Министерство образования и науки Российской Федерации

Балтийский государственный технический университет «Военмех»

*М.Ф. ЖАРКОЙ, Д.В. КУЗНЕЦОВ*

**РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ГИС**

**В ПРОГРМНОМ КОМПЛЕКСЕ**

**P-CAD**

Учебное пособие

к практическим занятиям

Санкт-Петербург

2019

УДК

Жаркой, М.Ф.

Разработка тонкопленочных ГИС в программном комплексе P-Cad: учеб. пособие к практическим занятиям / М.Ф. Жаркой, Д.В. Кузнецов; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2019.

Пособие содержит основные сведения, необходимые для работы с одним из современных программных комплексов P-CAD, предназначенного для разработки и проектирования печатных плат. В данном пособии рассматриваются возможности программного комплекса P-CAD для проектирования тонкопленочных гибридных интегральных схем. В пособие включена практическая работа и порядок ее проведения.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям:

*Утверждено*

*редакционно-издательским*

*советом университета*

© Авторы,2019

© БГТУ, 2019

**Введение**

В данном пособии подробно описан процесс проектирования и автоматизированного конструирования тонкопленочных гибридных интегральных схем в программном комплексе P-CAD.

Приведена вся необходимая информация по настройкам и основным принципам работы в программном комплексе. В пособии представлена базовая информация по проектированию тонкопленочных гибридных интегральных схем, приведены методики проектирования тонкопленочных компонентов, результаты ручного и машинного (автоматизированного) проектирования в программном комплексе P-Cad.

**Список сокращений**

В данном пособие используются следующие условные обозначения:

ГОСТ – межгосударственный стандарт;

ГОСТ Р – национальный стандарт;

МСБ – микросборка;

ГИС – гибридная интегральная схема;

ТР – тонкопленочный резистор;

ТПК – тонкопленочный конденсатор;

ПП – печатная плата;

УГО – условно-графическое обозначение;

SMD – (от англ. Surface mounted device) прибор, монтируемый на поверхность платы;

ЭКБ – электронная компонентная база;

ЭА – электронная аппаратура;

САПР – система автоматизированного проектирования;

ВУЗ – высшее учебное заведение;

EDA – (от англ. Electronic Design Automation) комплекс программных средств для разработки электронных устройств, создания микросхем и печатных плат.

# **Глава 1. Знакомство с программным пакетом P-CAD**

P-CAD — система автоматизированного проектирования электроники (EDA), предназначенная для проектирования многослойных печатных плат вычислительных и радиоэлектронных устройств. Программный комплекс позволяет формировать принципиальные электрические схемы и топологию печатной платы, а также имеется возможность оформления конструкторской документации. Выходные данные используются для вывода информации на различные устройства: принтеры, плоттеры, фото плоттеры (для изготовления фотошаблонов).

Несмотря на то, что P-cad предназначен для проектирования ПП его можно успешно применить для проектирования МСБ (ГИС) с односторонним размещением элементов.

В состав программного комплекса входит несколько программ, с помощью которых производится проектирование плат:

1. **P-CAD Schematic –** графический редактор формирования схем электрических принципиальных;
2. **P-CAD PCB** **–** программа для разрешения радиокомпонентов на плате и проведения ручной, полуавтоматической или автоматической трассировки проводников;
3. **P-CAD Library Executive** **–** менеджер библиотек;
4. **P-CAD Symbol Editor –** редактор условно графического обозначения элемента;
5. **P-CAD Pattern Editor** **–** графический редактор посадочного места элемента;
6. **P-CAD** **InterPlace/PCS –** программа для размещения компонентов в интерактивном режиме и задания технологических норм разработки;
7. **P-CAD** **Signal Integrity –**программадля анализа целостности электрических сигналов. Модуль генерации фотошаблонов и конструкторской документации.

Структурная схема САПР P-CAD и входящие в ее состав программы показаны на рисунке 1.1.

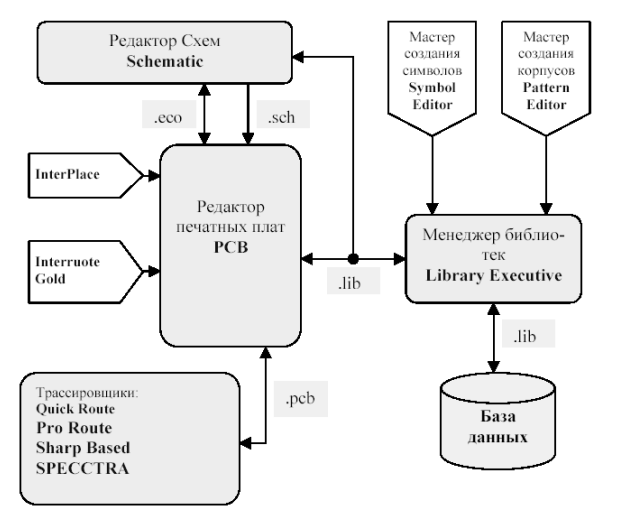


Рис. 1.1. Структурная схема САПР P-CAD

На каждом этапе проектирования печатной платы формируются отдельные файлы, содержащие информацию о конкретном этапе проектирования. Файлы с расширением:

* .SYM – хранят в себе информацию об символьном изображение электронного компонента базы;
* .PAT – содержат информацию об конструкторско-технологическом образе компонента;
* .LIB – файлы библиотеки ЭКБ;
* .SCH – содержит информацию о схеме электрической принципиальной;
* .PCB – данные топологии ПП;
* .ECO – хранят изменения принципиальной электрической схемы в редакторе P-CAD Schematic передающиеся в P-CAD PCB для внесения изменений в печатную плату, а также внесение изменений из PCB в Schematic.

В состав программы редактора печатных плат P-CAD PCB входит несколько трассировщиков:

1. **QuickRoute –** данный трассировщик используется при создании простых печатных плат (с малым числом слоев, количеством элементов и соединений).
2. **PRO Route –** автоматический трассировщик, способный трассировать ПП с числом слоев до 32 шт.
3. **Shape-Based Autorouter –** авто-трассировщик, предназначенный для ПП с высокой плотностью размещения компонентов.
4. **SPECCTRA –** программатрассирует ПП большой сложности (с числом слоев до 256) и высокой плотностью размещения компонентов. В состав программы входит модуль **AutoPlace,** предназначенный для автоматического размещения компонентов на ПП.

Вызов программ трассировки производится автономно из среды **Windows**или из программы **P-CAD РСВ.**

### *1.1 Интегрированная среда проектирования*

Как было указано ранее, P-Cad представляет комплекс программ, каждая из которых отвечает за определённый этап управления процессом проектирования. Все программы, входящие в пакет P-Cad, имеют одинаковый вид интерфейсов. На рисунке 1.1 представлен интерфейс программы P-Cad PCB (цифрами 1-5 обозначены стандартные панели, входящие в состав всех программ комплекса).

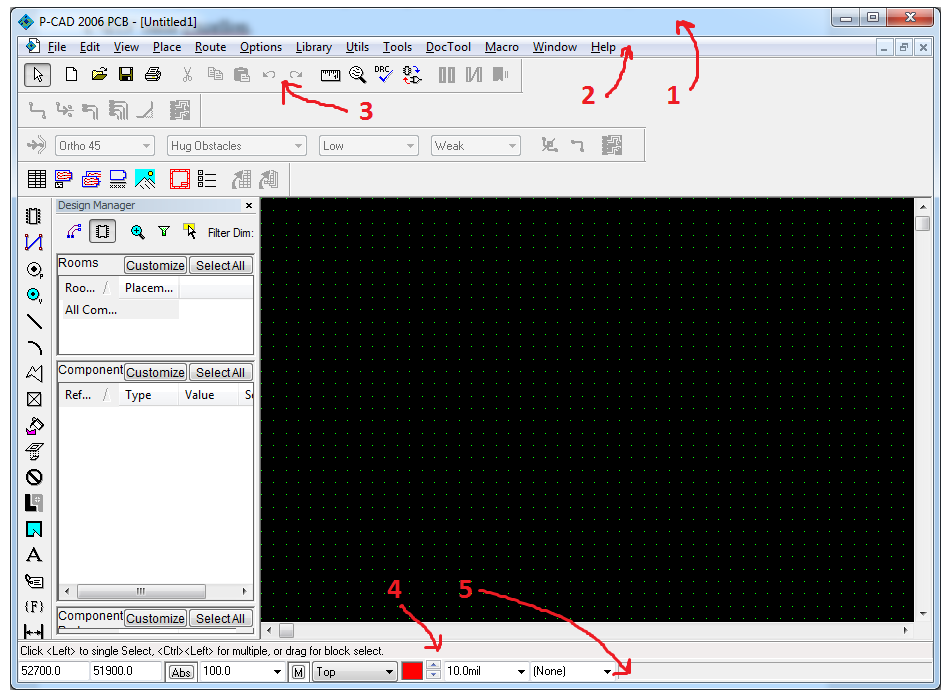


Рис. 1.1. Интерфейс программы P-CAD PCB

* Панель 1 содержит заголовок окна и название текущего проекта;
* Панель 2 содержит меню команд (меню работы с файлами проекта File, меню редактора Edit, меню просмотра View содержит команды обзора рабочего окна, размещения Place, маршрута трассировки Route - данное меню запускает автотрассировщик, меню параметров Options, меню библиотек Library, меню утилит Utils, меню инструментов Tools, меню документирования DocTool, меню макросов Macro, меню управления окнами Window и окно помощи Help);
* Панель 3 содержит набор системных команд в графическом виде (выбор объекта, создать файл, открыть файл, сохранить файл, отправка документа на печать, вырезать объект, копировать объект, вставить объект, отмена последнего действия, повтор последнего действия и прочее);
* Панель 4 содержит строку сообщений пользователю (строка подсказок);
* Панель 5 содержит строку состояний. Она включает в себя координаты X и Y курсора мыши (координаты можно задать вручную), кнопку выбора сетки (абсолютную Abs и относительную Rel. Абсолютная сетка имеет привязку к началу координат в левом нижнем углу рабочего поля, относительная сетка имеет настраиваемые пользователем из меню Options/Grids параметры), окошко ввода/выбора шага сетки, кнопку записи макрокоманд (записывает во временный файл все выполняемые команды), выбор рабочего (активного) слоя, выбор цвета активного слоя, редактор ширины линии.

Все остальные панели, для каждой программы, входящей в пакет P-Cad, различны. На рисунке 1.1 (Интерфейс программы P-CAD PCB) левая вертикальная панель содержит следующие команды (сверху вниз):

* Размещение компонента в рабочей области;
* Размещение соединений;
* Создание не металлизированного переходного отверстия;
* Создание металлизированного переходного отверстия;
* Создание и размещение линии на рабочем поле;
* Создание и размещение дуги на рабочем поле;
* Создание и размещение многоугольника на рабочем поле;
* Создание точки привязки;
* Указать место заливки медью;
* Указание области вырезания;
* Размещение области обреза;
* Размещение плана;
* Размещение текстовой области;
* Команда ввода атрибутов;
* Создание информации о проекте;
* Указание размера области/элемента.

Панель Design Manager программы P-CAD PCB предназначена для формирования иерархической структуры отображения данных проекта. Данная форма представления данных позволяет осуществить управление и отображение данными в удобном виде.

На рисунке 1.2 представлен интерфейс программы P-CAD Schematic левая вертикальная панель содержит следующие команды (сверху вниз):

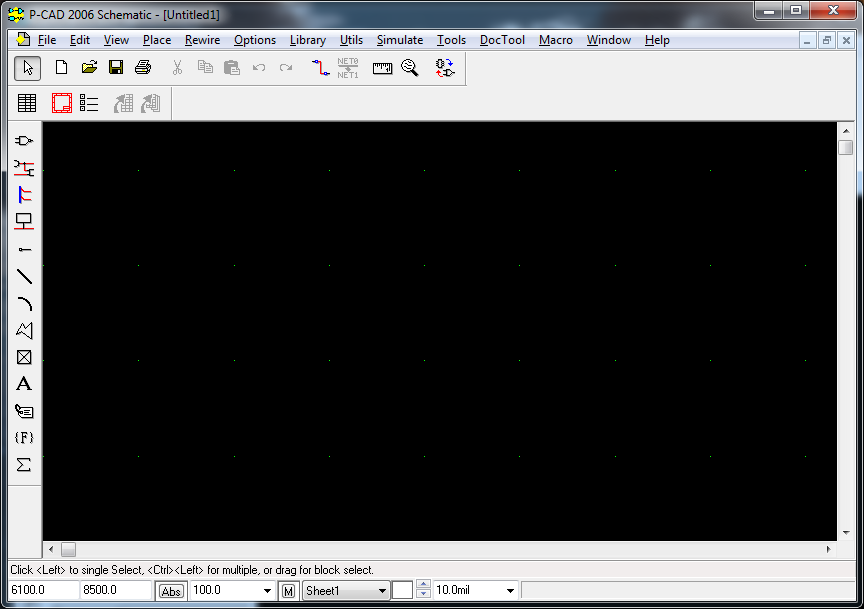


Рис. 1.2. Интерфейс программы P-CAD Schematic.

* Команда ввода символьного обозначения элементов в схеме электрической;
* Команда ввода проводников;
* Команда ввода жгутов/шин;
* Команда указания имен цепей, входящих в состав жгута;
* Команда размещения вывода компонента
* Создание и размещение линии на рабочем поле
* Создание и размещение дуги на рабочем поле
* Создание и размещение многоугольника на рабочем поле;
* Создание точки привязки элемента
* Размещение текстовой области на рабочем поле
* Команда ввода атрибутов
* Команда создания информации о проекте
* Команда для размещения IEEE (ИИЭР) символов в проекте. (Вставка таких символов как: сумматор, генератор, усилитель и др.)

### *1.2 Слои в программном комплексе P-CAD*

Программный комплекс P-CAD представляет из себя послойный редактор плат. В процессе проектирования информация о топологии (печатные проводники, графика, текст) располагается на различных слоях. Выбор слоя осуществляется на панели 5 (рис.1.1) или применением команды Options/Layers, вызываемой из меню команд.

В программе P-CAD представлены следующие типы слоев:

* Сплошные слои (Plane) – данный слой хранит информацию о металлизации для цепей питания в многослойных печатных платах (данные слои отсутствуют в стандартном наборе комплекса и создаётся вручную);
* Сигнальные слои (Signal) – данные слои содержат сведенья о трассировке проводников. К сигнальным слоям относятся слои Top и Bottom;
* Несигнальные слои (Nonsignal) – данные типы слоев содержат текстовую и графическую информацию ПП. Все остальные слои, за исключением Top, Bottom и созданных пользователем сплошных слоев, относятся к несигнальным слоям.

Содержание слоев:

* Top – проводники с верхней стороны платы;
* Bottom – проводники с нижней стороны платы;
* Board – слой фрезеровки границ платы (механический слой);
* Top Silk, Bottom Silk – графика конструктива электронного компонента;
* Top Assy, Bottom Assy – атрибуты;
* Top Paste, Bottom Paste – графика пайки;
* Top Mask, Bottom Mask – графика маски пайки (вскрытие в защитном слое).

Чтобы перенести объект с одного слоя на другой можно воспользоваться командой Edit/Move To Layer, вызываемой из меню команд. Для этого необходимо выделить переносимый объект, затем выбрать слой, на который его нужно перенести, и вызвать команду.

# **Глава 2. Порядок работы с программным комплексом P-CAD**

### *2.1 Настройка программ P-CAD Schematic и P-CAD PCB*

Постановление СНК СССР от 21.07.1925 "О признании Международной метрической конвенции, заключенной в Париже 20 мая 1875 года, имеющей силу для СССР" окончательно установило метрическую систему измерений в Советском Союзе, и действует до сих пор в современной России. Данное постановление обязует проектировать электронику в метрической системе мер.

Перевод программы P-CAD PCB с дюймовой на метрическую системы осуществляется с помощью команды Place/Dimension. В результате вызова этой команды на экране появится окно настроек, изображенное на рисунке 2.1.

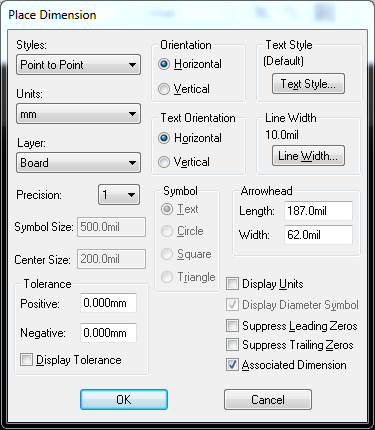


Рис.2.1. Перевод программы P-CAD PCB в метрическую систему.

Графа Styles содержит список размеров. В этот список входят следующие размеры:

* Point to Point – линейный размер между двумя точками;
* Baseline – расстояние между базовой линией и последующими точками;
* Leader – параметры линии-выноски;
* Center – расстояние между центрами окружностей и/или дуг;
* Radius – радиальные размеры дуг и/или окружностей;
* Diameter – диаметральные размеры дуг и/или окружностей;
* Angular – угловой размер
* Datum – расстояние между опорной поверхностью и точкой.

В графе Orientation, с помощью флажков Horizontal или Vertical, можно задать ориентацию размерным линиям.

В графе Text Style кнопка Text Style… определяет параметры текста для нанесения размеров.

В графе Text Orientation, с помощью флажков Horizontal или Vertical, задаются параметры ориентации текста.

Поле Units служит для задания единиц измерения.

Группа параметров Symbol используется для выбора символа при использовании стиля Leader. Данный стиль удобен для задания выносных линий с указанием позиции детали в спецификации и т.п. При использовании этого стиля можно ввести произвольный текст на конце выносной линии, используя окно ввода. При этом позиция детали может быть в круглой или квадратной рамке.

Поле Line Width используется для задания толщины размерной линии. Слой, в котором проставляются размеры, выбирается в меню Layer. По умолчанию используется слой Board. В полях Arrowhead указываются размеры стрелок.

В группе параметров Display задается отображение единиц измерения (Units) и символа диаметра (Diameter). Если установлены утилиты Document Toolbox, то появляются дополнительные поля, позволяющие задать допуск на размеры.

В группе параметров допуска на размер Tolerance задаются отклонения от номинала (Positive и Negative).

Флажок Associated Dimension дает возможность ассоциативного образмеривания, когда при перемещении объектов будут автоматически изменяться связанные с ними размеры.

Перевод программы P-CAD Schematic с дюймовой на метрическую системы осуществляется с помощью команды Options/Configure. В результате вызова этой команды на экране появится окно настроек, изображенное на рисунке 2.2.

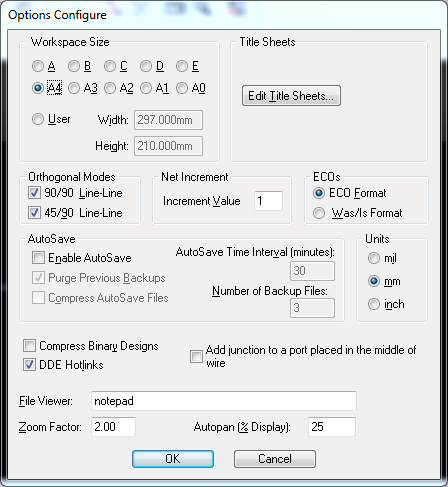


Рис. 2.2. Перевод программы P-CAD Schematic в метрическую систему.

Рамка Workspace Size предназначена для установления рабочей области проекта, на которой будет располагаться принципиальная электрическая схема. Поле имеет 5 стандартных американских форматов (A, B, C, D, E) и 5 стандартных европейских форматов (А4, А3, А2, А1, А0). Также имеется возможность установки пользовательского формата, для этого нужно поставить флажок User и ввести размеры (высоту и ширину) рабочей области. Максимальный размер рабочей области составляет 1500 x 1500 мм.

Рамка Units предназначена для выборов единиц измерения.

Кнопка Edit Title Sheets, в рамке Title Sheets, предназначена для установки стиля оформления чертежей схем.

Значение остальных параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры окна Options Configure программы P-CAD Schematic.

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Описание |
| **В рамке ECO определяется формат записи файла изменений** | |
| ECO Format | Запись файла изменений схемы в формате P-CAD (записываются все изменения) |
| Was/Is Format | Запись файла изменений схемы в формате Tango (записываются изменения только позиционных обозначений) |
| В рамке Net Increment задается шаг приращения цифрового суффикса имени цепи | |
| Increment Value (значение приращения) | Задается величина шага приращения цифрового суффикса имени цепи |
| **В рамке Orthogonal Modes определяется режим рисования линий, проводников.** | |
| 90/90 Line-Line | Рисование только горизонтальных и вертикальных линий |
| 45/90 Line-Line | Рисование линий под углом 45 и 90 градусов |
| **В рамке AutoSave** | |
| Enable AutoSave | Включение и выключение режима авто сохранения |
| AutoSave Time Interval | Интервал авто сохранения в минутах |
| Number of Backup Files | Количество архивных копий |
| Purge Previous Backups | Удаление всех сохраненных копий в начале нового сеанса работы |
| Compress AutoSave Files | Сжатие архивных копий с целью экономии места на диске |
| **Общие параметры** | |
| DDE Hotlinks | Наличие связей между редактором PCB с целью подсветки выделенных компонентов цепей |
| Compress Binary Designs | Сжатие файлов проекта при их сохранении с целью экономии места на диске |
| File Viewer | Выбор текстового редактора для просмотра отчетов |

Шаг решетки (сетки) в обеих программах настаивается с помощью команды Options/Grids. Окно настроек шага решетки изображено на рисунке 2.3.

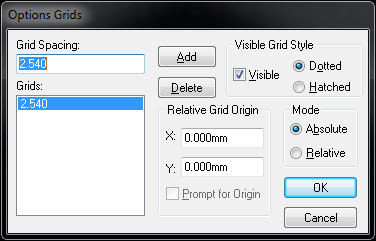


Рис. 2.3. Окно настройки шага сетки.

В графу Grid Spacing вводится нужный шаг сетки и добавляется в ячейку Grids путем нажатия кнопки Add. Кнопкой Delete можно удалить сетки с не нужными шагами. Поставив или сняв флажок с ячейки Visible, сетка делается видимой или не видимой пользователю. Флажки Dotted и Hatched меняют параметры отображения решётки на рабочем поле. Если выбран параметр Dotted, то решетка будет отображаться только точками пересечения горизонтальных и вертикальных линий сетки, если выбран Hatched, то решетка будет отображаться полностью. Пункты Absolute и Relative устанавливают тип решётки (подробнее об этом было написано в подразделе 1.1). Графа Relative Grid Origin устанавливает координаты для Relative (относительного) типа сетки (см. подробнее подраздел 1.1).

Толщину лини связи проще всего задать командой Options/Current Line.

### *2.2 Работа с библиотекой данных P-CAD*

В P-CAD имеются интегрированные библиотеки, содержащие графическую информацию о символьных обозначениях компонентов, типовых размерах корпусов компонентов, текстовую и упаковочную информацию. Упаковкой называется объединение УГО элемента и его контактной площадки (посадочного места).

В P-Cad имеется несколько десятков интегрированных библиотек компонентов. К сожалению, они не отвечают требованиям российских ГОСТов, но все они могут быть отредактированы под данные требования. Есть и другие пути создания ЭКБ, например, в интернете можно запросто найти наиболее распространенные компоненты (например, SMD резисторы, имеющие стандартные размеры корпусов и контактных площадок), созданные в метрической системе измерений и отвечающие требованиям российских ГОСТов. Так же можно создать библиотечный компонент вручную.

Работы по созданию библиотечного элемента начинаются с создания в программе P-CAD Symbol Editor УГО элемента. Затем, в программе P-CAD Pattern Editor, создается посадочное место элемента. Далее происходит объединение УГО и посадочного места элемента в программе P-CAD Library Executive.

Информация о размерах контактных площадок, нумерации выводов, подключении выводов и т.д. берутся в технической документации на интересующий радиоэлемент.

# **Глава 3. Разработка тонкопленочной ГИС в P-cad**

## 3.1 Методы формирования конфигураций элементов тонкопленочных МСБ.

Для формирования конфигураций проводящего, резистивного и диэлектрического слоев МСБ используют различные методы: масочный — соответствующие материалы напыляют на подложку через съемные маски; фотолитографический — пленку наносят на всю поверхность подложки, а затем вытравливают с определенных участков; электроннолучевой — некоторые участки пленки удаляют по заданной программе с подложки испарением под воздействием электронного луча; лазерный — аналогичен электроннолучевому, только вместо электронного применяют луч лазера. Наибольшее распространение получили два первых способа, а также их комбинации.

**Масочный метод:**

При масочном методе рекомендуется такая последовательность формирования слоев для изготовления ГИС, содержащих резисторы, проводники, пересечения пленочных проводников, конденсаторы. Напыление: 1) резисторов; 2) проводников и контактных площадок; 3) межслойной изоляции; 4) проводников; 5) нижних обкладок конденсаторов; 6) диэлектрика; 7) верхних обкладок конденсаторов; 8) защитного слоя. При отсутствии конденсаторов исключаются операции 5—7, а при отсутствии пересечений — операции 3, 4.

**Фотолитографический метод:**

При фотолитографическом методе для изготовления ГИС, содержащих резисторы и проводники, используют два варианта технологии:

1) напыление материала резистивной пленки; напыление материала проводящей пленки; фотолитография проводящего слоя; фотолитография резистивного слоя; нанесение защитного слоя;

2) после проведения первых двух операций — фотолитография проводящего и резистивного слоев; фотолитография проводящего слоя; нанесение защитного слоя.

При производстве микросхем, содержащих проводники и резисторы из двух разных резистивных материалов, рекомендуется такая последовательность операций: напыление пленки первого резистивного материала; напыление пленки второго резистивного материала; напыление материала проводящей пленки; фотолитография проводящего слоя; фотолитография второго резистивного слоя; фотолитография первого резистивного слоя; нанесение защитного слоя.

**Комбинированный масочный и фотолитографический метод:**

При совмещении масочного и фотолитографического методов для микросхем, содержащих резисторы, проводники и конденсаторы, используют два варианта технологии:

1) напыление резисторов через маску; напыление проводящей пленки на резистивную; фотолитография проводящего слоя; поочередное напыление через маску нижних обкладок, диэлектрика и верхних обкладок конденсаторов; нанесение защитного слоя (рис. 3.1, а—ж).

2) напыление резистивное пленки; напыление проводящей пленки на резистивную; фотолитография проводящего и резистивного слоев; фотолитография проводящего слоя, напыление через маску нижних обкладок, диэлектрика и верхних обкладок конденсаторов; нанесение защитного слоя.

Для схем, не содержащих конденсаторы, применяют один из трех вариантов:

1) напыление через маску резисторов; напыление проводящей пленки; фотолитография проводящего слоя; нанесение защитною слоя;

2) напыление резистивной пленки; фотолитография резистивного слоя; напыление через маску проводников и контактных площадок; нанесение защитного слоя;

З) напыление резистивной пленки; напыление через маску контактных площадок и проводников; фотолитография резистивного слоя; нанесение защитного слоя.

**Рекомендации по применению методов изготовления ГИС.**

Масочный метод применяют в мелкосерийном и серийном производстве. Точность изготовления R- и С-элементов ±10%. Фотолитографический метод используют в массовом производстве. Достижимая точность изготовления пассивных элементов ±1%. Комбинированный масочный и фотолитографический метод применяют в серийном и массовом производстве, при этом максимальная разрешающая способность при изготовлении пленочных элементов 50 мкм, точность изготовления R- и С-элементов ±1 и 10% соответственно [3].

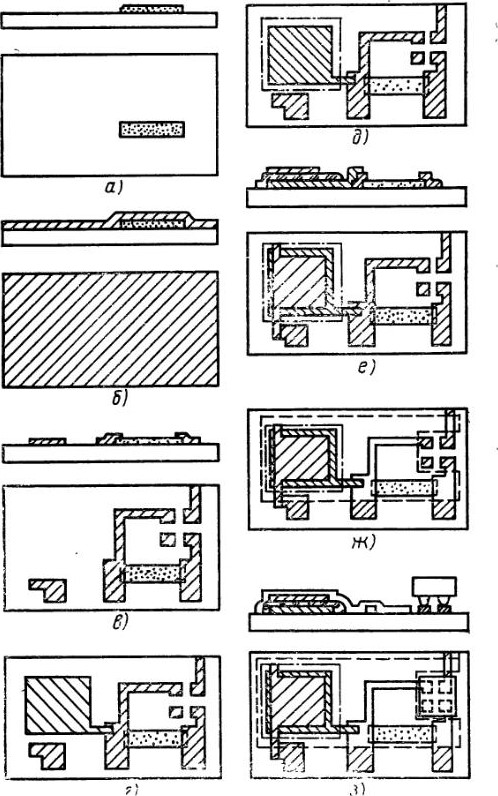


Рис. 3.1. Технологический процесс производства тонкопленочной ГИС комбинированным масочным и фотолитографическим методами:

а— напыление резисторов через маску; б — напыление проводящей пленки; в— фотолитография проводящего слоя. Напыление через маску: г— нижних обкладок конденсаторов; д — диэлектрика; е — верхних обкладок конденсаторов; ж — нанесение защитного слоя; з— монтаж навесных компонентов с жесткими выводами

Рассмотренная в данной выпускной квалификационной работе тонкопленочная МСБ имеет пересечения проводников и изготавливается комбинированным методом. Последовательность следующая: напыление через маску резисторов; напыление проводящей пленки; фотолитография проводящего слоя; напыление через маску межслойной изоляции (диэлектрика); напыление через маску оставшихся проводников.

## 3.2 Проектирование тонкопленочного резистора, как элемента базы данных P-Cad

Процесс проектирования любой печатной платы начинается с формирования элементной базы. Отличие МСБ (ГИС) от ПП заключается в том, что в состав МСБ (ГИС) входят не только поверхностно монтируемые элементы (SMD), но и элементы, изготавливаемые напылением. Так же МСБ (ГИС) являются односторонними платами, т.е. все элементы и проводники, в отличие от многослойных ПП, располагаются на одной стороне подложки. Библиотеки с поверхностно монтируемыми компонентами (SMD компоненты) можно найти в интернете, главное обратить внимание на то, чтоб элементы были созданы в метрической системе и соответствовали ГОСТ Р МЭК 61188-5-1—2012.

С тонкопленочными элементами сложнее. У них нет стандартных рядов размеров (как у SMD компонентов), они выполняются из разных материалов, что делает габаритные размеры каждого элемента “индивидуальными”. При проектировании МСБ тонкопленочные элементы придется оформлять как отдельные элементы базы данных P-CAD. Данный процесс является самым длительным в ходе работ по проектированию МСБ.

Перед непосредственным созданием пленочного резистора нужно рассчитать его основные параметры (длину l и ширину b). Выполнить расчет можно двумя способами:

1. Ручным;

2. Машинным (в программе LanBar).

Перед выполнением расчетов необходимо определиться с выбором материала, из которого будет состоять резистор. Результаты ручного расчета, выполненного по [4], представлены в приложении 1. В приложении 2 представлены результаты машинного расчета.

Рассмотрим один из рассчитанных в приложении 1 резисторов. Пусть это будет элемент с позиционным обозначением Rc и следующими основными характеристиками формы: l= 1.35 мм, b= 0.75 мм, прямоугольная форма. Данные показатели характеризуют активную часть резистора.

Помимо данных показателей необходимо знать ширину проводника h (мм), который будет накладываться на тонкопленочный элемент с двух сторон (места контакта) и, тем самым, уменьшать его активную часть на 2h (мм). Из-за наличия дорожек, накладываемых на резистор с целью осуществления его соединения с другими элементами, истинный размер ТР должен быть больше на величину 2h (мм). lист. = l + 2h = 1.35 + 2\*0.25= 1.85 мм при ширине проводника h = 0.25 мм.

### *3.2.1 Формирование условно-графического обозначения резистора в P-CAD Symbol Editor.*

Зная все параметры ТР можно приступать к созданию элемента в P-Cad. Этот процесс начинается с формирования условно-графического обозначения резистора в программе *P-CAD Symbol Editor*. УГО должно соответствовать ГОСТ 2.728-74. Диалоговое окно *P-CAD Symbol Editor* с созданным УГО резистора показано на рисунке 3.2.

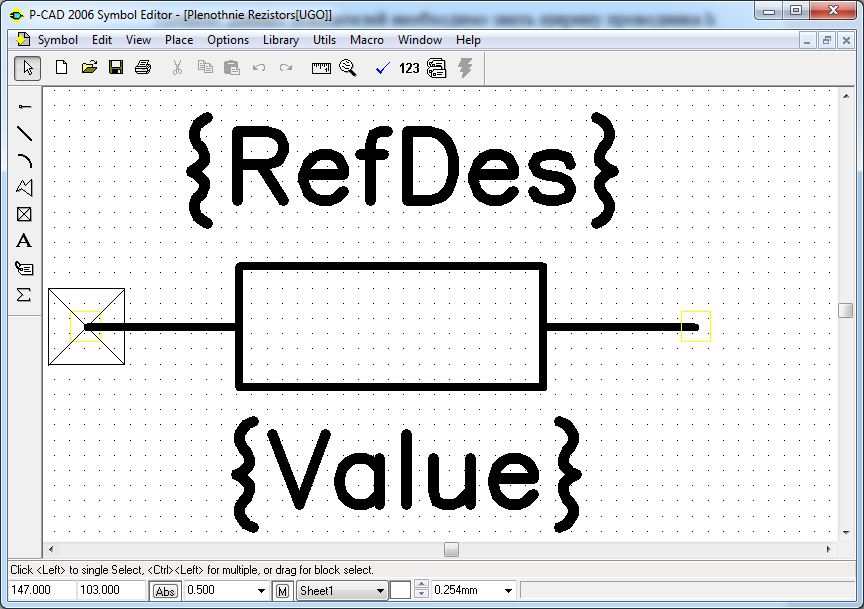


Рис. 3.2. УГО резистора в P-CAD Symbol Editor.

Перед началом работы с программой необходимо провести ее настройку. В меню Options/Configure нужно установить метрическую систему измерений (поставить флажок у ячейки mm).

В меню View установить галочку у параметра Snap to Grid, для того, чтобы курсор мыши автоматически выравнивался по узлам координатной сетки.

Далее добавим 2 новых шага координатной сетки, 0.5 и 0.25 мм. Для этого воспользуемся меню Options/Grids. Окно настроек показано на рисунке 3.3. В окно Grid Spacing нужно ввести интересующий нас шаг и добавить кнопкой Add. Кнопкой Delete можно удалить лишние шаги сеток. Добавленные шаги отобразятся в левом нижнем углу программы P-CAD Symbol Editor где их можно удобно менять в процессе работы.

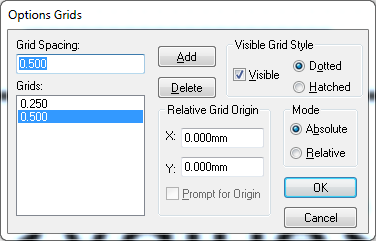


Рис. 3.3. Диалоговое окно настроек шага координатной сетки.

В диалоговом окне Options Display, изображенным на рисунке 3.4 и вызванным командой Options/Display, уберем все лишние цвета.

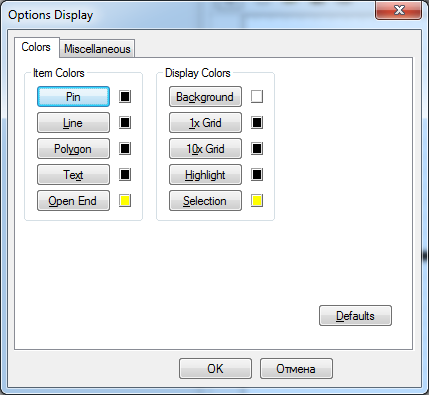


Рис. 3.4. Настрой дисплея программы P-CAD Symbol Editor.

После установки настроек можно приступать к формированию УГО резистора. Выбрав инструмент Lines  на боковой панели программы, нарисуем прямоугольник с размерами, соответствующими ГОСТ 2.728-74. Этим же инструментом рисуются выводы элемента. Для изменения масштаба используется команда View/Zoom In (Zoom Out) или зажатие клавиши Ctrl + Mouse Scroll (вращение колеса мыши).

Далее программе необходимо указать места выводов, для этого воспользуемся инструментом Place Pin  на боковой панели программы. Откроется диалоговое окно, изображенное на рисунке 3.5. На панели Length поставим флажок на пользовательские настройки и укажем длину вывода 5 мм. Во вкладке Display уберем отображение на экране имени вывода (Pin Name) и его обозначения (Pin Des). При создании выводов важно обратить внимание на графу Pin Number. Если создано более одного вывода, то необходимо убедиться, чтобы их номера шли по порядку и отличались друг от друга. Например, если у элемента (резистора) 2 вывода, то у одного из них должен быть номер 1 (Pin Number), а у другого номер 2. Поменять номер можно выделив созданный вывод инструментом Select  и открыв его свойства командой Right Klick/Properties (Правая кнопка мыши/Свойства).

Повернуть элемент зеркально можно нажатием кнопки F на клавиатуре, поворот на 900 осуществляется кнопкой R. Для проведения данных операций элемент должен быть выбран инструментом Select .

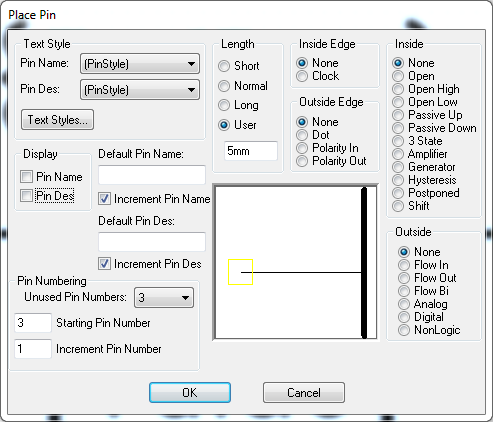


Рис. 3.5. Создание выводов.

Воспользуемся инструментом Place Ref Point  для создания точки привязки элемента. За эту точку будет осуществляться перестановка элемента в последующих этапах создания ГИС.

Создадим надписи, в которых будет выставлена информация о позиционном обозначении и номинале элемента. Для этого воспользуемся командой Place Attribute . Откроется диалоговое окно, представленное на рисунке 3.6. Во вкладке Component выберем RefDes (позиционное обозначение) и нажмем кнопку ОК. После расположения надписи на рабочем поле повторно вызовем команду и выберем Value (номинал) вместо RefDes.

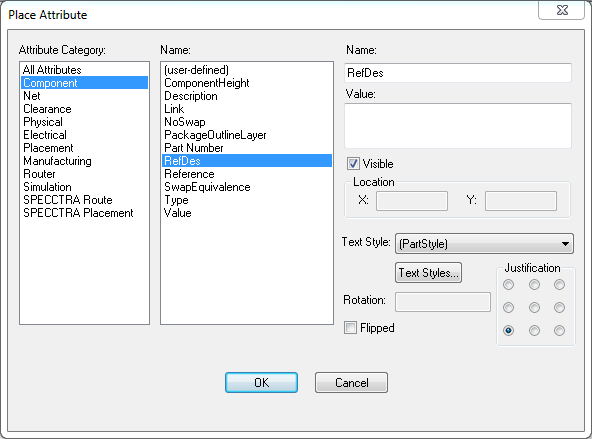


Рис. 3.6. Диалоговое окно выводы надписей.

Щелкнув по кнопке  можно проверить наличие ошибок в созданном УГО.

Если ошибки отсутствуют можно приступать к сохранению УГО элемента. Для этого вызовем команду Library/New и создадим новую библиотеку. Откроется диалоговое окно, изображенное на рисунке 3.7. После выбора пути сохранения библиотеки необходимо указать ее имя, например “PLEN RES”.

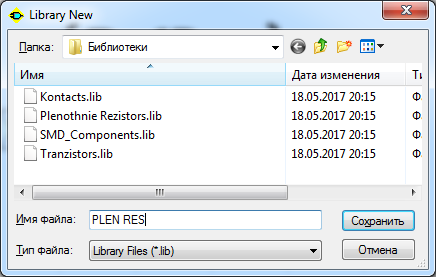


Рис. 3.7. Диалоговое окно создания новой библиотеки.

Далее, щелкнув по , сохраним УГО элемента в созданную библиотеку “PLEN RES”. Диалоговое окно сохранения элемента в библиотеку представлено на рисунке 3.8.

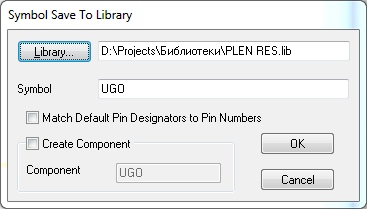


Рис. 3.8. Диалоговое окно сохранения элемента в библиотеку.

### *3.2.2 Проектирование посадочного места (Pattern-а) ТР*

После создания УГО элемента можно переходить к созданию Pattern-а (посадочного места) элемента. Создание посадочного места осуществляется в программе P-CAD Pattern Editor.

Настройка данной программы аналогична настройкам P-CAD Symbol Editor. Главное не забыть установить метрическую систему измерений.

Добавим 2 новых слоя “12” и “13” в одном из которых будет располагаться тонкопленочный резистор истинной величины (т.е. с учетом наложения дорожек шириной 0.25 мм на каждую сторону прямоугольника) а на другом только активная часть данного резистора.

Добавление новых слоев в проект осуществляется командой Options/Layers. После вызова команды откроется диалоговое меню, изображенное на рисунке 3.9. В колонках Layers Name и Layers Number устанавливаются имя и соответствующий номер слоя. Также есть возможность поменять цвет слоя вменю Option/Display. После установки параметров следует нажать кнопку Add для добавления нового слоя в проект.

Выбор активного слоя осуществляется с контекстного меню в левом нижнем углу программы P-CAD Pattern Editor.

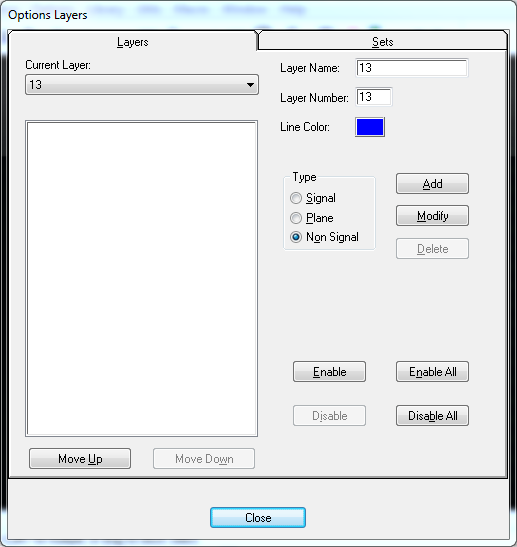


Рис. 3.9. Диалоговое окно добавления новых слоев в проект.

В слое “13” создадим пленочный резистор истиной величины (т.е. с учетом наложения дорожек шириной 0.25 мм на каждую сторону прямоугольника). Параметры прямоугольника в слое “13” будут следующими: lист. = 1.85 мм, b= 0.75 мм. Для создания “залитого” прямоугольника используется команда Place Polygon . Результат и диалоговое окно программы P-CAD Pattern Editor продемонстрированы на рисунке 3.10.

Далее в слое “12” необходимо создать активную часть резистора и совместить полученные прямоугольники. Активная часть имеет размеры: l = 1.35 мм, b= 0.75 мм и создается также по средствам команды Place Polygon . Результаты создания активной части и ее совмещения с “истинным” размером ТР представлены на рисунке 3.11.

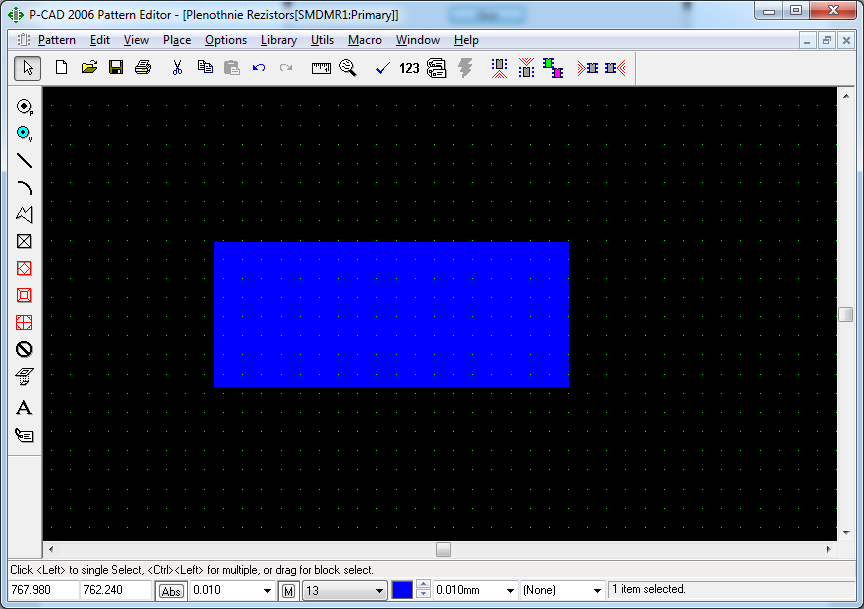


Рис. 3.10. Создание истинного размера ТР в P-CAD Pattern Editor.

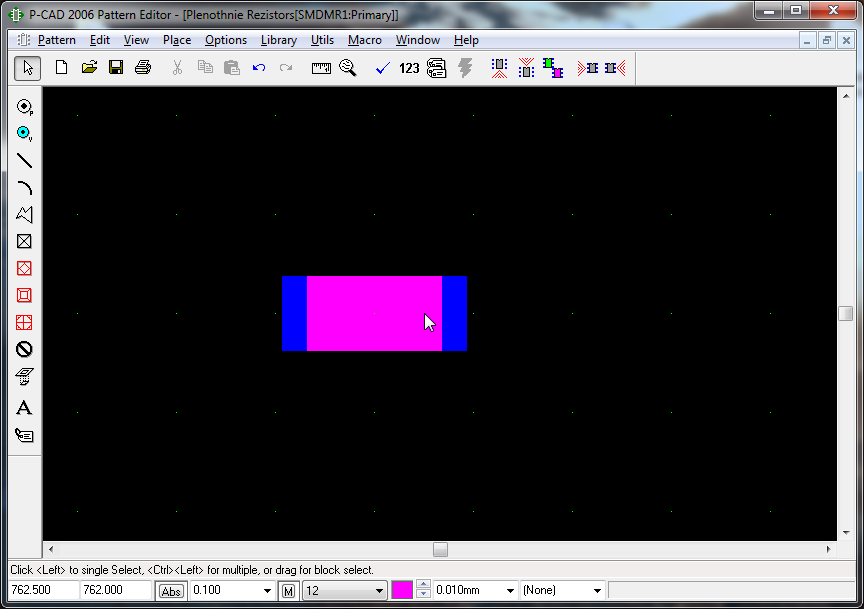


Рис. 3.11. Создание активной части ТР и ее совмещение с истинным размером.

Далее нужно перейти в слой Top и, воспользовавшись командой Place Pad, установить выводы на оставшуюся часть “истинного” размера резистора. После вызова данной команды в рабочей области образуется вывод круглой формы, его необходимо выделить инструментом Select  и, щелкнув правой кнопкой по выводу, открыть его свойства, вызвав команду Properties. Диалоговое окно данной команды показано на рисунке 3.12.

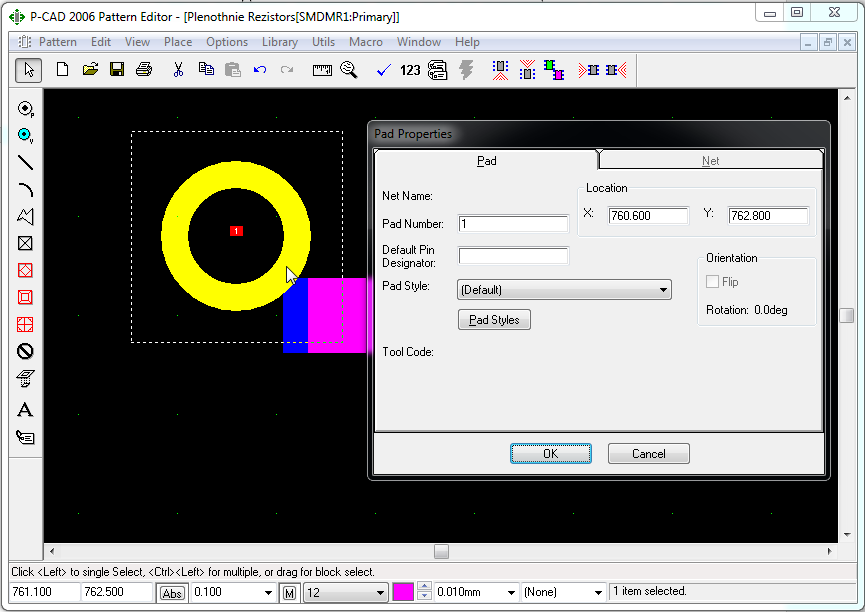


Рис. 3.12. Свойства контактной площадки.

Далее нужно нажать на кнопку Pad Styles. Выскочит окно, изображенное на рисунке 3.13. В данном окне нужно нажать на кнопку Copy для добавления нового типа контактной площадки и задать ей соответствующее имя. В данном примере имя отражает габаритные размеры и форму площадки.

После создания новой контактной площадки необходимо изменить ее свойства, для этого нужно выделить ее имя и нажать на кнопку Modify(Simple). Выскочит диалоговое меню, изображенное на рисунке 3.14. В строчке Shape выбирается форма площадки, в примере выбрана прямоугольная форма. В колонке Type нужно указать слой Top. В строках Width и Height задается высота и ширина площадки. После установки параметров площадки, в меню, изображенном на рисунке 3.12, в графе Pad Style нужно выбрать ранее созданный и отредактированный тип площадки. После нажатия кнопки ОК площадка изменит свою геометрическую форму. Результат продемонстрирован на рисунке 3.15.

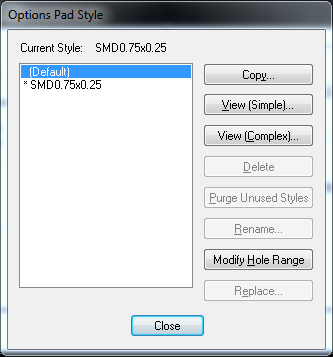


Рис. 3.13. Свойства контактной площадки.

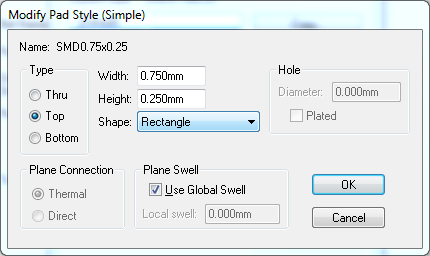


Рис. 3.14. Задание параметров площадки.

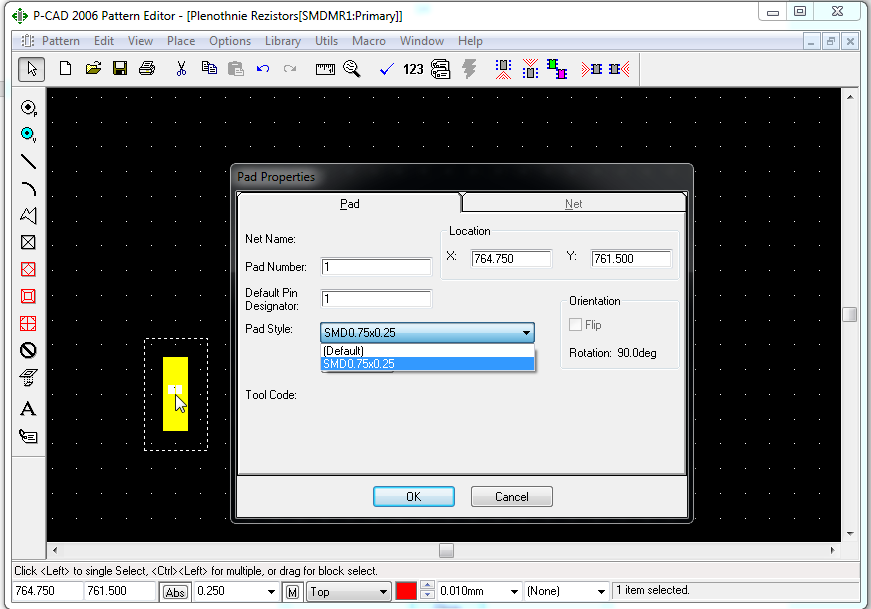


Рис. 3.15. Результат выполнения операций.

После создания контактных площадок нужной формы следует поместить их на открытые участки “истинного” размера тонкопленочного резистора, добавить точку привязки и позиционное обозначение элемента. В результате получим тонкопленочный резистор, изображение которого показано на рисунке 3.16.

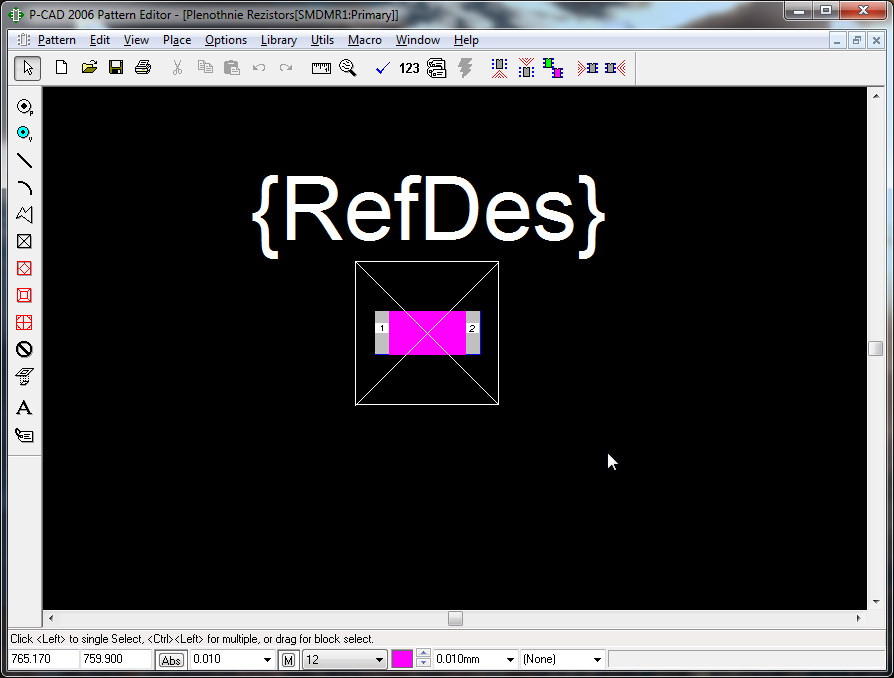


Рис. 3.16. Pattern тонкопленочного резистора.

Осталось сохранить полученный элемент. Для этого нужно щелкнуть по  и в открывшемся диалоговом окне (рисунок 3.17) указать ранее созданную библиотеку, куда был сохранен УГО резистора, и имя патарна.

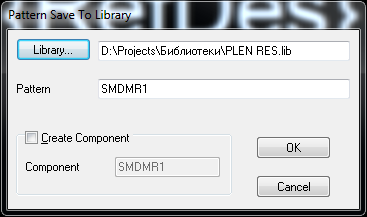


Рис. 3.17. Сохранение Pattern-а тонкопленочного резистора.

### *3.2.3 Формирование компонента ТР*

Для объединения УГО и Pattern-а используется программа P-CAD Library Executive. Рабочее окно программы представлено на рисунке 3.18.

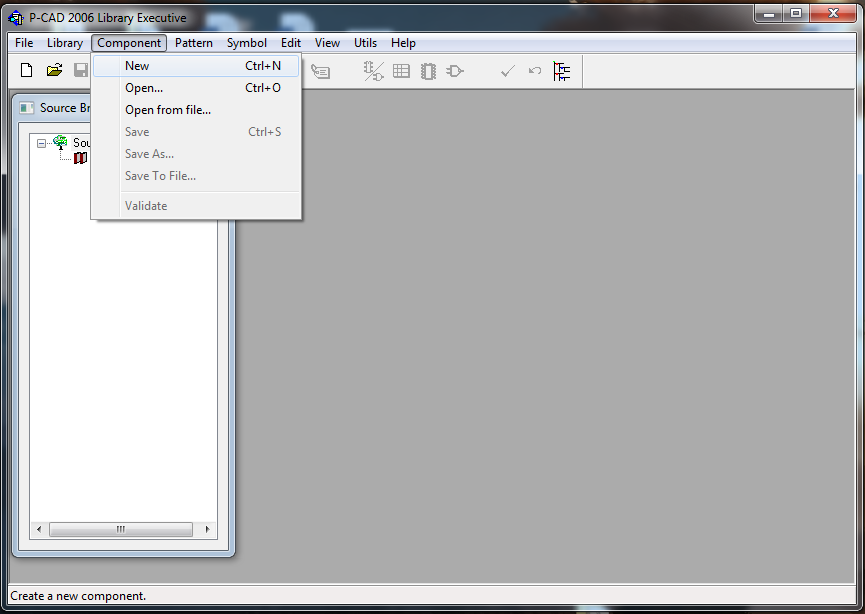


Рис. 3.18. Рабочее окно программы P-CAD Library Executive.

Вызовем команду Component/New. Программа попросит указать библиотеку с УГО и посадочным местом элемента. Выбираем ранее созданную библиотеку “PLEN RES”. Далее откроется окно, изображенное на рисунке 3.19.

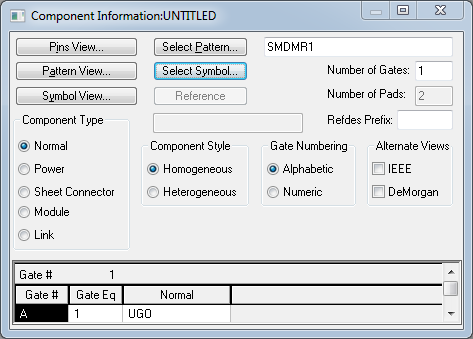


Рис. 3.19. Диалоговое окно объединения УГО и Pattern-а элемента.

Нажав на кнопки Select Pattern и Select Symbol указываются нужный символ (УГО) и патарн.

Нажав на кнопку Pins View откроется окно списка соединений, изображенное на рисунке 3.20.

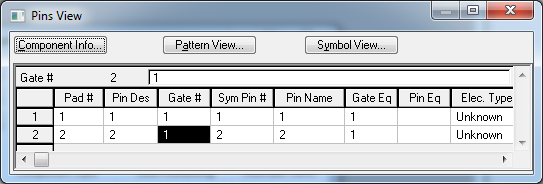


Рис. 3.20. Диалоговое окно списка соединений.

В данном окне, в столбцах Gate# и Gate Eq, необходимо проставить “1”. Нажав на кнопку  можно проверить проект на наличие ошибок, если таковые отсутствуют можно приступать к сохранению компонента. Для этого нужно щелкнуть на кнопку с изображением  и задать имя компонента.

## 3.3 Проектирование тонкопленочного конденсатора, как элемента базы данных P-Cad

Исходными данными для расчета тонкопленочного конденсатора (далее ТПК) являются следующие параметры:

1. Номинальная величина емкости ТПК, пФ;
2. Диэлектрическая проницаемость ε;
3. Рабочее напряжение на ТПК U раб, В;
4. Допустимая относительная погрешность емкости γС доп, %;
5. Удельная емкость С0, пФ/см2;
6. Абсолютные производственные погрешности изготовления размеров верхней обкладки ∆l и ∆b, мм;
7. Погрешность установки и совмещения масок ∆ly, мм;
8. Максимальная температура окружающей среды t, °C;
9. Предполагаемая длительность работы микросхемы Т, час.

Конструкция пленочного конденсатора определяется площадью S (площадь перекрытия верхней и нижней обкладок, см2). В зависимости от этой площади выбирается соответствующая конструкция конденсатора. На рисунке 3.21 продемонстрированы возможные варианты конструкций ТПК, в зависимости от величины параметра S см2.

При S ≥ 5 мм2 используется конструкция (рис. 3.21 а), у которой площадь верхней обкладки меньше, чем нижней.

При 1 ≤ S ≤ 5 мм2 используется конструкция, представляющая собой пересечение пленочных проводников (рис. 3.21 б).

При 0,1 ≤ S ≤ 1 мм2 используются конструкции, представляющие собой последовательное соединение конденсаторов (рис. 3.21 в).

При S<0,1 мм2 используется гребенчатая конструкция (рис. 3.21 г).

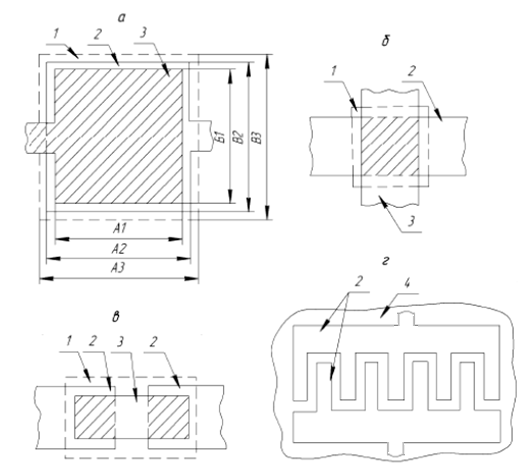


Рис. 3.21. Варианты конструкций ТПК.

1 – диэлектрик; 2 – нижняя обкладка; 3 – верхняя обкладка; 4 – подложка.

Желательно, чтобы все конденсаторы, расположенные на одной подложке, были изготовлены на основе одной диэлектрической пленки. Нижняя обкладка ТПК должна выступать за край верхней не менее чем на 200 мкм, а диэлектрик - не менее чем на 200 мкм за край нижней обкладки. Выводы обкладок ТПК в местах коммутации (соединения) с другими элементами должны выступать за слой диэлектрика не менее чем на 500 мкм.

Суммарная площадь, занимаемая ТПК на плате, не должна превышать 2 см2, минимальная площадь ТПК равна 0,5 х 0,5 мм2.

### *3.3.1 Формирование условно-графического обозначения тонкопленочного конденсатора в P-CAD Symbol Editor.*

Зная все параметры ТПК можно приступать к созданию элемента в P-Cad. Этот процесс начинается с формирования условно-графического обозначения конденсатора в программе *P-CAD Symbol Editor*. УГО должно соответствовать ГОСТ 2.728-74. Диалоговое окно *P-CAD Symbol Editor* с созданным УГО конденсатора показано на рисунке 3.22.

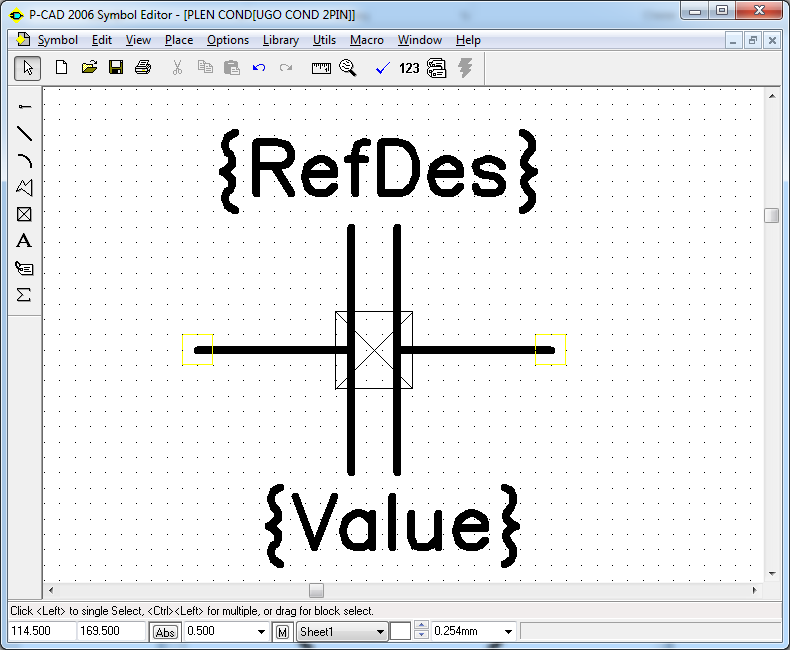
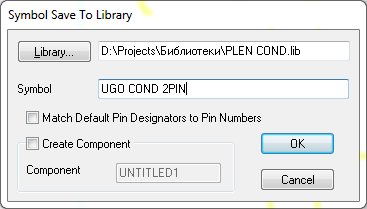


Рис. 3.22. УГО конденсатора в P-CAD Symbol Editor.

Методика и последовательность действий при формировании УГО тонкопленочного конденсатора описана в подразделе: “3.2.1 Формирование условно-графического обозначения резистора в P-CAD Symbol Editor”, и ничем не отличается от него. При сохранении УГО была создана новая библиотека PLEN COND.lib (для конденсаторов). Именно в нее был сохранен УГО конденсатора.



### *3.3.2 Проектирование посадочных мест (Pattern-а) ТПК различных вариантов конструкции*

Методика формирования посадочных мест ТПК схожа с методикой формирования посадочных мест ТР (подраздел 3.2.2 “Проектирование посадочного места (Pattern-а) ТР”).

В данном подразделе будут приведены основные моменты по формированию ТПК в P-cad. Более подробная информация находится в подразделе 3.2.2.

Рассмотрим вариант создания Pattern-а (посадочного места) конденсатора, с вариантом конструкции а (рис. 3.21 а).

Добавим в проект 3 новых слоя:

* “Down” – в котором будет реализована нижняя обкладка конденсатора;
* “Dielectrik” – в котором будет реализован слой диэлектрика;
* “Height” – в котором будет реализована верхняя обкладка конденсатора.

После добавления слоев в проект нарисуем в слое “Down” нижнюю обкладку размером 1 х 1 мм и ее вывод, слой диэлектрика размером 1,2 х 1,2 мм в слое “Dielectrik”, верхнюю обкладку размером 0,8 х 0,8 мм и ее вывод в слое “Height”. На рисунках 3.23 и 3.23 а продемонстрированы результаты.

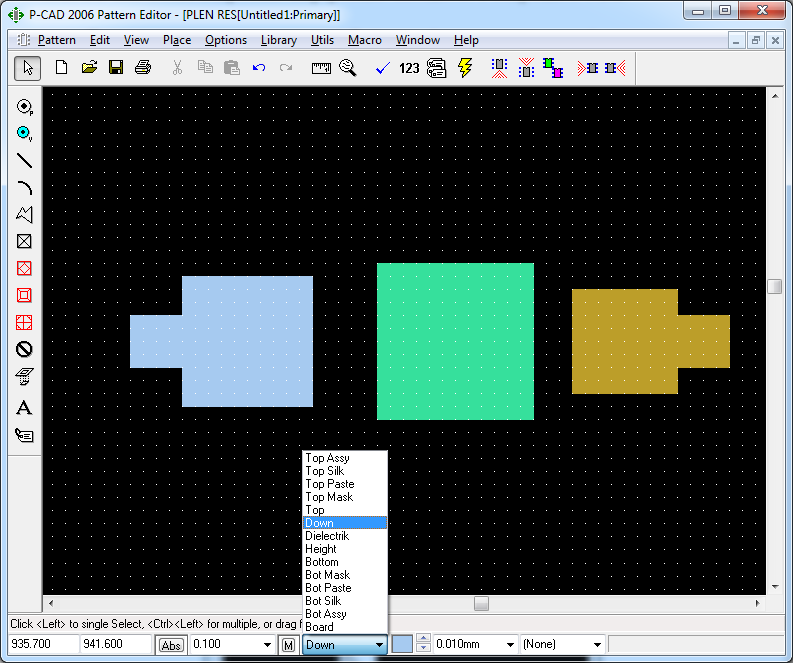


Рис. 3.23. Составляющие ТПК в разных слоях.

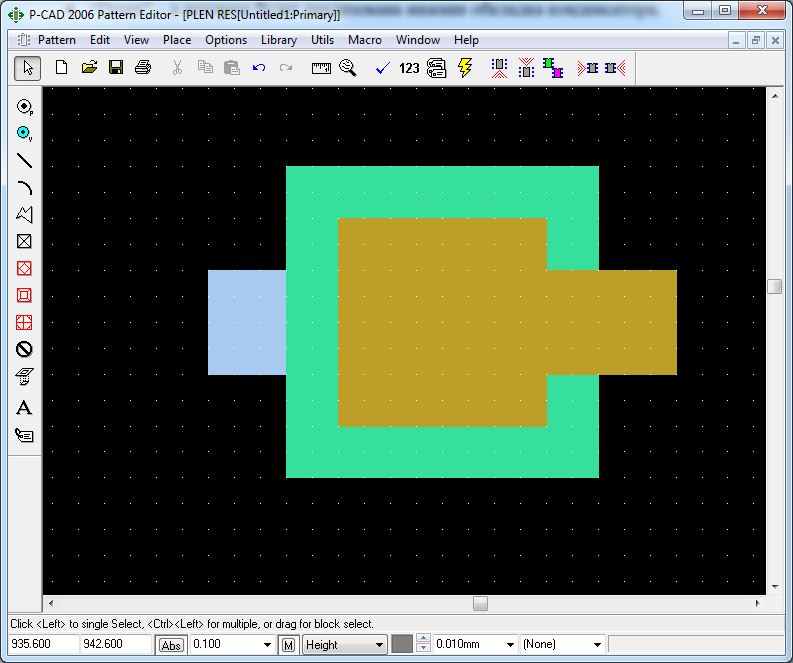


Рис. 3.23 а. Получение единого компонента наложением слоев.

Далее нужно перейти в слой Top и, воспользовавшись командой Place Pad, установить выводы на ТПК. Так – же необходимо установить точку привязки компонента (кнопка Place Ref Point  на панели инструментов) и в слое Top Silk установить позиционное обозначение элемента (кнопка Place Attribute). В результате получим Pattern ТПК конструкции а – рисунок 3.24.

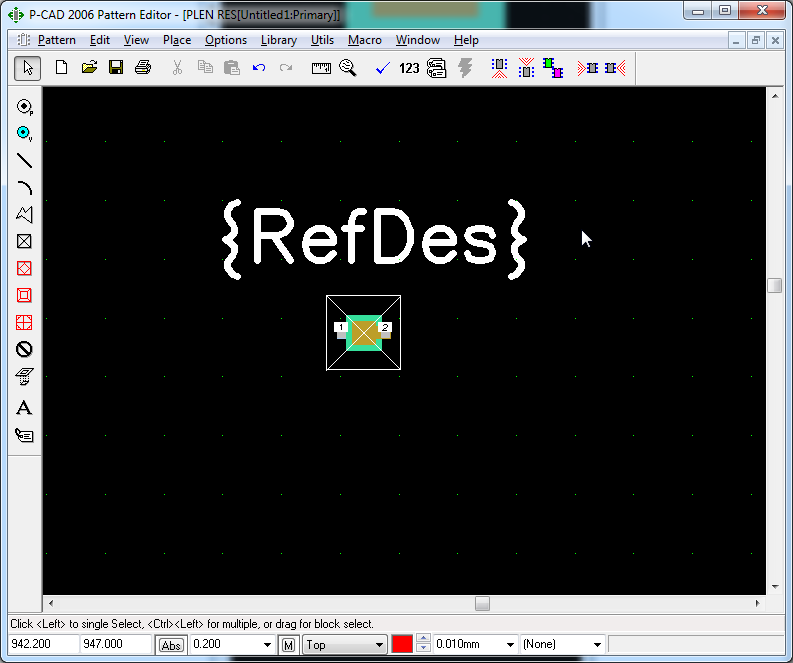


Рис. 3.24. Pattern тонкопленочного конденсатора конструкции а.

Осталось сохранить полученный элемент. Для этого нужно щелкнуть по  и в открывшемся диалоговом окне (рисунок 3.25) указать ранее созданную библиотеку, куда был сохранен УГО конденсатора и имя патарна.

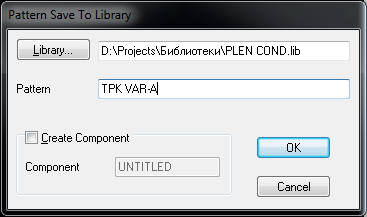


Рис. 3.25. Сохранение Pattern-а тонкопленочного конденсатора.

Далее рассмотрим вариант создания Pattern-а (посадочного места) конденсатора, с вариантом конструкции б (рис. 3.21 б). Как было сказано ранее, при 1 ≤ S ≤ 5 мм2 используется конструкция, представляющая собой пересечение пленочных проводников. Данное пересечение используется не только для формирования емкостного элемента (конденсатора), а также для формирования перемычки. Технически конденсатор от перемычки отличается материалом диэлектрика. Создание перемычки в P-Cad подробно описано в главе “3.6.3 Создание перемычек в P-CAD PCB”.

При 0,1 ≤ S ≤ 1 мм2 используются конструкции, представляющие собой последовательное соединение конденсаторов (рис. 3.21 в).

Нарисуем в слое “Down” нижние обкладки размером 0.75 х 1,5 мм, слой диэлектрика размером 1,15 х 2,0 мм в слое “Dielectrik”, верхнюю обкладку размером 0,55 х 2,0 мм в слое “Height”. Два вывода в Слое “Top” размером 0,75 х 0,75 мм. Расстояние между нижними обкладками (слой “Down”) 1 мм. На рисунке 3.26 продемонстрирован результат.

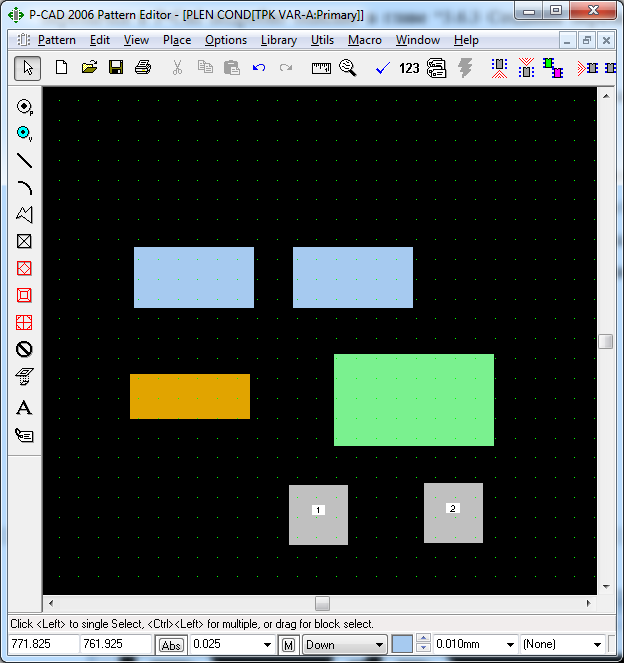


Рис. 3.26. Составляющие ТПК (вариант в) в разных слоях.

Далее необходимо совместить слои и выводы, установить точку привязки компонента (кнопка Place Ref Point  на панели инструментов) и в слое Top Silk установить позиционное обозначение элемента (кнопка Place Attribute) и сохранить Pattern в библиотеку тонкопленочных конденсаторов. Конечный результат представлен на рисунке 3.27.

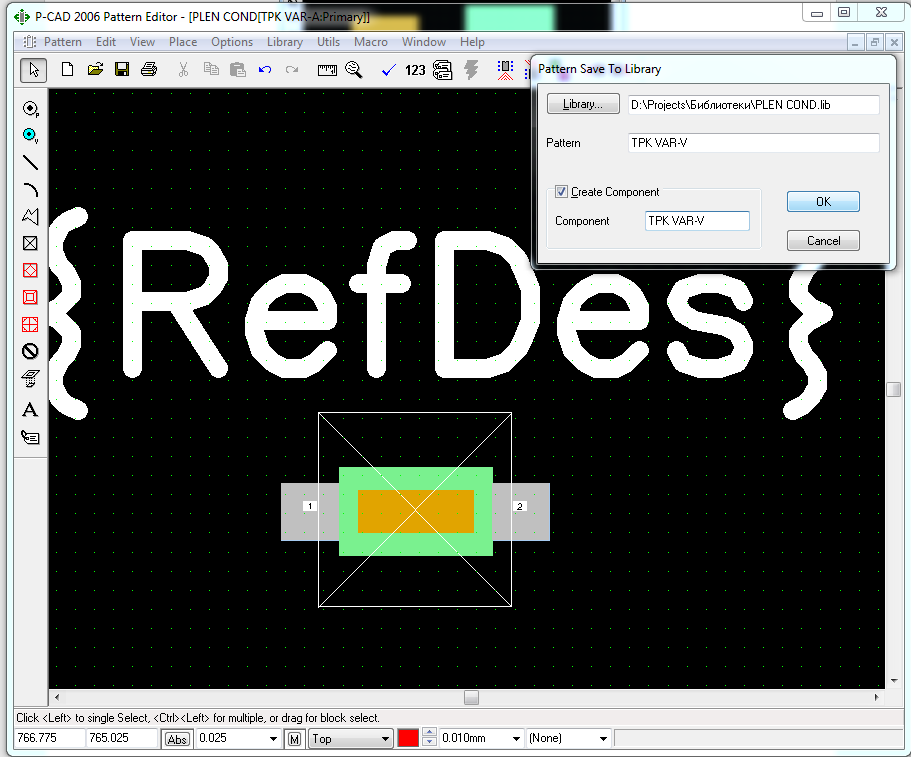


Рис. 3.27. Pattern тонкопленочного конденсатора конструкции в.

При S<0,1 мм2 используется гребенчатая конструкция конденсатора (рис. 3.21 г).

При формировании конденсатора данной конструкции понадобится один слой (слой нижней обкладки “Down”). Диэлектриком, в данном варианте исполнения, служит воздух, находящийся между двумя обкладками конденсатора.

На рисунке 3.28 показаны 2 гребенчатые обкладки к которым присоединены выводы, размером 0,75 х 0,75 мм.

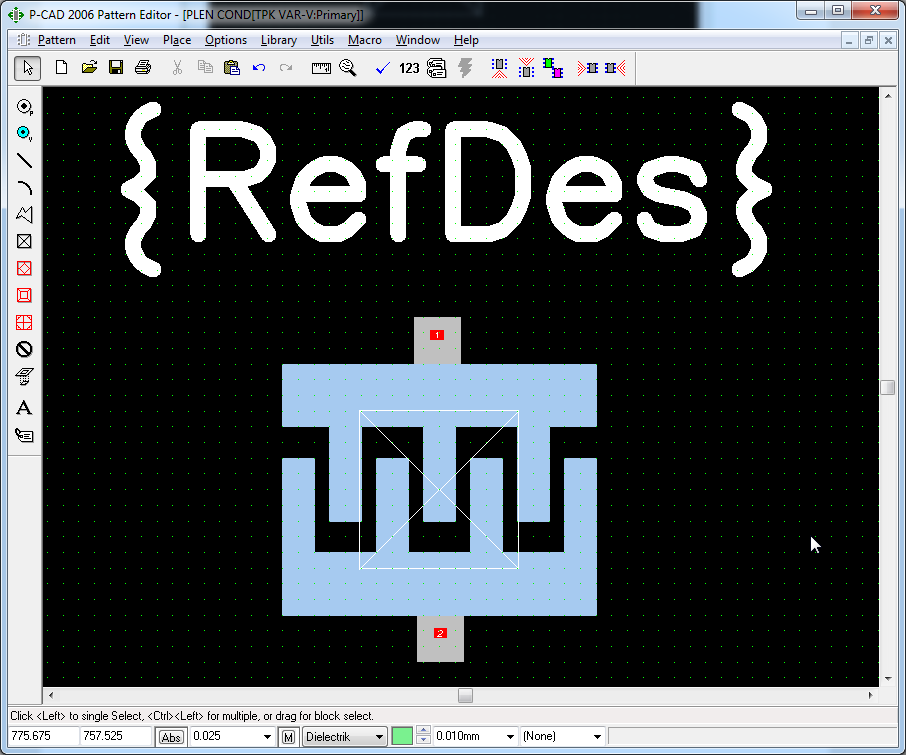


Рис. 3.28. Pattern тонкопленочного конденсатора конструкции г.

### *3.3.3 Формирование компонента ТПК*

После формирования УГО и Pattern-а ТПК необходимо объединить их в единый элемент базы данных P-Cad. Объединение производится в программе P-CAD Library Executive. Как объединить УГО и Pattern-а ТПК описано в подразделе 3.2.3.

## 3.4 Проектирование схемы электрической принципиальной в P-Cad

После заполнения ЭКБ всеми необходимыми компонентами можно переходить на следующий этап проектирования МСБ (ГИС) – формированию схемы электрической принципиальной и генерации списка соединений (формирование net-листа). Список соединений (net-лист) используется на этапах размещения элементов и разводки проводников МСБ.

Правила оформления схем содержатся в ГОСТ 2.701-2008 “Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению”. Согласно требованию данного ГОСТа, расстояние между соседними параллельными линиями взаимосвязи должно быть не менее 3.0 мм, а расстояние между отдельными УГО должно быть не менее 2.0 мм. В следствии этого, составлять схемы электрические принципиальные в P-cad нужно при шаге координатной сетке не менее 3 мм. Рекомендуемая толщина линии связи составляет 0.3-0.4 мм.

Начнем работу в программной среде P-CAD Schematic с ее перевода на метрическую систему измерений, установления толщины линии в 0.4 мм и добавления шага 3.0 мм координатной решётки. Руководство по подготовки P-CAD Schematic к работе представлено в подразделе 1.3.1 данной работы.

Для удобства работы можно привязать курсор к вершинам координатной сетки, для этого нужно выполнить команду View/Snap to Gride.

После установки всех параметров нужно добавить на рабочее поле программы УГО необходимых элементы. Это осуществляется кнопкой Place/Part . Далее элементы расставляются на рабочем поле с помощью инструмента Select  и соединяются проводниками Place Wire . Вращение элементов на 900 осуществляется клавишей “R” на клавиатуре. Зеркальное отображение элемента осуществляется нажатием клавиши “F”.

На рисунке 2.21 изображена схема электрическая принципиальная, выполненная в P-CAD Schematic.

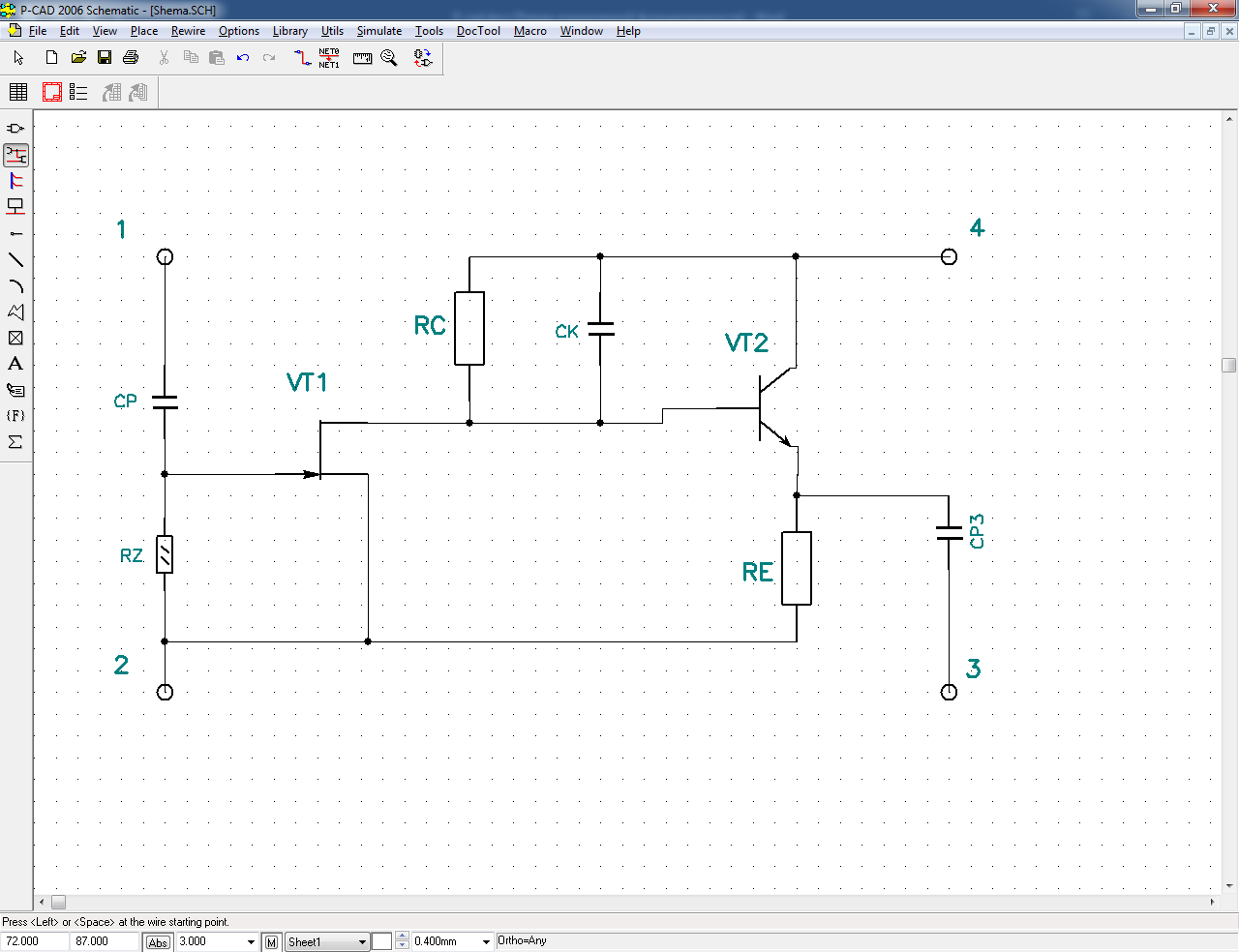


Рис. 2.21. Схема электрическая принципиальная в среде P-CAD Schematic.

После соединения всех элементов схемы ее можно сохранить, нажав кнопку File Save . Так же нам понадобится сгенерировать файл списка соединений (Net List) для дальнейшей работы с программой P-CAD PCB. Для генерации необходимо выполнить команду Generate/Netlist и сохранить полученный файл на жёстки диск.

## 3.5 Проектирование МСБ в программах P-CAD PCB и SPECCTRA

Перед началом работы в P-CAD PCB программу необходимо настроить. Основные настройки программы приведены в подразделе 2.1 данной работы.

После настройки нужно открыть сгенерированный ранее файл соединений (Netlist файл). Для этого используется команда Utils/Load Netlist. После выполнения команды на рабочем окне программы появятся Pattern-ы всех, используемых в схеме электрической принципиальной, элементов. Связи между посадочными местами элементов будут отображаться тонкими синими линиями и соответствовать электрической схеме.

Авто размещение компонентов будет проводится в программе SPECCTRA. Для ее нормальной работы необходимо нарисовать контур платы (область внутри которой будут располагаться электронные компоненты). Контур платы должен быть создан в слое Broad, подробнее о слоях в P-Cad можно узнать в подразделе 1.2 данной работы. Следует иметь в виду, что при размещении компонентов необходимо соблюсти определенный отступ от краев платы. Минимальные расстояния от края навесного компонента до края платы составляет 0.4 мм [3]. В рассматриваемом примере отступ от каря платы составляет 0.5 мм. Рекомендуемы размеры плат представлены в таблице 2 [4].

Таблица 2.

Рекомендуемые размеры подложек МСБ.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ширина, мм | | Длина, мм | | Ширина, мм | | Длина, мм | |
| Номи-нальное значение | Откло-нение | Номи-нальное значение | Откло-нение | Номи-нальное значение | Откло-нение | Номи-нальное значение | Откло-нение |
|
|
| 24 | -0,2 | 30 | -0,3 | 10 | -0,1 | 12 | -0,1 |
| 20 | -0,2 | 24 | -0,2 | 8 | -0,1 | 15 | -0,1 |
| 16 | -0,1 | 20 | -0,2 | 7,5 | -0,1 | 16 | -0,1 |
| 15 | -0,1 | 16 | -0,1 | 8 | -0,1 | 10 | -0,1 |
| 12 | -0,1 | 16 | -0,1 | 5 | -0,1 | 6 | -0,1 |
| 10 | -0,1 | 16 | -0,1 | 2,5 | -0,1 | 4 | -0,1 |

Существует два варианта создания контура платы:

1. В P-CAD PCB рисуется истинный рекомендуемы размер платы, а затем в программе SPECCTRA указываются необходимые отступы от краев.
2. В P-CAD PCB рисуется плата уменьшенного размера (т.е. с учетом отступов от краев), а значение отступа от краев в SPECCTRA устанавливается равным 0.

Лучше воспользоваться вторым вариантом, так как в SPECCTRA будет виден контур, в пределах которого возможно размещение компонентов, что удобно при ручной корректировки результатов авто размещения компонентов.

После загрузки файла Netlist и отрисовки контура платы в слое Broad, окно программы P-CAD PCB будет выглядеть следующим образом (рисунок 2.22).

Для того, чтобы убрать позиционные обозначения с элементов их необходимо выделить и, щелкнув правой кнопкой мыши, вызвать команду Properties. В открывшемся диалоговом окне Components Properties нужно убрать флажки из столбца Visibility.

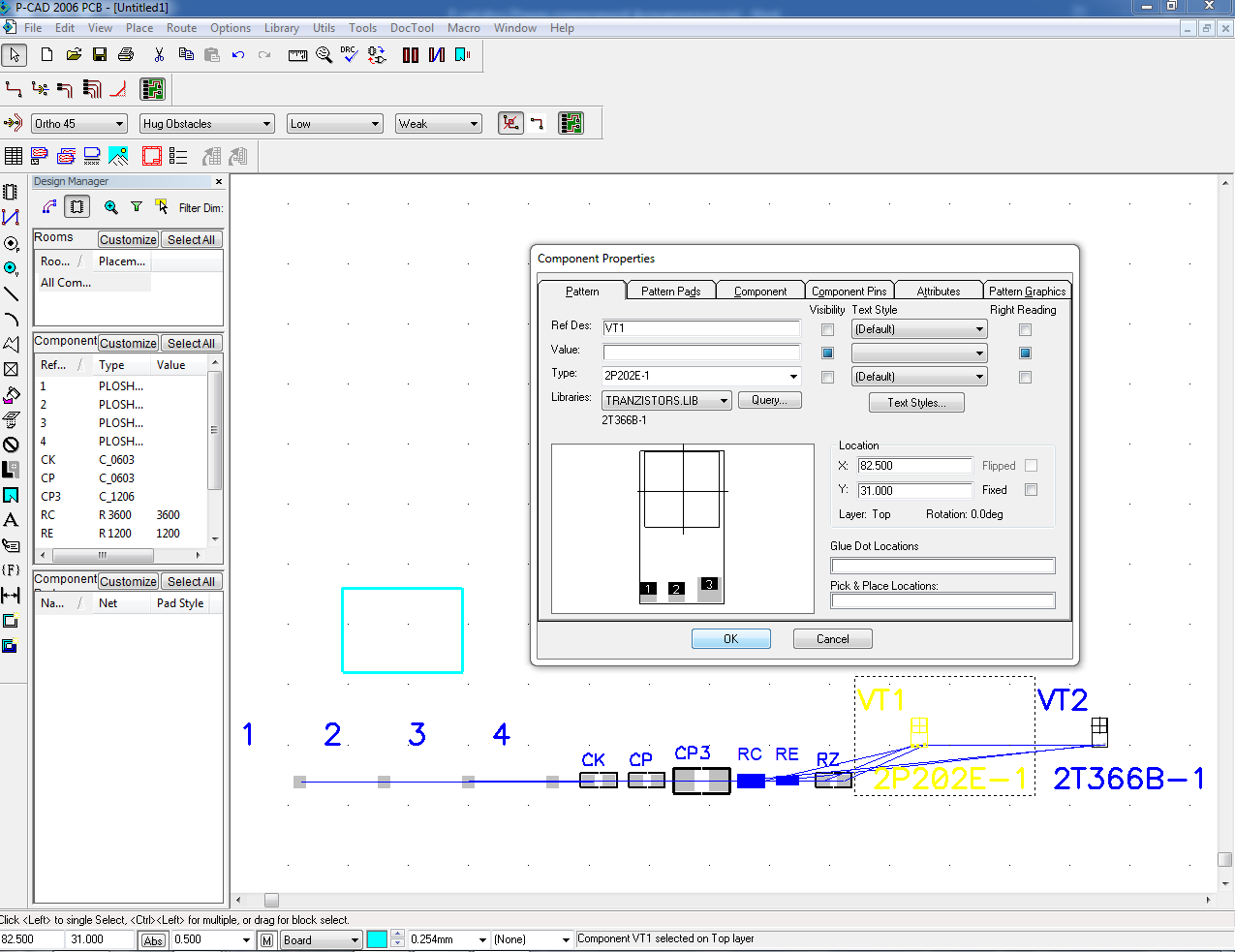


Рис. 2.22. Диалоговое окно программы P-CAD PCB.

### *3.5.1 Авто размещение элементов в SPECCTRA*

При авто размещении компонентов на плате лучше искать такие варианты размещения, при которых проводники не пересекаются. Пересечение проводников нежелательно, но допустимо. Если пересечения не удается избежать путем рационального размещения элементов, то можно создать перемычку. Создание перемычек усложнит технологический процесс изготовления ГИС. В данной работе рассмотрен такой вариант топологии, в котором имеется два пересечения проводников. Данный вариант был выбран специально, с целью описания процесса создания перемычек в P-cad. Процесс создания перемычек подробно описан в подразделе 3.5.3 данной работы.

SPECCTRA запускается из программы P-CAD PCB. Запуск осуществляется командой Place/Autoplacement. Вызвав эту команду откроется диалоговое окно, изображенное не рисунке 2.23.

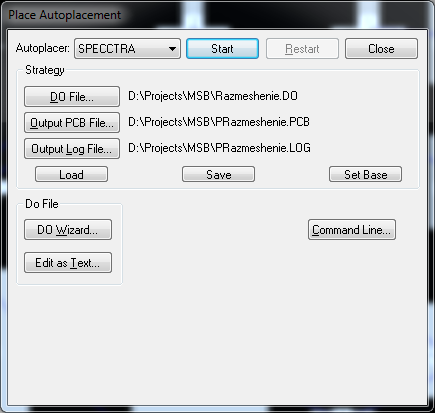


Рис. 2.23. Диалоговое окно запуска SPECCTRA.

В окне Strategy нужно указать пути сохранения файлов куда они будут записаны после выполнения работы программой. Окно DO File можно оставить пустым, путь создастся автоматически после запуска трассировщика. После указания путей сохранения файлов нужно нажать на кнопку Save и можно приступать к работе.

Запуск программы осуществляется нажатием кнопки Start. Откроется окно авто трассировщика, изображенное на рисунке 2.24.

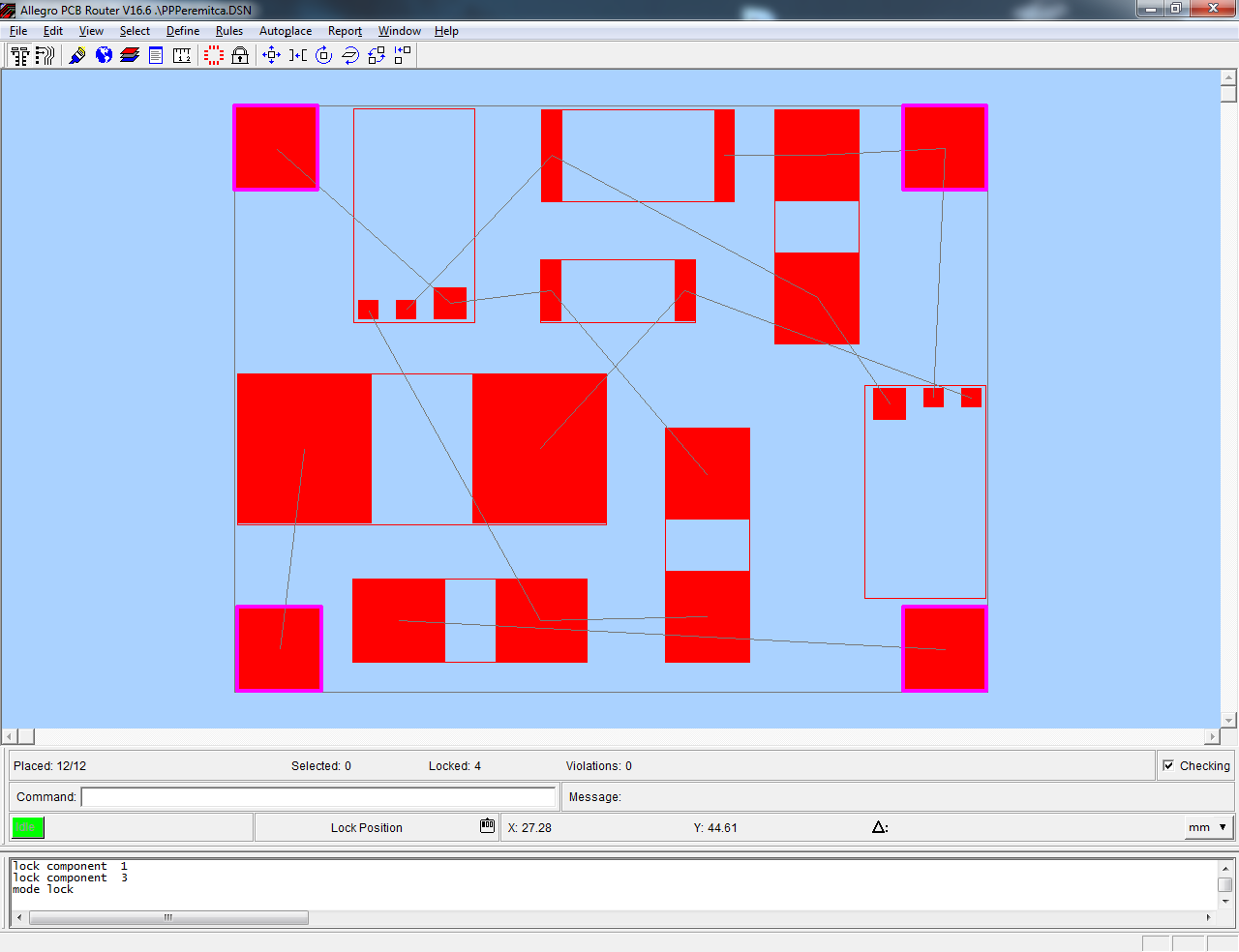


Рис. 2.24. Диалоговое окно программы SPECCTRA.

Переход программы в режим расположения компонентов осуществляется кнопкой Place Mode . В правом нижнем углу необходимо задать метрическую систему измерений. Далее необходимо задать стратегию (правила) размещения компонентов. Для этого перейдем в меню Rules/PCB выберем Spacing, откроется диалоговое окно настроек, изображенное на рисунке 2.25.

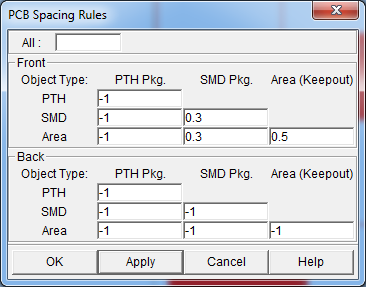


Рис. 2.25. Диалоговое окно настроек для размещения компонентов.

В окне имеется две области Front и Back, предназначенные для настроек передней и задней сторон ПП. Так как тонкопленочные ГИС односторонние, нас будет интересовать только лицевая сторона платы.

В колонке Area (Keepout) указывается расстояние от границ ПП до начала области расположения элементов. В примере рассмотрен второй случай отрисовки границ платы, то есть расстояние от границ платы должно быть нулевым.

В колонке SMD Pkg выставляются зазоры между компонентами и проводниками.

Перед началом автоматического размещения можно зафиксировать те элементы, положение которых строго зафиксировано на плате. Для этого следует нажать , выбрать и переместить в нужное место компонент, далее выбрать  и щелкнуть на элементе. Контур зафиксированного элемента будет выделен розовой рамкой, а в процессе авто размещения такой элемент участвовать не будет. В примере (рисунок 2.24) четыре контактные площадки (расположены по углам платы) перед авто размещением были зафиксированы.

Перед началом размещения все (кроме зафиксированных) элементы должны быть помещены за пределы контура платы. Для этого используется команда Autoplace/Unplace -> All Components, результат выполнения которой продемонстрирован на рисунке 2.26.

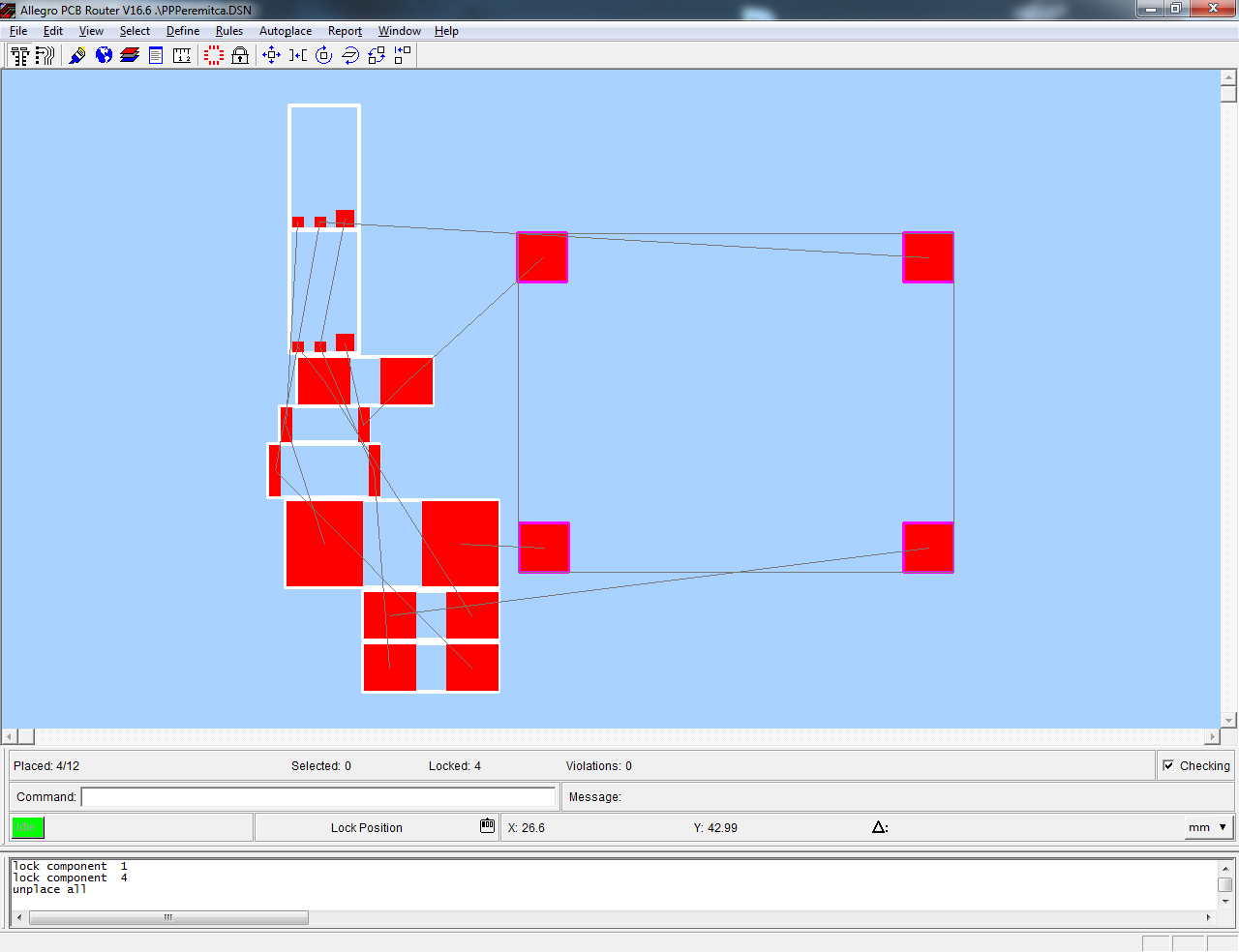


Рис. 2.26. Вывод всех элементов (кроме закрепленных) за границу ПП.

Для автоматического размещения компонентов на плате используется команда Autoplace/InPlac Small Components -> All, после вызова которой откроется диалоговое окно (рисунок 2.27). По умолчанию компоненты, имеющие не более 3-ех выводов относятся к маленьким (Small) компонентам.

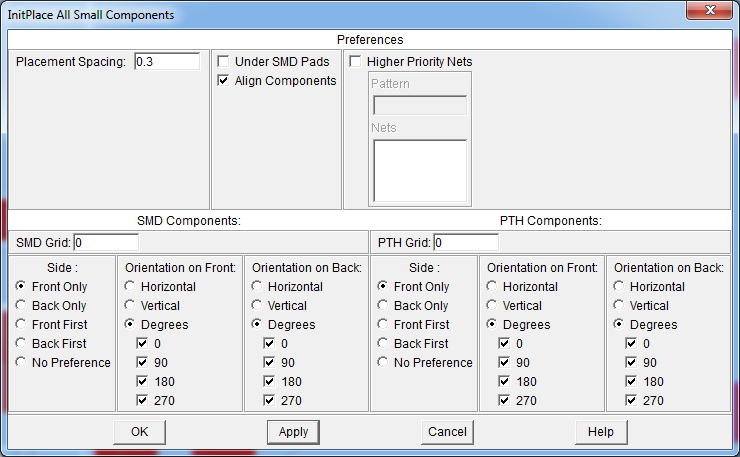


Рис. 2.27. Окно настройки правил размещения компонентов.

В строчке Placement Spacing устанавливается зазор между элементами, а в колонке Side устанавливается сторона расположения компонентов на плате. Так как плата односторонняя должна быть выбрана лицевая сторона (Front Only).

После нажатия кнопки Ok произойдет расположение элементов на плате. Если расположение элементов не устраивает конструктора, то их положение можно отрегулировать в ручную, используя кнопки с панели. Или же вновь расположить элементы за платой командой Unplace, и снова разместить, используя команду InPlace. Данные операции могут повторяться для нахождения приемлемого результата.

Результат автоматического размещения компонентов с четырьмя закрепленными контактными площадками в углах платы представлен на рисунке 2.24. Анализируя рисунок можно сказать следующее: имеется 2 места пересечения проводников. В местах пересечения будет необходимо нанести слой диэлектрика, поверх которого будут напыляться контактные дорожки.

После получения приемлемых результатов размещения компонентов следует закрыть SPECCTRA. При закрытии выскочит диалоговое окно, в котором нужно нажать Save and out. После выхода из приложения данные о размещении компонентов автоматически перенесутся в P-CAD PCB. Далее в P-CAD PCB нужно перевести ранее созданный контур (границу) из слоя Broad в слой шелкографии Top Silk (подробнее о переводе элемента с одного слоя на другой описано в подразделе 1.2 данной работы). В слое Broad должен быть нарисован новый (рекомендуемый/стандартный) контур платы. На рисунке 2.28 изображена плата, с размещенными компонентами и нарисованными линиями границ.

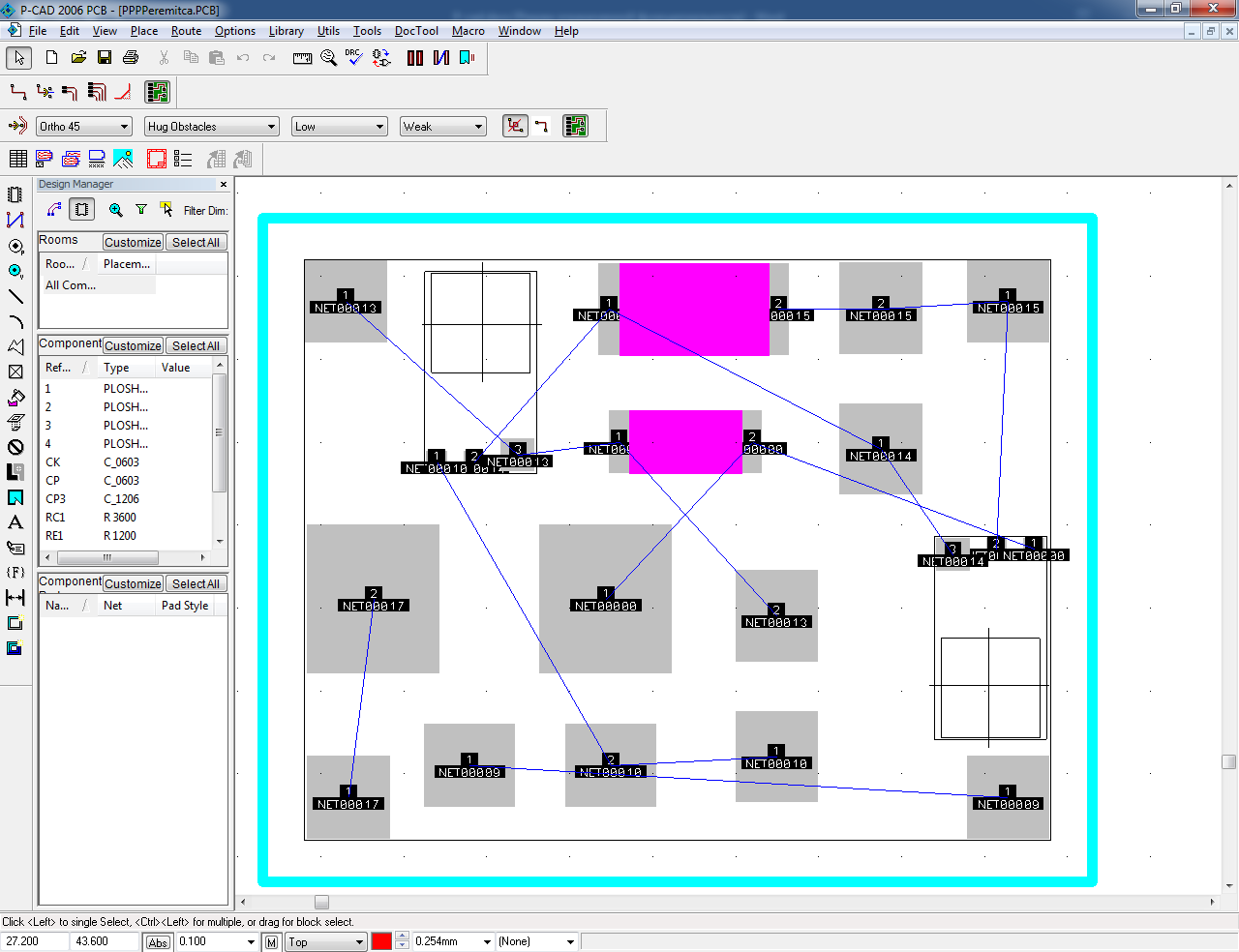


Рис. 2.28. Рабочее окно программы P-CAD PCB после расположения компонентов и отрисовки линии границы.

Следующим этапом проектирования тонкопленочной МСБ является трассировка соединений, которая будет проводиться в P-CAD PCB.

### *3.5.2 Трассировка соединений в P-CAD PCB*

Перед началом соединения элементов проводниками необходимо установить толщину проводника. Это делается командой Options/Current Line. В рассмотренном примере толщина проводников составляет 0.25 мм. Так же нужно установить зазоры между проводниками и расстояние между ними и посадочным местом компонента. Для этого вызовем команду Options/Configure затем перейдем во вкладку Online DRC, в которой нажмем на кнопку Design Rules (Options/Configure-> Online DRC-> Design Rules). Откроется диалоговое окно, представленное на рисунке 2.29. В данном окне перейдем во вкладку Layer.

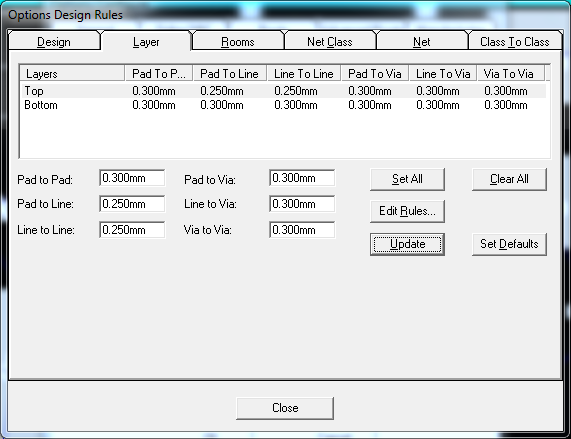


Рис. 2.29. Установка зазоров между проводником/проводником, проводником/элементом.

* Pad to Pad – величина зазора между элементами;
* Pad to Line – величина зазора между элементами и проводниками;
* Pad to Line – величина зазора между проводниками;
* Pad to Via – величина зазора между элементами и переходными отверстиями;
* Line to Via – величина зазора между проводниками и переходными отверстиями;
* Via to Via – величина зазора между переходными отверстиями;

Так как плата односторонняя использование переходных отверстий недопустимо. В случае пересечения проводников необходимо установить перемычку (слой диэлектрика) подробнее о создании таких перемычек будет описано подразделе 3.5.3 данной работы.

После установки всех зазоров требуется нажать кнопку Update, чтобы настройки вступили в силу. Во вкладке Manual Route окна Options/Configure нужно установить флажок у параметра T-Route by Default. Теперь можно приступать к разводке проводников.

Для разводки используются следующие инструменты:

* Route Manual  – прокладка проводника;
* Route Advanced  – построение маршрута;
* Route Miter  – прокладка угловой трассы.

Прокладка проводников осуществляется в слое Top. Разведем плату, оставив не соединенными лишь те проводники, которые имеют точку пересечения с другими проводниками. Результат разводки представлен на рисунке 2.30.

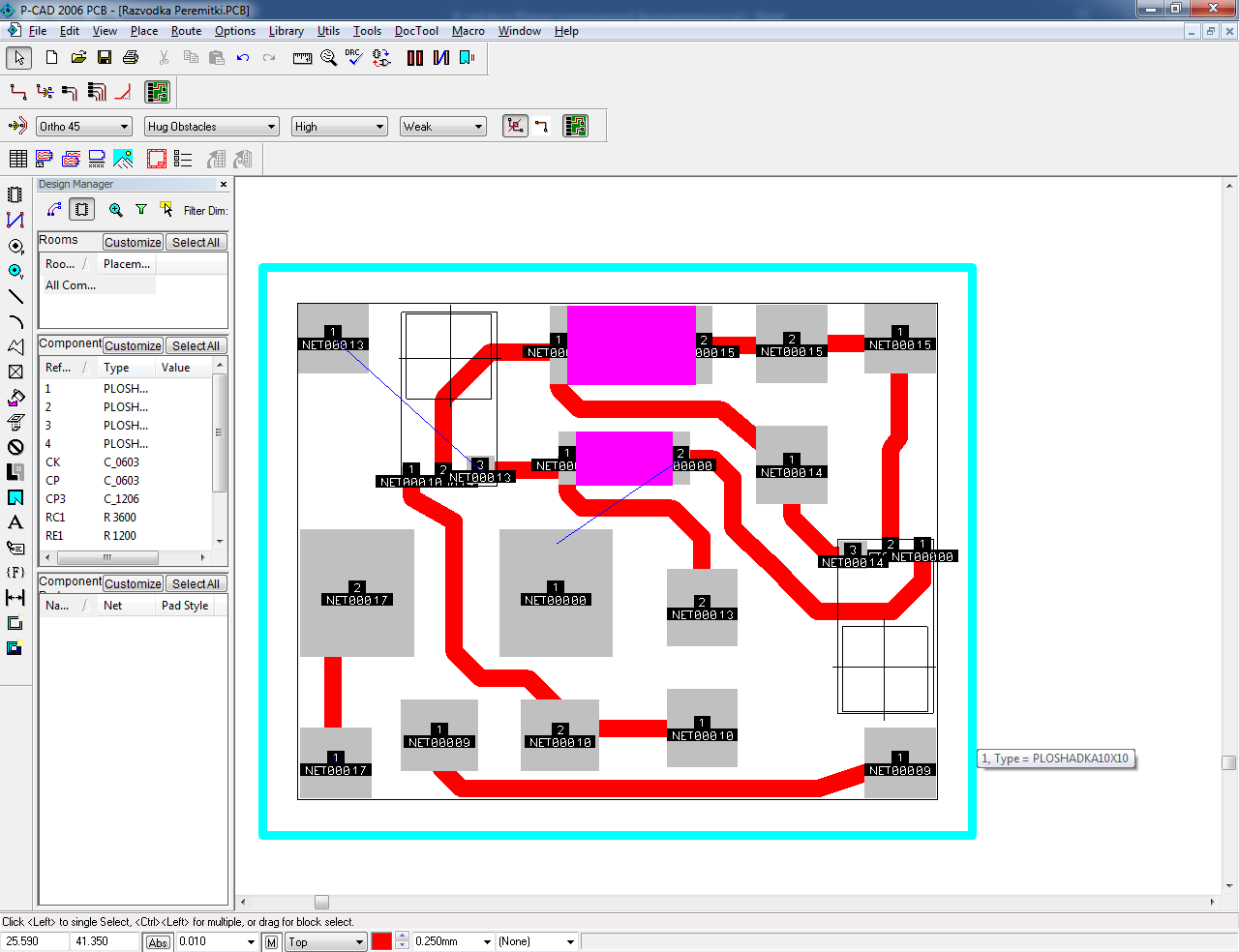


Рис. 2.30. Разводка проводников в P-CAD PCB.

После того как проводник проложен, тонкая синяя линия связи должна исчезнуть. На рисунке 2.30 остались две синие линии. Данные проводники невозможно проложить без пересечения. Для осуществления соединения создается перемычка. О перемычках будет рассказано в следующем подразделе.

### *3.5.3 Создание перемычек в P-CAD PCB*

Основная идея при создании перемычке заключается в нанесении слоя диэлектрика на контактную дорожку, поверх этого диэлектрического слоя напыляется другая контактная дорожка. Таким образом осуществляется изоляция двух пересекающихся проводников.

Процесс создания перемычки в P-Cad начинается с добавления в проект двух новых слоев. В одном из которых будет располагаться слой диэлектрика, а во втором проводник. Добавление слоев в проект осуществляется командой Options/Layers, подробнее об этой операции написано в подразделе 1.2

Типы слоев, в котором будет располагаться проводник и диэлектрик должны быть Signal! На рисунке 2.31 представлена плата, с нанесенным слоем диэлектрика в слое “Dielectr”, который был создан командой Options/Layers. Цвет слою можно придать, вызвав команду Options/Display, найдя нужный слой в списке и присвоив ему нужный цвет.

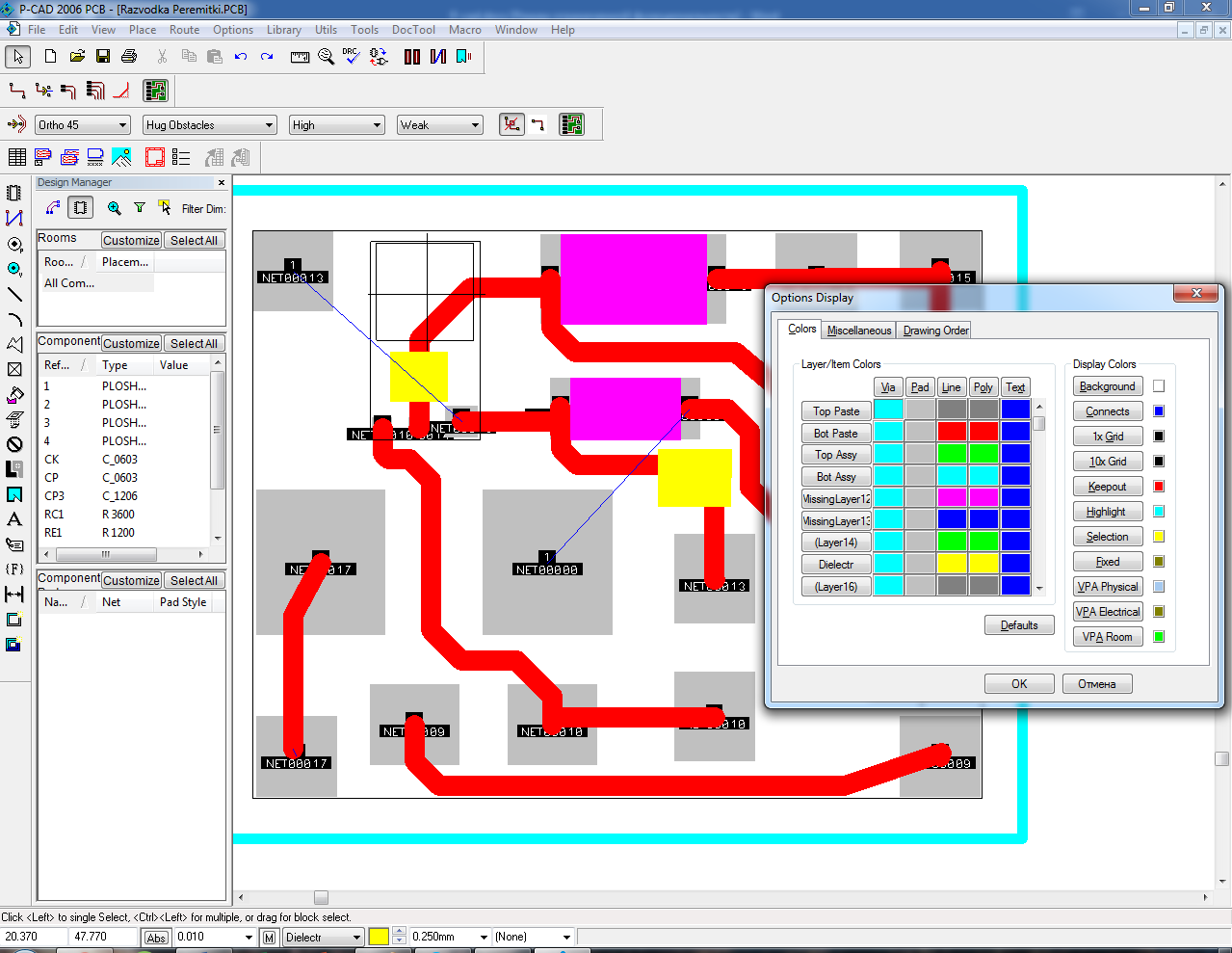


Рис. 2.31 Нанесение слоя диэлектрика.

На рисунке 2.32 представлен окончательный вариант разводки платы.

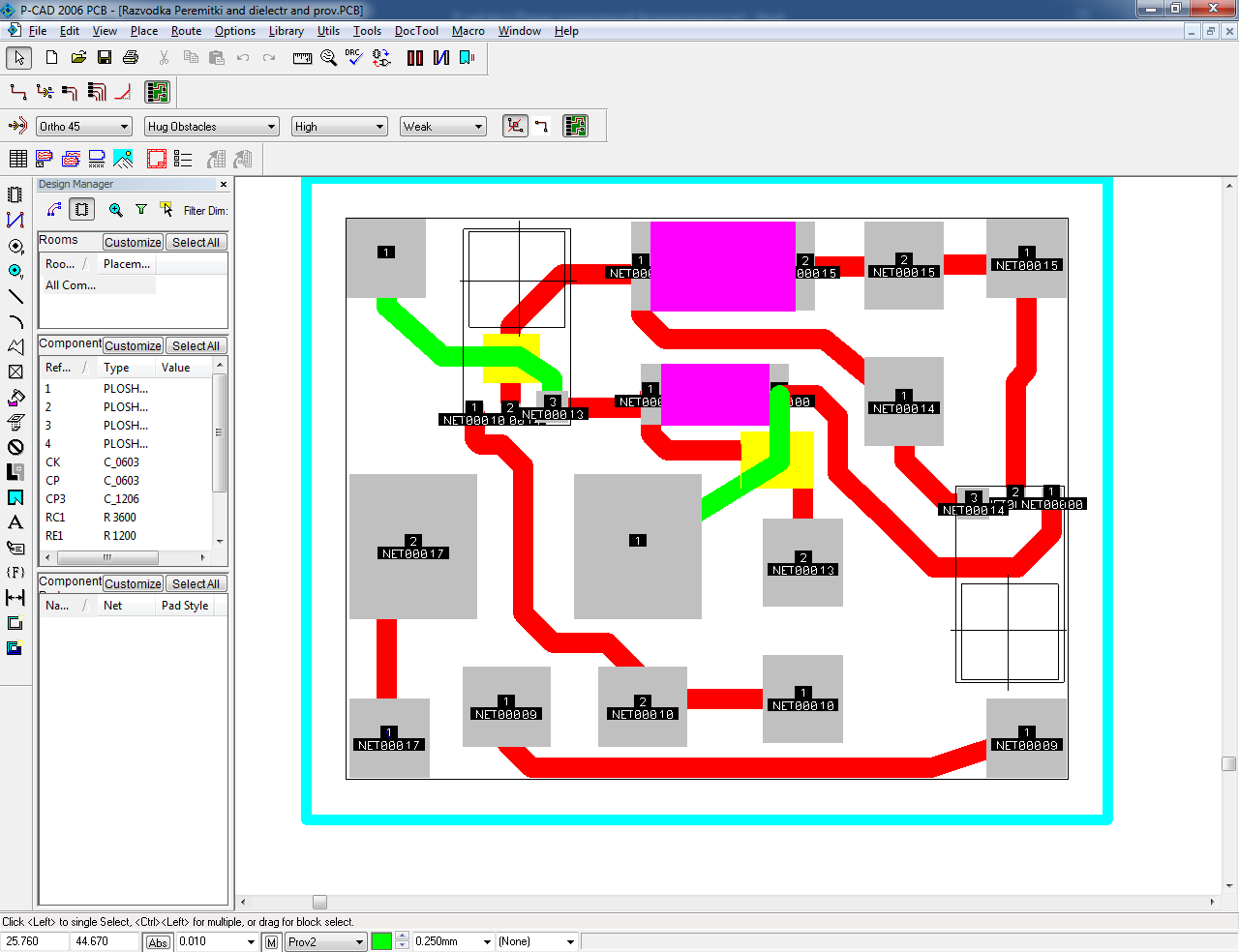


Рис. 2.32. Плата с перемычками и разведенными проводниками.

### *3.5.4 Формирование фотошаблонов*

Для формирования рисунков фотошаблонов понадобится дополнительное ПО: “PDF принтер”. Данная программа позволит сохранить фотошаблон в формате .pdf на жесткий диск компьютера.

Для формирования фотошаблона, в программе *P-CAD PCB* необходимо нажать кнопку Print  на панели инструментов. Выскочит диалоговое окно настроек параметров печати рисунок 2.33. Нажав на кнопку Printer Setup необходимо выбрать PDF Printer. Далее необходимо поставить галочку у пункта Scale To Fit Page что бы рисунок фотошаблона был выполнен не в масштабе.

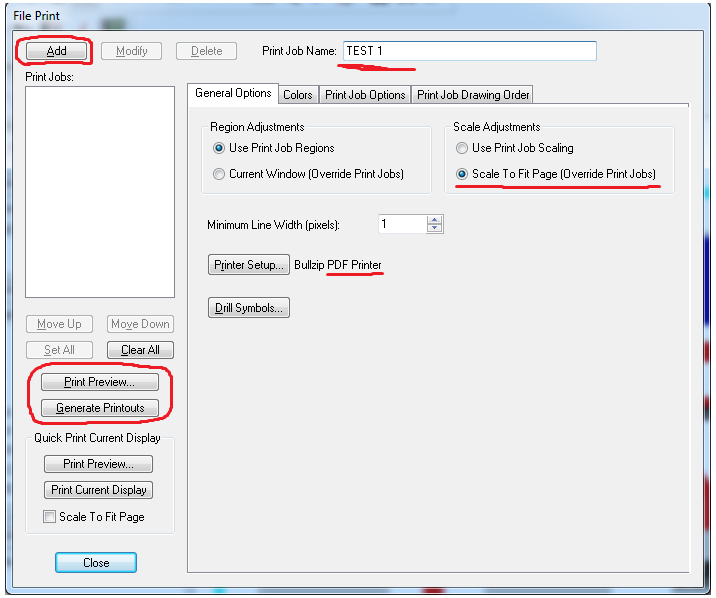


Рис. 2.33. Настройка параметров печати.

В графе Print Job Name можно указать любое имя задания. Далее нужно перейти во вкладку Print Job Options рисунок 2.34.

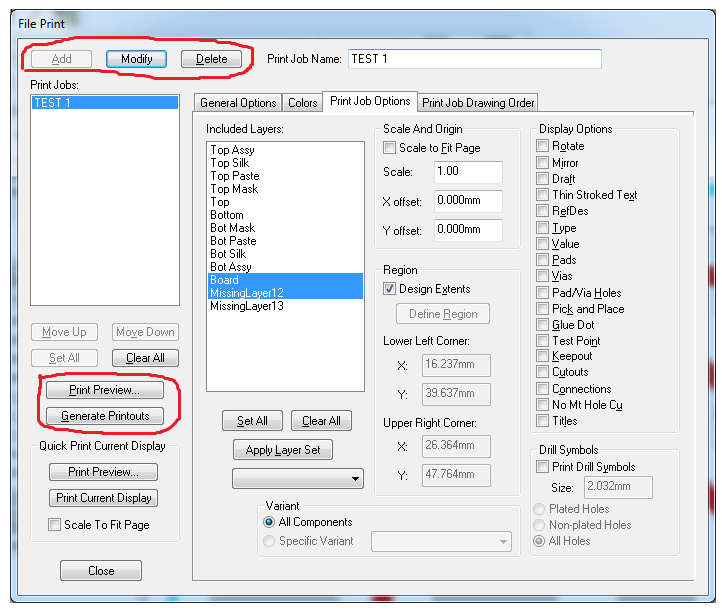


Рис. 2.34. Настройка опций печати.

В окне Included Layers, зажав кнопку Ctrl, нужно выделить те слои, которые необходимо отобразить. После выбора нужных слоев нужно нажать кнопки Add и Print Preview для создания задания печати и предварительного просмотра фотошаблона. Кнопками Modify и Delete можно отредактировать текущее задание (например, добавить или убрать слои) или же полностью удалить его.

После всех настроек нужно нажать на кнопку Generate Printouts для создания и сохранения PDF файла.

Набор рисунков фотошаблонов, полученных данным способом, представлен в приложении 3.

### *3.5.5 Формирование КД.*

Для того, чтобы передать данные из P-cad в Компас-3d нужно воспользоваться командой File/Export/DXF… Программа предложит назвать сохраняемый файл, выбрать экспортируемые слои и систему измерений. После сохранения файла в формате .DXF его можно будет открыть в Компас-3d и отредактировать нужным образом. Файлы формата .DXF воспринимаются различными САПР, например SolidWorks или Pro/ENGINEER.

# П р и л о ж е н и е 1.

**Основные этапы работы по проектированию тонкопленочной МСБ ручным способом, выполненные в рамках курса КИПР приборных устройств.**

Устройство представляет собой двухкаскадный усилитель звуковой частоты. Усилитель может получить широкое распространение в аппаратуре связи как предварительный усилитель НЧ сигналов, в каналообразующей аппаратуре в индивидуальных преобразователях.

Электрическая принципиальная схема представлена на рисунке 1.

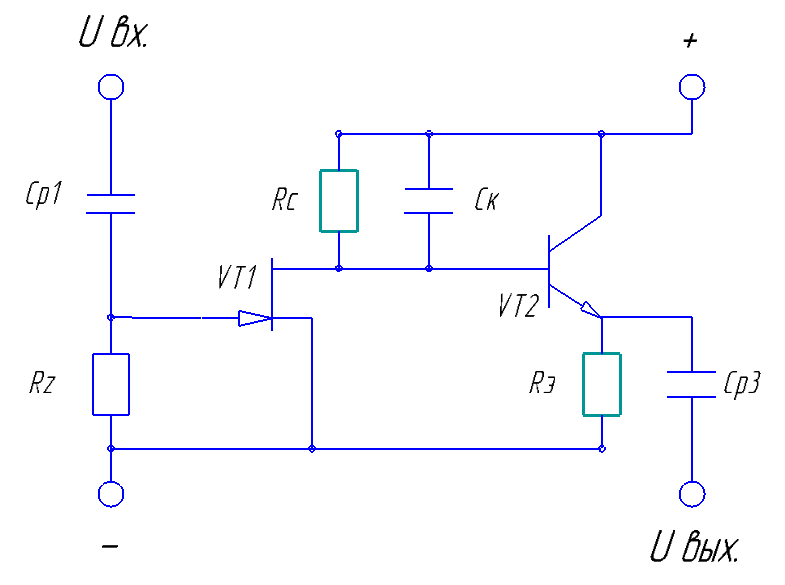


Рис 1. Схема электрическая принципиальная.

В состав микросборки входят следующие элементы:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Обозначение | Номинал | Размерность |
| Резисторы | Rэ (тонкопленочный) | 1,2 | кОм |
| Rc (тонкопленочный) | 3,6 |
| Rз | 5,1 |
| Конденсаторы | Ср1 | 1000 | пФ |
| Ск | 3300 |
| Ср3 | 6200000 |
| Транзисторы | VT1 |  |  |
| VT2 |

***Расчет тонкопленочных резисторов ручным способом:***

Для всей номенклатуры сопротивлений тонкопленочных резисторов (ТР) требуется выбрать один резистивный материал. Для этого определим оптимальное сопротивление R0опт, при котором площадь, занимаемая всеми резисторами будет минимальной.

По таблице 1 из [1] (стр.12 ) выбираем резистивный материал с ближайшим меньшим R0. Подходит материал PC 4206 со следующими параметрами: R0 = 2000 ; Кн = 0.8; Po = 20 мВт/мм2; aR\*10-4 = 0.5 1/0C; BR\*10-5 = 0.5 1/ч.

***Расчет ТР Rc:***

Исходными данными для расчета являются:

* Номинальное сопротивление: Rc=3600 Ом
* Мощность рассеивания: 22.5 мВт
* Допустимая рабочая температура: tд=750
* Предельный срок эксплуатации: τ=3000 ч.
* Заданный допуск на сопротивление: γRз = ±10%
* Погрешность удельного поверхностного сопротивления: γR0 = ±4%
* Погрешность контактного сопротивления: γRк = ±0.5%
* Погрешность длины резистора: ∆l = ±0.04 мм
* Погрешность ширины резистора: ∆b = ±0.02 мм
* Технологическая зона: h= 0.1 мм
* Коэффициент нагрузки ТР по мощности: Кн=P/P0= 1.125.

Коэффициент формы:

Относительная температурная погрешность:

Относительная температурная погрешность старения:

Допустимая относительная погрешность сопротивления ТР:

Допустимая относительная погрешность коэффициента формы:

Определяем ширину ТР bт или длину lт по точностному критерию:

Определяем ширину ТР bм или длину lм по заданной мощности рассеивания:

Выбор окончательного значения ширины ТР:

bтехн = 0.1 мм –минимальная ширина при фотолитографии.

Выбор активной длины ТР:

Проверка:

1.125 – выполняется

***Расчет ТР Rэ:***

Исходными данными для расчета являются:

* Номинальное сопротивление: Rc=1200 Ом
* Мощность рассеивания: 9.1 мВт
* Допустимая рабочая температура: tд=750
* Предельный срок эксплуатации: τ=3000 ч.
* Заданный допуск на сопротивление: γRз = ±10%
* Погрешность удельного поверхностного сопротивления: γR0 = ±4%
* Погрешность контактного сопротивления: γRк = ±0.5%
* Погрешность длины резистора: ∆l = ±0.04 мм
* Погрешность ширины резистора: ∆b = ±0.02 мм
* Технологическая зона: h= 0.1 мм
* Коэффициент нагрузки ТР по мощности: Кн=P/P0= 0.46.

Коэффициент формы:

Относительная температурная погрешность:

Относительная температурная погрешность старения:

Допустимая относительная погрешность сопротивления ТР:

Допустимая относительная погрешность коэффициента формы:

Определяем ширину ТР bт или длину lт по точностному критерию:

Определяем ширину ТР bм или длину lм по заданной мощности рассеивания:

Выбор окончательного значения длинны ТР:

lтехн = 0.1 мм –минимальная длина при фотолитографии.

Выбор активной ширины ТР:

Проверка:

;

0.46 – выполняется

***Расчет тонкопленочных проводников:***

Пленочные проводники конструируют в виде полосок минимальной длины. Минимальная ширина составляет 200 мкм для масочного метода и 100 мкм для фотолитографии. В качестве проводников используют трехслойные или многослойные структуры, состоящие из подслоя, проводящего слоя и защитного покрытия (для трехслойной структуры).

Подслой обеспечивает высокую адгезию проводящей пленки и подложки, основной слой - высокую проводимость, а защитный слой предохраняет тонкопленочный проводник от климатических воздействий и обеспечивает монтажные свойства.

Для проводников выбрана трехслойная структура с параметрами, предоставленными в таблице 3:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Таблица 3. Параметры тонкопленочной структуры нихром-медь-никель для проводников в схеме | | | |
| Материал | Толщина слоя, нм | Удельное поверхностное сопротивление, R0, Ом/□ | Способ контактирования с проволочными проводниками |
| Подслой - нихром X20CH80 Слой - медь MB Покрытие – золото ЗЛ 999,9 | 20 700 50 | 0,02 | Сварка/пайка |

Толщина проводника t = 0.77 мкм

Ширина проводника

Допустимая длина проводника

Контактные площадки имеют следующие размеры: 1x1 мм.

На рисунке 2 представлена топология МСБ, полученная ручным методом проектирования.

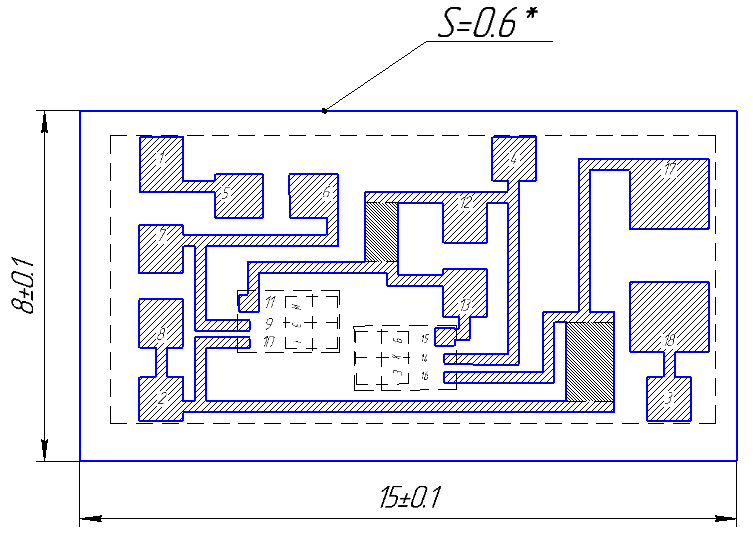


Рис.2 Топология тонкопленочной МСБ, полученная ручным методом проектирования.

# П р и л о ж е н и е 2.

**Результат машинного расчета параметров тонкопленочных резисторов в программе LanBar.**

R1

Допустимая рабочая температура, 0C 75

Предполагаемый срок эксплуатации МСБ, ч 5000

Расчет тонкопленочных резисторов

Выбран метод фотолитографии

Исходные данные резисторов

№, R, Ом P, мВт gamma, %

1 3600 23 10

R0 опт=3600.00

Для изготовления резисторов выбран материал PC 4206

R0, Kн, Р0, alfa, beta

2000 0.8 20 0.5 0.5

Gammt= 0.30%

GAMMAst= 2.50%

GAMMArk= 0.50%

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Резистор № 1

“прямоугольный”

Kf= 1.80

GAMMAr= 6.70%

Gammakf= 5.37%

Bt= 0.45 мм

Bm= 0.75 мм

Bтехнол= 0.10 мм

B= 0.75 мм

l= 1.35 мм

S= 1.01 мм\*мм

Проверку прошел.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

R2

Допустимая рабочая температура, 0C 75

Предполагаемый срок эксплуатации МСБ, ч 5000

Расчет тонкопленочных резисторов

Выбран метод фотолитографии

Исходные данные резисторов

№, R, Ом P, мВт gamma, %

1 1200 9 10

R0 опт=1200.00

Для изготовления резисторов выбран материал PC 4206

R0, Kн, Р0, alfa, beta

2000 0.8 20 0.5 0.5

Gammt= 0.30%

GAMMAst= 1.50%

GAMMArk= 0.50%

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Резистор № 1

“прямоугольный”

Kf= 0.60

GAMMAr= 7.72%

Gammakf= 6.61%

Bt= 0.79 мм

Bm= 1.11 мм

Bтехнол= 0.10 мм

B= 1.10 мм

l= 1.80 мм

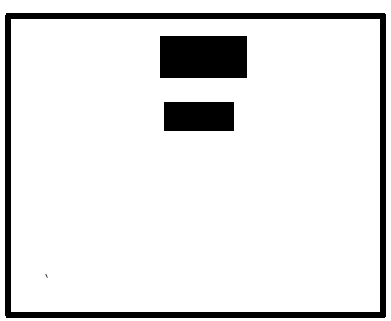
S= 1.98 мм\*мм

Проверку прошел.

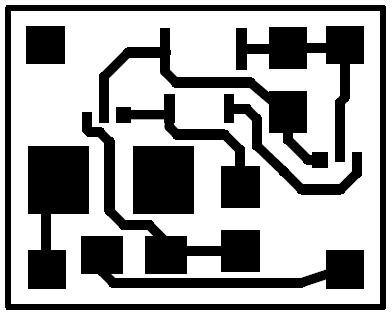
# П р и л о ж е н и е 3.

**Набор рисунков фотошаблонов тонкопленочной МСБ.**

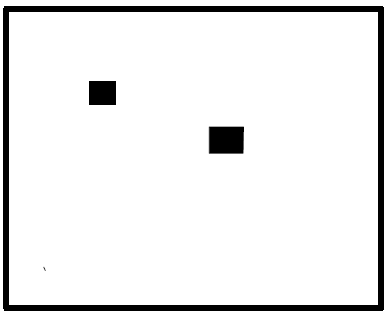
ФШ 1 – для создания маски (через данную маску наносится резистивный слой на плату):



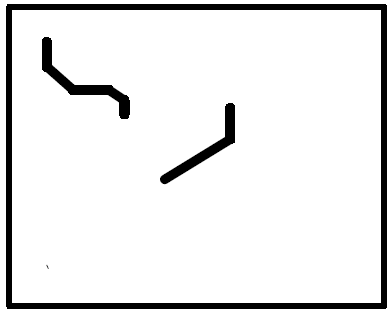
ФШ 2 – фотошаблон для формирования (травления) дорожек и контактных площадок:



ФШ 3 – для создания маски (через данную маску наносится слой диэлектрика на плату):



ФШ 4 – для создания маски (через данную маску наносится проводящий слой на плату):



# *Библиографический список*

1. Методическое пособие: «Проектирование печатных плат в САПР P-CAD». Санкт-петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. 2007 г.
2. Саврушев, Э.Ц. P-CAD для Windows. Система проектирования печатных плат. Практическое пособие – М.: Издательство ЭКОМ, 2002г. – 320с.
3. Учебное пособие для вузов: «Конструирование и технология микросхем» под редакцией д-ра техн. наук, проф. Л. А. Коледова.
4. Жаркой, М. Ф. Конструирование микросборок: учеб. пос. / Жаркой, М. Ф. Мурашев, Ю. Г. Шиханов, Ю. Ф.; Балтийский гос. техн. ун-т "Веонмех" СПб., 2007г.
5. P-Cad и SPECCTRA. Учебное пособие. А.С. Уваров. 2010г.
6. Иванова, Н.Ю. Проектирование печатных плат в САПР P-Cad: учеб. пос. / Н.Ю. Иванова, Е.Б. Романова. СПб., 2007г.
7. Елшин, Ю.М. Справочное руководство по работе с подсистемой SPECCTRA в P-CAD 2000. – М.: СОЛОН-Р, 2002г. – 272с
8. “Электроника” учебное пособие для вузов 2006 г. Щука А.А.

**О Г Л А В Л Е Н И Е**

[**Глава 1. Знакомство с программным пакетом P-CAD** 5](#_Toc531197748)

[*1.1 Интегрированная среда проектирования* 7](#_Toc531197749)

[*1.2 Слои в программном комплексе P-CAD* 11](#_Toc531197750)

[**Глава 2. Порядок работы с программным комплексом P-CAD** 12](#_Toc531197751)

[*2.1 Настройка программ P-CAD Schematic и P-CAD PCB* 12](#_Toc531197752)

[*2.2 Работа с библиотекой данных P-CAD* 16](#_Toc531197753)

[**Глава 3. Разработка тонкопленочной ГИС в P-cad** 18](#_Toc531197754)

[3.1 Методы формирования конфигураций элементов тонкопленочных МСБ. 18](#_Toc531197755)

[3.2 Проектирование тонкопленочного резистора, как элемента базы данных P-Cad 21](#_Toc531197756)

[*3.2.1 Формирование условно-графического обозначения резистора в P-CAD Symbol Editor.* 22](#_Toc531197757)

[*3.2.2 Проектирование посадочного места (Pattern-а) ТР* 26](#_Toc531197758)

[*3.2.3 Формирование компонента ТР* 32](#_Toc531197759)

[3.3 Проектирование тонкопленочного конденсатора, как элемента базы данных P-Cad 34](#_Toc531197760)

[*3.3.1 Формирование условно-графического обозначения тонкопленочного конденсатора в P-CAD Symbol Editor.* 36](#_Toc531197761)

[*3.3.2 Проектирование посадочных мест (Pattern-а) ТПК различных вариантов конструкции* 37](#_Toc531197762)

[*3.3.3 Формирование компонента ТПК* 41](#_Toc531197763)

[3.4 Проектирование схемы электрической принципиальной в P-Cad 42](#_Toc531197764)

[3.5 Проектирование МСБ в программах P-CAD PCB и SPECCTRA 44](#_Toc531197765)

[*3.5.1 Авто размещение элементов в SPECCTRA* 46](#_Toc531197766)

[*3.5.2 Трассировка соединений в P-CAD PCB* 51](#_Toc531197767)

[*3.5.3 Создание перемычек в P-CAD PCB* 53](#_Toc531197768)

[*3.5.4 Формирование фотошаблонов* 55](#_Toc531197769)

[*3.5.5 Формирование КД.* 57](#_Toc531197770)

[П р и л о ж е н и е 1. Основные этапы работы по проектированию тонкопленочной МСБ ручным способом, выполненные в рамках курса КИПР приборных устройств…. 58](#_Toc531197771)

[П р и л о ж е н и е 2. Результат машинного расчета параметров тонкопленочных резисторов в программе LanBar. 64](#_Toc531197772)

[П р и л о ж е н и е 3. Набор рисунков фотошаблонов тонкопленочной МСБ. 65](#_Toc531197773)

[*Библиографический список* 67](#_Toc531197774)

*Жаркой Михаил Филиппович,*

*Кузнецов Даниил Валерьевич*

**Разработка тонкопленочных ГИС**

**в программном комплексе**

**P-Cad**

Редактор

Подписано в печать . Формат . Бумага .

Печать . Усл. печ. л. Тираж . Заказ № .

Балтийский государственный технический университет

Типография БГТУ

190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1