и при нажатой ЛК перемещать внутрь контура платы.

После размещения может оказаться, что некоторые из обозначений ЭРЭ либо перевернуты, либо неудачно размещены по отношению к ЭРЭ. В таком случае обозначения надо установить в удобное для прочтения положение. Для этого надо нажать и, удерживая клавишу *Shift*, щелкнуть ЛК по передвигаемой надписи. Она изменит цвет. После этого, указав на нее курсором и удерживая ЛК в нажатом состоянии, перетащить надпись в требуемое место. При необходимости ее можно перевернуть, нажимая на клавишу буквы **R**.

Результат размещения ЭРЭ на печатной плате сохранить желательно в папке «*Проекты*». Для этого выполнить команду *File/Save As*

В стандартном окне *Windows* в окне «*Папки*» указать имя «*Проекты*», а в окне «*Имя файла*» ввести «*Размещение*» в более компактном формате *Binary Files* (с расширением *.pcb*).

Нажать кнопку «*Сохранить*». Результат размещения элементов на ПП будет сохранен в виде отдельного файла с расширением (*.pcb*). Этот же файл соответствует сборочному чертежу ФУ.

7.6 Трассировка печатных проводников на плате

После размещения ЭРЭ приступают к трассировке, то есть к прокладке необходимых соединений (проводников) между контактными площадками в соответствии с электрическими связями на принципиальной схеме ФУ.

Запустить **P-CAD PCB** любым из указанных выше способов.

Загрузить файл размещения ПП. Для этого выполнить команды **File/Open**. В открывшемся стандартном окне **Windows** выбрать файл с именем «**Размещение**» и открыть его. На рабочем поле должна появиться ПП с размещенными элементами и связями между ними.

Далее следует методика выполнения трассировки печатной платы для САПР версии P-CAD 2002. В других версиях САПР P-CAD режим выполнения трассировки проводников печатной платы отличается незначительно от нижеприведенного и, как правило, используются другие программы автотрассировки.

Трассировку ПП для САПР версии P-CAD 2002 осуществляем в автоматическом режиме, используя программу автотрассировки **QuickRoute** из управляющей оболочки PCAD по команде **Route>Autorouters**. Трассировка начинается после нажатия на клавишу **Start** в меню **QuickRoute**. В рабочем окне на экране после прокладки проводников приводится изображение печатной платы и сообщение о завершении трассировки.

Завершающим этапом проектирования ПП является сохранение результатов автотрассировки в рабочем каталоге проекта. Этот файл в дальнейшем используется для оформления конструкторской документации (чертеж печатной платы).

7.7 Проверка печатной платы

После разработки рисунка печатной платы его необходимо проверить на соответствие исходной принципиальной схеме и соблюдения технологических ограничений. Для этого выполнить команды **Utils/DRC**. Откроется диалоговое окно **Utils Design Rule Check**, в котором надо установить флажки в окнах **View Report** (Вывод отчета на экран) и **Annotate Errors** (Пометка на ПП мест ошибок).

Затем следует задать наименования проверок в окнах:

- ❖ **Clearance Violations** - нарушение зазоров;
- ❖ **Netlist Violations** - проверка соответствия соединений проводников ПП исходным связям схемы;
- ❖ **Unrouted Nets** - неразведенные цепи;
- ❖ **Unconnected Pins** - неподсоединенные выводы;
- ❖ **Silk Screen Violations** - нарушение зазоров между КП или ПО и маркировкой. Нажать кнопку ОК.

В результате на экран выводятся сообщения об ошибках, которые следует в дальнейшем исправить.

После исправления ошибок сохранить полученный результат проектирования рисунка ПП. Для этого выполнить команду **File/Save**.

7.8 Разработка и оформление чертежа печатной платы

Оформление конструкторской документации ПП заключается в размещении изображения спроектированных слоев ПП на поле чертежа и заполнении его основной надписи, а также всех регламентированных ГОСТом сопроводительных надписей и пояснений. Чертеж печатной платы должен содержать основные проекции платы с печатными проводниками и отверстиями. Его выполняют в масштабе 2:1 или 4:1. На чертеже платы наносят координатную сетку в соответствии с выбранным масштабом, её линии нумеруются.

Размеры на чертеже печатной платы указывают с помощью размерных и выносных линий.

В таблице на поле чертежа ПП указывают:

- ❖ условное обозначение отверстий;
- ❖ диаметры отверстий, мм;
- ❖ диаметры зенковок с двух сторон, мм;
- ❖ наличие металлизации;
- ❖ размеры контактных площадок;
- ❖ количество отверстий.

В технических требованиях, располагаемых на поле чертежа ПП, следует указать особенности ее изготовления. Ниже приведен пример содержания основных пунктов технических требований.

1. Плату изготовить ... методом.
2. Плата должна соответствовать ... (ГОСТ, ОСТ, ТУ и т. д.).
3. Шаг координатной сетки ... мм.
4. Конфигурацию проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа ... (1,5; 1,0 или 0,5 мм) мм.
5. Допускается скругление углов контактных площадок и проводников (радиус скругления, мм).
6. Места, обведенные штрихпунктирной линией, не занимать.
7. Ширина проводников в свободных местах ... мм, в узких ... мм.
8. Расстояние между двумя проводниками, между контактными площадками, между проводниками и контактными площадками, в свободных местах - ... мм, в узких местах - ... мм.
9. Форма контактных площадок - произвольная, максимальный размер, указать в мм.
10. Предельные отклонения между центрами отверстий ... мм.
11. Суммарная площадь металлизации платы ... ;
12. Указания о гальваническом покрытии проводников печатной платы, например: «Печатный монтаж серебрить Ср9», «Поверхности контактных площадок покрыть сплавом «Розе» чистым ТУ 6-09-6706-70» и т.п.

Для поверхностей печатной платы, которые в процессе изготовления подвергаются механической обработке (контур платы, отверстия, пазы и т.п.), устанавливают норму на **шероховатость**.

Шероховатость ограничивают, нормируя максимально допустимое значение параметра шероховатости R_z (высота неровностей, вычисленная по десяти точкам профиля); обычно R_z не должна превышать 40 мкм.

В соответствующей графе основной надписи чертежа должна быть указана марка материала, из которого сделана печатная плата, а также номер ГОСТ или ТУ на этот материал.

8 Используемая литература

8.1 Разевиг В. Д. Проектирование печатных плат в PCAD-2004. - Москва: Солон-пресс, 2004 г.

8.2 Лопаткин А.В. Проектирование печатных плат в системе PCAD: Учебное пособие для практических занятий. – Нижний Новгород, НГТУ, 2002г.-190с.

8.3 Уваров Д.С. PCAD. Проектирование и конструирование электронных устройств. – М., Горячая линия,- Телеком, 2004, 760с.

8.4 Стешенко В.Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат- С-Пб., БХВ-Петербург, 2003, 720с.