

Федеральное агентство по образованию  
Тверской государственный технический университет

**В.А. Овчинников, А.Н. Васильев, В.В. Лебедев**

# **Автоматизация проектирования и технология производства печатных плат**

**Учебное пособие**  
*Издание первое*

Рекомендовано государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Информатика и вычислительная техника».

Регистрационный номер рецензии «174» от «14.11.2008» МГУП

Тверь 2009

УДК 681.3  
ББК 32.973.я7

Овчинников, В.А. Автоматизация проектирования и технология производства печатных плат : учебное пособие / В.А. Овчинников, А.Н. Васильев, В.В. Лебедев. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2009. 234 с.

Содержит теоретические сведения об автоматизации конструкторского проектирования печатных плат, а также описание конкретного процесса проектирования с использованием программного комплекса P-CAD 2006.

Содержание учебного пособия соответствует рабочей программе по курсу «Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ».

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки ВПО 230100 «Информатика и вычислительная техника» специальности ВПО 230101 «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети» для изучения теоретических вопросов данной дисциплины, а также при проведении семинарских занятий, лабораторного практикума, курсовых работ.

Рецензенты: кандидат технических наук, директор ООО «ПКФ ВОС-ТОК» А.В. Румянцев; федеральное государственное унитарное предприятие «Центральное конструкторское бюро транспортного машиностроения» (ведущий инженер Д.В. Суринский)

## Оглавление

Введение .....	5
Теоретическая часть.....	6
1. Общая характеристика процесса проектирования ЭВА .....	6
2. Системы автоматизированного проектирования.....	9
3. Задачи автоматизированного конструкторского проектирования.....	12
4. Математические модели схем и монтажного пространства.....	13
5. Постановка задачи размещения.....	17
6. Последовательные алгоритмы размещения.....	18
7. Общая постановка задачи трассировки.....	22
8. Алгоритмы решения задачи трассировки .....	27
9. Технология, виды и параметры печатных плат .....	34
9.1. Классификация методов конструирования печатных плат и узлов. ....	34
9.2. Технологии печатных плат .....	35
9.3. Виды печатных плат .....	36
9.3.1. Односторонние печатные платы .....	36
9.3.2. Двухсторонние печатные платы.....	38
9.3.3. Многослойные печатные платы .....	39
9.3.4. Гибкие печатные платы.....	42
9.3.5. Рельефные печатные платы .....	44
9.4. Толщина печатных плат.....	46
9.5. Класс точности .....	48
9.6. Параметры проводников и зазоров .....	49
9.7. Защитные покрытия печатных плат .....	53
9.8. Маркировка печатных плат .....	55
Практическая часть. Процесс создания печатных плат в программном комплексе P-CAD 2006 .....	56
1. Создание библиотечных элементов. ....	56
1.1. Создание символьного элемента 54ALS02 .....	56
1.2. Создание посадочного места для радиоэлемента на печатной плате при помощи программы P-CAD 2006 Pattern Editor.....	63
1.2.1. Настройка конфигурации графического редактора.....	65
1.2.2. Запись созданного символьного элемента в библиотеку элементов. 67	67
1.3. Создание библиотеки.....	67
2. Создание принципиальных электрических схем.....	70
2.1. Создание схемы средствами схемного редактора P-CAD 2006 Schematic.....	70
2.1.1. Настройка конфигурации редактора .....	70
2.1.2. Размещение элементов схемы. ....	72
2.1.3. Разводка соединительных проводников .....	74
2.1.4. Генерация списка соединений .....	77

3. Трассировка печатных плат.....	78
3.1. Основные сведения о печатных платах.....	78
3.2. Технологический редактор P-CAD 2006 EDA PCB .....	79
3.3. Выполнение разводки ПП.....	80
3.3.1. Создание нового проекта. Установка начальных параметров.....	80
3.3.2. Загрузка списка соединений .....	81
3.3.3. Установка границ ПП.....	81
3.3.4. Ручное размещение элементов .....	82
3.3.5. Автоматическое размещение элементов.....	82
3.3.6. Автоматическая трассировка.....	84
3.4. Подготовка отчетности .....	86
Приложения.....	87
Лабораторная работа №1. Знакомство с интерфейсом и изучение принципов работы в среде P-CAD v.2006.....	87
Лабораторная работа №2. Формирование электрической схемы с помощью библиотек P-CAD 2006 Schematic .....	113
Лабораторная работа №3. Создание библиотечных элементов в среде P-CAD v.2006 .....	129
Лабораторная работа №4. Построение принципиальной схемы устройства в P-CAD v.2006 .....	164
Лабораторная работа №5. Выполнение разводки печатной платы в P-CAD 2006 Schematic .....	202
Библиографический список.....	231

## ВВЕДЕНИЕ

За прошедшие годы компьютерная техника претерпела существенные изменения. Современные компьютеры и вычислительная техника более надежны и устойчивы в эксплуатации, стала шире и область их применения. Компьютеры объединяют в системы и вычислительные комплексы, обеспечивающие решение различных задач практически во всех сферах деятельности современного человека. Научно-технический прогресс в области создания новых средств радиоэлектроники и вычислительной техники во многом зависит от успешного решения проблемы автоматизации проектирования. Уровень сложности современной радиоэлектронной и вычислительной аппаратуры приблизился к границе, за которой эффективность труда человека-проектировщика резко падает, а число ошибок возрастает. Это особенно наглядно видно на этапе создания рабочего проекта устройства, когда конструктору приходится выполнять значительный объем нетворческой работы.

Автоматизация конструирования – это не только способ повышения производительности труда конструктора, но и надежный способ снижения стоимости проектирования и повышения качества конструкторской документации. Проблемами автоматизации конструирования занимаются более 30 лет, однако они и сегодня актуальны. В настоящее время современные достижения точного приборостроения, промышленных средств связи, медицинской техники и других отраслей невозможны без широкого использования электронно-вычислительной аппаратуры (ЭВА) и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Электронная аппаратура – это сложные комплексы устройств, предназначенные для электронной обработки информации, т.е. для хранения, преобразования и отображения ее в форму, удобную для восприятия человеком в соответствии с заданной программой.

Все разнообразные средства цифровой техники: ЭВМ, микропроцессорные системы измерений и автоматизация технологических процессов, цифровая связь и телевидение и т.д. – строятся на единой элементной базе, в состав которой входят чрезвычайно разные по сложности микросхемы – от логических элементов, выполняющих простейшие операции, до сложнейших программируемых кристаллов, содержащих десятки миллионов логических элементов.

Сейчас во всем мире наблюдаются резкое увеличение производства электронной аппаратуры и повышение ее возможностей. Особенно это связано с последними успехами в области микроэлектроники.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1. Общая характеристика процесса проектирования ЭВА

Разработка и внедрение ЭВА является одним из основных показателей современной научно-технической революции. Прогресс в области создания ЭВА определяется повышением надежности, экономичности, качества и эффективности устройств, совершенствованием схем, конструкций и технологий.

Процесс создания ЭВА условно разделяется на три основных этапа проектирования: схемотехническое, конструкторское, технологическое. На первом этапе разрабатывается архитектура будущей ЭВА. Материализация же основных идей ЭВА осуществляется на стадии конструирования и технологии производства. Именно здесь происходят воплощение электронных схем в микроэлектронные конструкции, рождение жизнеспособных изделий, отвечающих современным требованиям науки, техники и производства. В процессе создания ЭВА тесно переплетаются вопросы разработки функциональных схем, конструкции и технологии. Даже небольшие изменения в логике ЭВА без учета конструкторско-технологических факторов приводят к ухудшению ее основных характеристик.

Расширение функциональных возможностей и усложнение ЭВА поставили ученых и инженеров перед необходимостью поиска новых принципов конструирования и технологии, коренного изменения методики конструирования на основе использования современных средств вычислительной техники.

В общем случае процесс автоматизации проектирования схем ЭВА, как и любых дискретных устройств, состоит из трех этапов: системотехнический (системное и структурное проектирование); схемотехнический (моделирование, логическое проектирование, контроль и построение диагностических тестов); конструкторский (техническое и технологическое проектирование).

При системном проектировании используются идеи и методы системного анализа. На основе многочисленных факторов проводится всесторонний анализ технического задания на разработку ЭВА и принимается решение относительно методики построения и путей реализации вычислительного процесса.

При структурном проектировании разрабатываются общая структурная схема ЭВА и алгоритмы выполнения отдельных операций. Для выбора структуры необходимо учитывать требования технологичности, надежности, возможности более широкого использования однородных и унифицированных узлов.

Системотехнический этап проектирования является неформализованным процессом, где используются творческие возможности инженера. Электронная вычислительная машина просматривает варианты решений,

принимаемых разработчиком, и выбирает из них оптимальный. На этом этапе используются специальные языки, формальные методы генерации вариантов вычислительного процесса по исходному заданию методом автоматического получения структурных схем.

При схемотехническом проектировании широко используются логические и вычислительные возможности ЭВМ. Целью логического проектирования ЭВА является автоматический или автоматизированный формализованный абстрактный и структурный синтез узлов, выбранных в результате структурного проектирования, при котором проверяется эквивалентность исходного задания конечному результату. В теоретическом плане здесь имеются существенные достижения: автоматически синтезируются управляющие и специального вида операционные устройства. На практике при автоматизации логического проектирования схем требуется решение большого числа задач: разработка эффективных языков описания исходных заданий языком структурного проектирования, алгоритмов построения формальных моделей устройств и др.

При логическом проектировании важнейшими критериями оптимизации являются: минимизация числа типов логических узлов, достижение максимальной однотипности логических блоков, возможность эффективного моделирования и диагностирования схем, максимальный учет требований конструкторского и технологического проектирования.

Задачи моделирования – построение карты состояний для логических сигналов, проверка временных соотношений при прохождении входных сигналов, анализ функциональных схем на соответствие заданной системе булевых функций.

Различают физическое и математическое моделирование. Для схем ЭВА более важным является математическое моделирование, так как использование сложных интегральных микросхем исключает возможность физического моделирования.

Развитием подэтапа моделирования являются контроль и диагностика. При этом определяется методика построения схем аппаратного контроля, разрабатываются системы тестового обслуживания, определяются необходимые степень и уровень резервирования для выбора минимальной ремонтируемой единицы. Это связано с увеличением надежности используемых элементов и укрупнением типовых элементов замены в устройствах.

Функциональные схемы, полученные в результате логического синтеза и моделирования, служат входной информацией для конструкторского (технического, монтажно-коммутационного, физического) проектирования. Необходимо решать основные задачи: покрытие функциональной схемы ячейками из заданного набора, т.е. переход к принципиальной электрической схеме устройства; компоновка элементов схемы в типовые элементы замены (ТЭЗ) – ремонтпригодные конструктивные единицы, панели, блоки, стойки и т.д.; размещение элементов в конструктивных едини-

цах по различным критериям; распределение цепей по слоям, многослойная или двухслойная трассировка и контроль правильности полученной топологии.

Цель технологического проектирования – автоматизированная выдача технологических документов, разработка алгоритмов управления координатографами и другими периферийными устройствами и методов автоматического получения фотошаблонов, служащих руководящими материалами в системе производства.

Важнейшая задача проблемы автоматизации проектирования, конструирования и изготовления схем – автоматизация конструкторского проектирования.

Вопросы разработки и исследования методов, алгоритмов и систем автоматизации проектирования обсуждаются с использованием методов современной математики. Основу проектирования составляют математическое описание задач проектирования на заданном формальном языке, разработка основных теорем и алгоритмов, структуры систем, запись программ на алгоритмическом языке и решение их на универсальной или специализированной ЭВМ с дальнейшим выходом на автоматизированные рабочие места (АРМ) и другое оборудование.

Для большинства задач проектирования формальное разбиение процесса поиска часто затруднительно. Если задачи проектирования сформулировать в теоретико-множественном плане, то обычно приходится встречаться с вопросами, которые могут быть решены, только если перебрать большое число вариантов. Поэтому актуальными являются вопросы: нахождение экономичных способов сокращения перебора; формальное описание тех или иных неформально поставленных задач, методов их расчленения на отдельные шаги, а также организация оптимальных в том или ином смысле процедур поиска вариантов проектирования.

В настоящее время для решения задач автоматизации проектирования и конструирования самых различных объектов все более широкое применение находит аппарат теории графов. Объясняется это тем, что язык теории графов во многих случаях адекватен в той или иной мере объектам проектирования, описывает их естественным образом и в то же время позволяет абстрагироваться от конкретных объектов и иметь дело с абстрактными моделями. Это в свою очередь дает возможность строить математически обоснованные алгоритмы проектирования, находить простые и высококачественные решения, рационально и эффективно использовать ЭВМ. Следует отметить, что точное решение задач проектирования большой размерности связано с перебором большого числа вариантов, который затруднителен даже для ЭВМ. Поэтому наравне с точными методами проектирования, основанными на методах исследования операций, используются алгоритмы направленного поиска, которые не дают оптимальных ре-



шений, но позволяют получать за приемлемое время достаточные по точности для практических целей результаты.

Обеспечение высокого качества конструирования и решение принципиально новых задач, выдвигаемых техническим прогрессом, возможно лишь на пути использования систем автоматизированного проектирования (САПР) и их непрерывного совершенствования.

## 2. Системы автоматизированного проектирования

Проектирование называется *автоматизированным*, если преобразование исходного описания объекта в окончательное, необходимое для его создания, осуществляется взаимодействием человека с ЭВМ.

Средством автоматизации проектирования является система автоматизированного проектирования. САПР – это организационно-техническая система, представляющая собой комплекс средств, которые взаимодействуют с подразделениями проектных организаций, и выполняющая автоматизированное проектирование.

Комплекс средств включает необходимые для выполнения автоматизированного проектирования виды обеспечений:

*математическое* – правила формального перехода от описания объекта проектирования к его математическим моделям, математические модели задач проектирования, методы и алгоритмы их решения, аналитические средства оценки качества решения задач и используемых алгоритмов;

*программное* – совокупность программ, реализующих проектные процедуры и операции, которые необходимы для получения проектных решений – промежуточного или окончательного описания разрабатываемого объекта;

*информационное* – специальным образом организованные данные справочного и проектного характера, необходимые для выполнения автоматизированного проектирования;

*лингвистическое* – терминология, а также языки программирования и описания объектов и заданий на проектирование;

*методическое* – совокупность документов, определяющих состав и правила эксплуатации средств обеспечения автоматизированного проектирования;

*организационное* – документы, устанавливающие состав проектной организации и ее подразделений, связи между ними и их функции, а также форму представления результатов проектирования и порядок рассмотрения проектных решений;

*техническое* – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования.

Составной частью информационного обеспечения САПР являются автоматизированные банки данных (АБД), которые состоят из базы данных

(БД) и системы управления базами данных (СУБД). Автоматизированные банки данных создаются как обслуживающие подсистемы САПР и предназначены для автоматизированного обеспечения необходимыми данными подсистем САПР.

Управление АБД осуществляется специалистами, обеспечивающими целостность, правильность, эффективность использования и функциональные возможности. К АБД предъявляются требования гибкости, надежности, наглядности и экономичности.

Главными задачами САПР являются улучшение качества конструирования и создание средств, обеспечивающих решение принципиально новых задач, выдвигаемых техническим прогрессом.

В частном случае системой автоматизированного конструкторского проектирования можно считать некоторый комплекс алгоритмов с диспетчером, реализованный в виде множества программ, объединенных в пакеты, библиотеки или модули, и автоматизированных рабочих мест, включающих необходимое для выпуска конструкторской документации оборудование. Идеальная система автоматизированного проектирования предполагает такой порядок работ, когда техническое задание, сформулированное конструктором, полностью обрабатывается с помощью ЭВМ. Система программ определяет порядок их следования и тем самым последовательность выполнения отдельных этапов. На выходе ЭВМ индуцируется модель топологии устройства в виде документации для системы автоматизированного управления технологическими процессами.

Даже самые современные ЭВМ не могут заменить конструктора, а лишь способны дополнить его, выполняя нетворческие, рутинные операции. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение получили интерактивные системы «человек-машина», работающие в режиме диалога конструктора с ЭВМ. Они особенно эффективны при анализе и решении комбинаторно-логических задач этапа конструкторского проектирования схем. Интерактивные системы должны иметь такую организацию, при которой оптимальным образом сочетаются процессы автоматизированного проектирования с указаниями конструктора, творчески направляющего процесс разработки.

Не менее важные факторы, влияющие на структуру системы, – это определение области ее применения и выбор методологии конструирования. Такая постановка задачи связана с неэффективностью универсализации используемых в системе алгоритмов и программ с целью их применения к различным конструкциям. Поэтому целесообразно включение в систему программ-диспетчеров, с помощью которых производится управление остальными программами. Наличие диспетчера позволяет решить важные вопросы организации системы: возможность свободного «входа» в систему на всех этапах конструирования с целью корректировки промежуточных результатов, возможность использования как пакетов, так и единич-

ных программ, организация наиболее рациональной последовательности этапов разработки.

Выполнение рассмотренных выше требований становится необходимым при поэтапной организации процесса конструирования. При этом работоспособность системы будет во многом зависеть от надежности и удобства стыковки отдельных этапов. Это достигается с помощью унификации входной и выходной информации, единства методов ее записи на носителях, распределения памяти ЭВМ и т.д. Значительное место при организации САПР отводится выбору алгоритмического языка, достаточно простого для описания входной, первичной информации и доступного конструктору. Отметим, что определяющим фактором создания САПР является обязательный количественный или качественный выигрыш от автоматизации, существенно превосходящий те дополнительные затраты труда, которые она вызывает. Система должна обладать высокой жизнеспособностью, т.е. легкой настраиваемостью, возможностью изменения критериев оптимизации, способностью к расширению и дополнению библиотеки программ, стыковки с другими системами проектирования и процессами автоматизированного производства.

В настоящее время САПР развивается в двух направлениях: используются мини- и микроЭВМ и микропроцессоры с непосредственным участием конструктора; создаются системы автоматического проектирования на основе многопроцессорных вычислительных структур без участия человека. В обоих направлениях определяющими остаются вопросы оптимизации алгоритмов, формализации задач конструирования, представления информации в ЭВМ, организации библиотек программ и др.

Система автоматизированного проектирования должна иметь возможности автоматического хранения информации о проектируемом устройстве; последовательного расширения и совершенствования системы; активной связи «конструктор-система»; оперирования оптимальными взаимозаменяемыми алгоритмами конструирования; специализации систем на конструирование ЭВА на микросхемах любой степени интеграции; увеличения мощности системы применением многопроцессорных вычислительных структур и периферийных устройств; стыковки со специальными автоматами (координатографами, графопостроителями и т.д.); изготовления конструкторской и технологической документации.

Качество САПР характеризуется не только возможностью использования системы для проектирования широкого класса ЭВА без существенных изменений, но и оптимальностью алгоритмов и способом представления информации. Основным требованием к размещению информации в памяти ЭВМ является свободный доступ к данным, т.е. такая организация их хранения, при которой разработчик получит возможность на всех этапах конструирования быстро просматривать все имеющиеся параметры с целью выбора требуемых.

Не менее важна правильность построения языка проектирования (ЯП), предназначенного для представления и преобразования описаний объектов при проектировании. Согласно ГОСТ 22487-77 различают языки проектирования: входной – представление задания на проектирование; базовый – дополнительные сведения к первичному описанию объекта проектирования, проектных решений, проектных процедур и их последовательности; выходной – какое-либо проектное решение, включая результат проектирования в форме, удовлетворяющей требованиям его дальнейшего применения.

Правильность выбора алгоритмов является одним из факторов, определяющим экономическую эффективность использования САПР.

### **3. Задачи автоматизированного конструкторского проектирования**

В конструкторском проектировании автоматизации подлежат схемно-топологический этап и этап выпуска конструкторской документации (КД).

Цель схемно-топологического проектирования – поиск конструктивной реализации схемы ЭВМ или ее устройств при заданных параметрах конструктивных модулей.

Цель разработки КД – получение описания спроектированного объекта.

Суть указанных этапов заключается в структурном синтезе соответствующих проектных решений.

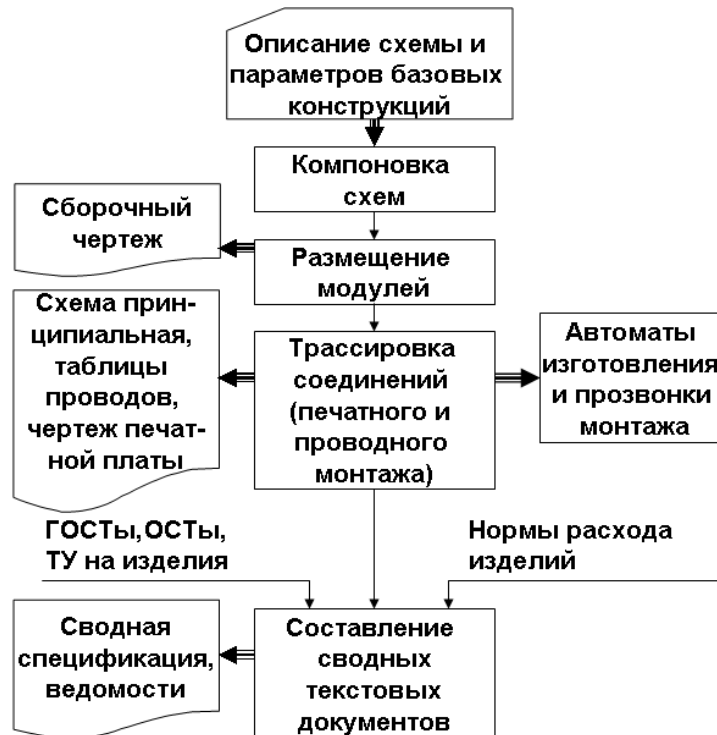
Структура объекта или системы – это совокупность составляющих его элементов и связей между ними. В общем виде задача структурного синтеза заключается в определении некоторого варианта структуры объекта.

При разработке КД синтезируют форму представления окончательного описания объекта. Информация, подлежащая преобразованию, является полной, правила преобразования – определенными.

Синтез конструктивной реализации схем ЭВМ – сложная задача, которая имеет высокую размерность. Различный характер преобразований описания объекта – схемы ЭВМ – обеспечивает возможность декомпозиции схемно-топологического проектирования на задачи:

- компоновки – определение схем всех конструктивных модулей;
- размещения – позиционирование элементов схем в монтажном пространстве этих модулей;
- трассировки – определение траекторий линий связи.

Последовательность решения задач схемно-топологического проектирования, формирование КД и связь с технологическими автоматами показаны на рис. 1.



**Рис. 1.** Последовательность решения задач автоматизированного конструкторского проектирования и связь с технологическими автоматами

Многоуровневый принцип построения конструкции ЭВМ обеспечивает возможность распараллеливания части процесса схемно-топологического проектирования.

Например, задачу размещения можно решать отдельно (независимо) как для модулей одного уровня иерархии, так и для модулей разных уровней.

К началу проектирования печатных плат задача компоновки уже должна быть решена, поэтому будем рассматривать только задачи размещения и трассировки.

Для автоматизированного решения задач размещения и трассировки необходима разработка математической модели как структуры размещаемого объекта – схемы соединения элементов, так и монтажного пространства объекта размещения – конструктивного модуля.

#### 4. Математические модели схем и монтажного пространства

В соответствии с характерными особенностями задач размещения и трассировки математическая модель схемы соединения элементов должна: задавать принадлежность элементов соединениям с точностью до выводов;

позволять точно оценивать число соединений между элементами и частями схемы;

не диктовать порядок соединения элементов, т.е. отражать фактор неизвестности соединения выводов элементов в пределах одной цепи.

При этом характер принадлежности связи (вход или выход) обычно не существенен; необходима информация об инвариантности выводов элементов, типах, метрических характеристиках и топологических свойствах элементов и связей.

Адекватной моделью схемы для задач размещения и трассировки является гиперграф.

Гиперграф можно определить как два непересекающихся множества  $X$  – вершин и  $U$  – ребер, на элементах которых определен двухместный предикат  $\Gamma(X, U)$ , обладающий свойством симметричности. Этот предикат задает отношение элементов множеств  $\Gamma(x_i, u_j)$ , которое в теории графов называется отношением инцидентности.

При геометрическом представлении гиперграфа вершины изображаются кружками (точками), ребра – в виде контуров, охватывающих инцидентные им вершины.

При переходе от схемы к гиперграфу множество элементов схемы  $\mathcal{E}$  ставится во взаимно однозначное соответствие множеству вершин  $X$  –  $\varepsilon_i \Leftrightarrow x_i$ , множество электрических цепей  $\mathcal{C}$  – множеству ребер  $U$  –  $c_j \Leftrightarrow u_j$  (рис. 2). Каждое значение предиката  $\Gamma(x_i, u_j)$  отображает принадлежность элемента  $\varepsilon_i$  цепи  $c_j$  (или наоборот, поскольку он обладает свойством симметричности).

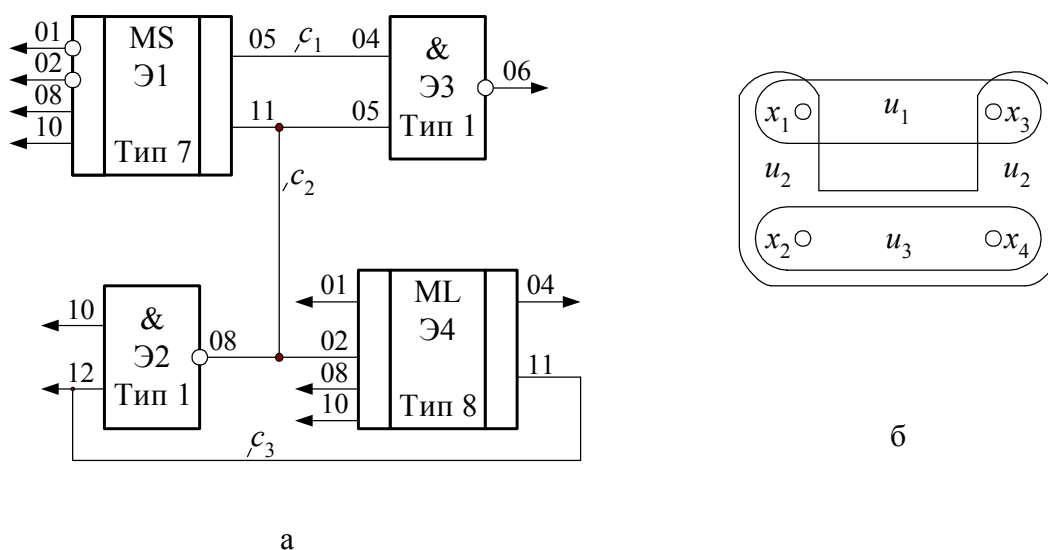


Рис. 2. Фрагмент функциональной схемы (а) и его модель в виде гиперграфа (б)

Матрица предиката  $\Gamma(X, U)$  является матрицей инцидентности гиперграфа  $H(X, U, \Gamma)$ . Элементы этой матрицы определяются по правилу

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Gamma(x_i, u_j) = \text{«истина»}, \\ 0, & \text{если } \Gamma(x_i, u_j) = \text{«ложь»}. \end{cases}$$

Таким образом, матрица инцидентности гиперграфа (рис. 2 б) имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Каждая строка  $i$  матрицы  $A$  является характеристическим вектором одноместного предиката-свойства «ребра, инцидентные вершине  $x_i$ » –  $\Gamma(x_i, U)$ , каждый столбец  $j$  – характеристическим вектором одноместного предиката-свойства «вершины, инцидентные ребру  $u_j$ » –  $\Gamma(X, u_j)$ .

Обозначив характеристические множества предиката  $\Gamma(x_i, U)$  через  $\Gamma x_i = U_i \subseteq U$  и предиката  $\Gamma(X, u_j)$  через  $\Gamma u_j = X_j \subseteq X$ , получим аналитический способ задания гиперграфа в форме

$$H(X, U, \Gamma X, \Gamma U),$$

где  $X$  – множество вершин;

$U$  – множество ребер;

$\Gamma X = \{\Gamma x_i / i = 1, n\}$  – множество множеств,  $\Gamma x_i = U_i$  – множество ребер гиперграфа, инцидентных вершине  $x_i$  (множество цепей схемы  $C_i$ , подсоединенных к элементу  $\varepsilon_i$ ),  $n = |\mathcal{E}|$  – количество элементов схемы;

$\Gamma U = \{\Gamma u_j / j = 1, m\}$  – множество множеств,  $\Gamma u_j = X_j$  – множество вершин гиперграфа, инцидентных ребру  $u_j$  (множество элементов схемы, соединенных цепью  $c_j$ ),  $m = |C|$ .

Идентификация элементов с точностью до вывода при аналитическом представлении гиперграфа может быть обеспечена присваиванием весов, характеризующих эти выводы, вершинам, инцидентным ребрам. Гиперграф (рис. 2 б) этим способом будет задан:

$$\begin{aligned} X &= \{x_1, x_2, x_3, x_4\}; & U &= \{u_1, u_2, u_3\}; \\ \Gamma x_1 = U_1 &= \{u_1, u_2\}, & \Gamma u_1 = X_1 &= \{x_1, x_3\}, & K_1 &= \{5,4\}, \\ \Gamma x_2 = U_2 &= \{u_2, u_3\}, & \Gamma u_2 = X_2 &= \{x_1, x_2, x_3, x_4\}, & K_2 &= \{11,8,5,2\}, \\ \Gamma x_3 = U_3 &= \{u_1, u_2\}, & \Gamma u_3 = X_3 &= \{x_2, x_4\}, & K_3 &= \{12,11\}; \\ \Gamma x_4 = U_4 &= \{u_2, u_3\}. \end{aligned}$$

В математической модели монтажного пространства с учетом метрических параметров, характеристик и топологических свойств объекта, его элементов и связей между ними должны быть формальным образом заданы возможные позиции реализации фрагментов соединений или элементов объекта.

Монтажное пространство конструктивных модулей средств ЭВТ обычно имеет прямоугольную форму. Для типовой конструкции, начиная с субблока и выше, а также в матричных больших интегральных схемах характерно регулярное монтажное пространство, которое в наибольшей степени удовлетворяет требованию конструктивно-технологической унификации.

Позиции установки типовых конструкций предыдущего ранга фиксированы и имеют постоянный шаг.

При разработке топологии ИС и заказных БИС и проектировании субблока на разногабаритных элементах нельзя заранее зафиксировать позиции для размещения элементов. Монтажное пространство в этом случае является нерегулярным.

В качестве математической модели монтажного пространства используется неориентированный граф решетки  $G_r$ .

Каждую плоскость монтажного пространства разбивают на элементарные площадки, стороны которых равны шагу установки элемента или проложения проводника по соответствующему направлению (для печатного монтажа элементарная площадка – квадрат).

Каждой элементарной площадке ставят в соответствие вершину графа решетки.

Две вершины соединены ребром, если между соответствующими элементарными площадками может быть проведено соединение с учетом метрических параметров и топологических свойств элементов или конструктивных модулей, устанавливаемых в данном монтажном пространстве.

Для регулярного монтажного пространства (рис. 3 а) в качестве модели поля размещения может быть использован граф решетки (рис. 3 б), вершины которого сопоставлены установочным позициям типовых конструкций предыдущего уровня.

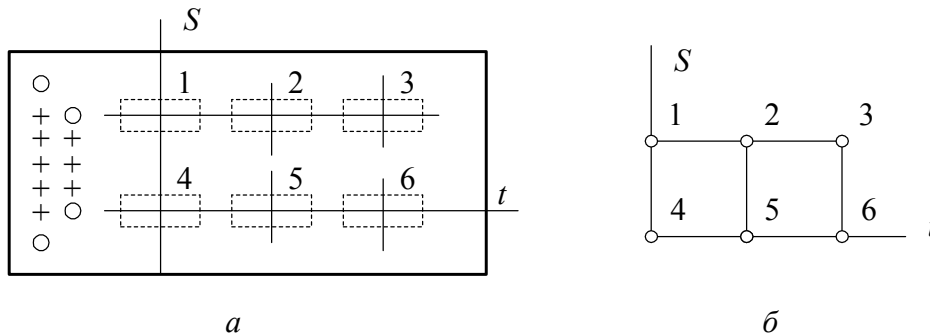


Рис. 3. Плата субблока (а) и модель поля размещения (б)

Модель монтажного пространства фрагмента верхнего слоя печатной платы (рис. 4 а) с ортогональным монтажом при запрещении проведения проводников под микросхемами показана на рис. 4 б.

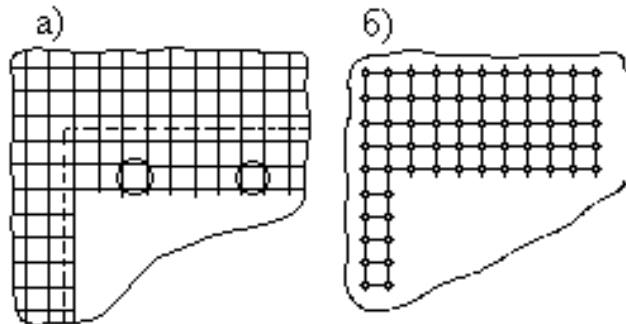
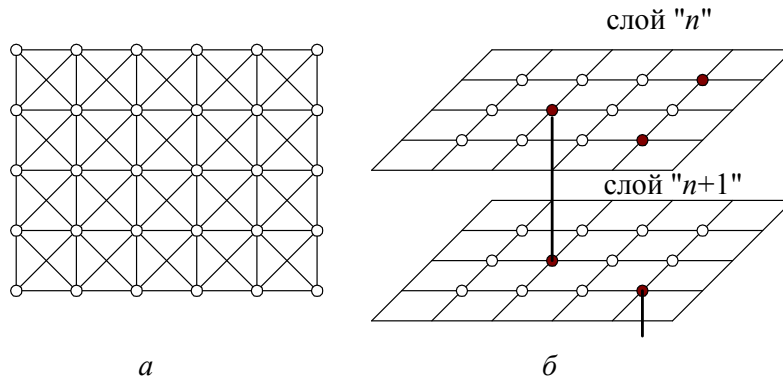


Рис. 4. Фрагмент верхнего слоя печатной платы (а), модель его монтажной плоскости (б)



Если проводники разрешается проводить под углом  $45^\circ$ , каждой вершине может быть инцидентно восемь ребер (рис. 5 а). Фрагмент математической модели монтажного пространства многослойной печатной платы показан на рис. 5 б, где вертикальные ребра интерпретируют межслойные переходы.



**Рис. 5.** Фрагмент графа трасс: для трассировки под углами  $45^\circ$  и  $90^\circ$  (а), для многослойных печатных плат (б)

## 5. Постановка задачи размещения

В общем виде задача размещения заключается в определении оптимального в смысле некоторого критерия положения элементов и связей между ними в монтажном пространстве типовой конструкции. При этом должны быть удовлетворены заданные конструктивно-технологические ограничения. Тогда задачу размещения можно сформулировать как задачу целочисленного программирования, однако из-за большой размерности ее практическая реализация нецелесообразна. Задачу размещения условно разбивают на две: размещение конструктивных элементов и трассировка связей между ними.

При таком подходе задача размещения сводится к нахождению оптимального положения элементов и внешних контактов в монтажной области типовой конструкции. В ряде алгоритмов размещение элементов выполняется без учета их связей с внешними выводами, поэтому элементы, имеющие связи с внешними выводами, могут оказаться на значительном удалении от них, что затруднит последующую трассировку соединений.

Исходные данные для задачи размещения: схема соединения элементов, метрические параметры и топологические свойства монтажного пространства. Для типовых конструкций ЭВМ с регулярным монтажным пространством задачу размещения можно сформулировать следующим образом. Имеются множество конструктивных элементов  $\mathcal{E} = \{e_i / i=1, N\}$  и множество соединяющих их цепей  $\mathcal{C} = \{c_k / k=1, K\}$ . Монтажное пространство определено множеством фиксированных позиций для установки элементов  $\mathcal{T} = \{t_j / j=1, M\}$ , причем  $M \geq N$ . Найти такое отображение множества  $\mathcal{E}$  в множество  $\mathcal{T}$ , при котором достигается экстремум целевой функции  $F$ .

Точное решение комбинаторно-оптимизационной задачи возможно только методом полного перебора.

Главная цель размещения – создание наилучших условий для трассировки. Из-за условности разделения задач размещения и трассировки трудно установить для задачи размещения такой критерий оптимизации, который в достаточной мере удовлетворял бы требованиям трассировки. Известны основные критерии: минимум суммарной длины всех соединений или длины самой длинной связи; минимум числа пересечений связей при произвольной их конфигурации; равномерное распределение связей в монтажном пространстве; максимум числа цепей с возможно более простой конфигурацией; максимально близкое расположение модулей, имеющих наибольшее количество связей между собой. Указанные критерии лишь качественно способствуют решению главной задачи размещения. Наиболее распространен критерий минимума суммарной длины соединений, так как при его оптимизации косвенно минимизируются длина связей и число их пересечений, снижаются искажения сигналов.

Для  $N$  элементов, которые могут быть установлены в  $M$  позиций, существуют множество размещений  $A = \{a_l / l=1, L\}$ , их количество

$$L = \begin{cases} M!/(M-N)! & \text{при } M > N, \\ M! & \text{при } M = N. \end{cases}$$

В связи с этим поиск оптимального варианта размещения полным перебором нецелесообразен уже при  $N=15\dots 20$ . В дальнейшем будем полагать, что  $M=N$ . Если число элементов меньше числа позиций, можно ввести  $M-N$  фиктивных элементов.

Алгоритмы размещения можно свести в основные группы: алгоритмы решения задач математического программирования, являющихся моделями задачи размещения; последовательные алгоритмы; итерационные алгоритмы; алгоритмы, использующие непрерывно-дискретные методы оптимизации и генетические алгоритмы.

## **6. Последовательные алгоритмы размещения**

Решающее правило большинства последовательных алгоритмов размещения по связности основано на предположении, что наиболее связанные элементы следует располагать максимально близко друг к другу. На каждом шаге алгоритма в соответствии с некоторой оценкой выбирают очередной элемент и позицию для его установки. Выбор элемента и позиции можно осуществлять отдельно (по разным оценкам) или одновременно. Более просты алгоритмы, реализующие принцип отдельного выбора. Позиции некоторых элементов могут быть заранее указаны разработчиком исходя из схмотехнических требований. Например, мощные элементы с большим коэффициентом разветвления следует располагать в первом ряду от выходных контактов платы субблока. Если фиксированных элементов нет, то должно быть задано правило выбора начального элемента и пози-

ции его установки. Например, начальное размещение можно получить установкой в центральную позицию элемента с максимальным числом связей или в ряду позиций, ближайших к контактной группе элементов, имеющих максимальную связность с нею.

Рассмотрим алгоритмы, использующие принцип отдельного выбора элемента и позиции его установки. На основании оценки степени связности элементов определяют очередную размещаемый элемент, затем по оценке качества позиции – место установки. Для выбора размещаемого элемента используют различные оценки степени связности. Рассмотрим некоторые из них.

Пусть на  $k$ -м шаге алгоритма размещено  $\mathcal{E}_k \subset \mathcal{E}$  элементов, т.е. имеется некоторое частичное размещение. Множества элементов  $\mathcal{E}$  и установочных позиций  $T$  распадаются на непересекающиеся подмножества размещенных элементов и занятых ими позиций  $\mathcal{E}_k$  и  $T_k$  соответственно и неразмещенных элементов и свободных позиций  $\mathcal{E} \setminus \mathcal{E}_k$  и  $T \setminus T_k$  соответственно. Основными решающими правилами для выбора элемента на  $(k+1)$  шаге алгоритма являются максимумы связности с предыдущим размещенным элементом, суммарной связности со всеми размещенными элементами, разности связей с размещенными и неразмещенными элементами (оценка показателей связности будет рассмотрена ниже).

Выбор позиции для установки очередного элемента должен вести к минимизации критерия размещения. При использовании критерия минимума суммарной длины соединений наиболее простой оценкой качества позиции является часть цены назначения  $i$ -го элемента в  $j$ -ю позицию, отражающая суммарную длину его связей с уже размещенными элементами.

**Последовательный алгоритм размещения при представлении схемы гиперграфом.** В качестве модели схемы будем использовать гиперграф, который является адекватной моделью схемы в смысле правильности оценки количества связей между элементами и частями схемы; модель монтажной плоскости печатной платы – граф решетки. Вершины графа решетки сопоставлены установочным позициям элементов схемы  $T$ .

Гиперграф будем задавать аналитически в форме

$$H(X, U, GX, GU),$$

где  $GX = \{Gx_i / i = 1, n\}$ ,  $Gx_i = U_i$  – множество ребер гиперграфа, инцидентных вершине  $x_i$  (множество цепей схемы  $C_i$ , подсоединенных к элементу  $z_i$ ),  $n = |\mathcal{E}|$  – количество элементов схемы;

$GU = \{Gu_l / l = 1, m\}$ ,  $Gu_l = X_l$  – множество вершин гиперграфа, инцидентных ребру  $u_l$  (множество элементов схемы, соединенных цепью  $c_l$ ),  $m = |C|$ .

На  $k$ -м шаге алгоритма  $X_k$  и  $X \setminus X_k$  – подмножества вершин гиперграфа, сопоставленные размещенным и неразмещенным элементам схемы соответственно. Рассмотренные выше правила выбора очередного размещаемого элемента имеют вид

$$\begin{aligned} & \max_{x_i \in X_k} r(x_i, x_{jk}), \\ & \max_{x_i \in X_k} \sum_{x_j \in X_k} r(x_i, x_j), \end{aligned} \quad (1)$$

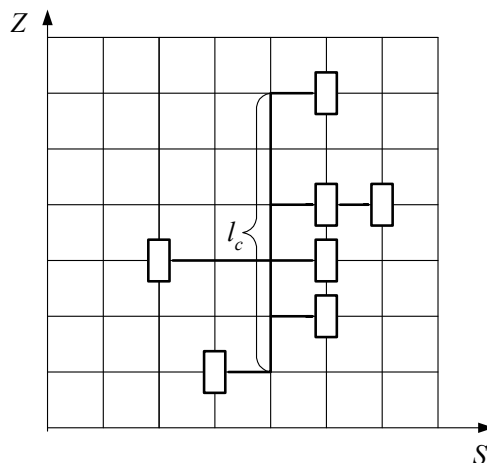
$$\max_{x_i \in X_k} \left\{ \sum_{x_j \in X_k} r(x_i, x_j) - \sum_{x_j \in X \setminus X_k} r(x_i, x_j) \right\},$$

где  $x_{jk} \in X_k$ ,  $x_{jk}$  – вершина, соответствующая последнему размещенному элементу;

$r(x_i, x_{jk})$  – суммарное количество ребер  $u_i \in \Gamma x_i$ , для которых выполняется условие  $x_i, x_{jk} \in \Gamma u_i$ .

В качестве оценки для выбора позиции будем использовать суммарную длину цепей, связывающих размещаемый элемент со всеми уже размещенными в ортогональной метрике. Достаточно точной оценкой цепи является длина минимального покрывающего дерева. Дерево строится на вершинах графа решетки, в которые отображены вершины ребра гиперграфа, сопоставленные размещенным и размещаемому элементам схемы. Для точного решения задачи построения минимальных ортогональных соединяющих деревьев необходимы большие затраты времени.

При выборе позиции сумму длин деревьев используют для сравнительной оценки, поэтому вместо минимального будем строить ортогональное покрывающее дерево, вид которого показан на рис. 6. Исходя из известных координат вершин графа решетки, длину дерева можно рассчитать как сумму длины «ствола»  $l_c$  – максимального по оси  $S$  или  $Z$  расстояния между наиболее удаленными вершинами ребра гиперграфа и всех ортогональных ему ветвей. Для данного рисунка  $L_g = 13$ . В описанном ниже алгоритме для выбора элемента использовано выражение (1), правила оценки длины ортогонального покрывающего дерева очевидны из рис. 6.



**Рис. 6.** Оценка длины цепи по ортогональному покрывающему дереву

Основные пункты последовательного алгоритма размещения по гиперграфу схемы:

1. Для текущей вершины  $x_i \in X \setminus X_k$  определяем множество инцидентных ей ребер:  $U_i = \Gamma x_i$ .

2. Находим множество вершин, входящих в каждое ребро:  $(\forall u_i \in U_i) X_i = \Gamma u_i$ .

3. Для рассматриваемой вершины  $x_i$  подсчитываем, например, показатель  $\sum_{x_j \in X \setminus X_k} r(x_i, x_j)$  как количество ребер  $u_i \in U_i$ , для которых выполняется условие  $X_i \cap X_k \neq \emptyset$ .

4. Повторяем пп. 1 – 3 для  $\forall x_j \in X_k$ .

5. Выбираем очередную размещаемую вершину по правилу (1) и переходим к определению позиции для установки соответствующего элемента.

6. Формируем множество  $X_i' = \{x_i \in X_i \& x_i \in X_k\}$ , т.е. из множества вершин, которые входят в ребро  $u_i$  ( $X_i = \Gamma u_i$ ), выделяем подмножество, соответствующее размещенным элементам, принадлежащим цепи  $s_i$ .

7. Проверяем  $|X_i'| = 1$ . Если условие выполняется, то определяем  $L_i = |Z_i - Z_f| + |S_i - S_f|$ , где  $Z_i, S_i$  – координаты элемента  $x_i \leftrightarrow x_i$  ( $x_i \in X_i'$ ),  $Z_f, S_f$  – координаты позиции  $t_f \in T \setminus T_k$ . Переходим к п. 13, иначе – к п. 8 (условие  $|X_i'| = 1$  означает, что цепь  $s_i \leftrightarrow u_i$  связывает всего два элемента – размещаемый и один из размещенных).

8. Находим множество  $T_j \subseteq T_k$  позиций, в которых установлены элементы  $x_j \leftrightarrow x_j$ , где  $x_j \in X_i'$ .

9. Для множества  $T_j \cup t_f$  подсчитываем  $\Delta Z_{\max} = Z_{\max} - Z_{\min}$ ,  $\Delta S_{\max} = S_{\max} - S_{\min}$  и определяем  $l_c = \max(\Delta Z_{\max}, \Delta S_{\max})$ .

10. Разбиваем множество  $\{T_j \cup t_f\}$  на подмножества  $T_p$  такие, что для каждого элемента  $t \in T_p$  верно

$$Z = \text{const}, S = \text{var}, \text{ если } l_c = \Delta Z_{\max},$$

или

$$S = \text{const}, Z = \text{var}, \text{ если } l_c = \Delta S_{\max}.$$

11. Для каждого подмножества  $T_p$  определяем  $\Delta l_p$  – длину ветви, соединяющей «ствол дерева» и вершины, отображенные в позиции  $t \in T_p$ . Если  $l_c = \Delta Z_{\max}$ , то

$$\Delta l_p = S_{p\max} - S_{p\min} \text{ при } |T_p| > 1 \text{ и } S_{p\min} \leq S_c \leq S_{p\max},$$

$$\Delta l_p = S_{p\max} - S_c \text{ при } |T_p| > 1 \text{ и } S_{p\min} > S_c,$$

$$\Delta l_p = S_c - S_{p\min} \text{ при } |T_p| > 1 \text{ и } S_c > S_{p\max},$$

$$\Delta l_p = |S_p - S_c| \text{ при } |T_p| = 1,$$

где  $S_{p\max}, S_{p\min}$  – соответственно максимальная и минимальная координаты позиций подмножества  $T_p$  по оси  $S$ ;

$S_c, S_p$  – соответственно координаты «ствола» дерева и позиции  $t_p$  ( $T_p = \{t_p\}$ ) по той же оси.

Для случая  $l_c = \Delta S_{\max}$  формулы для  $\Delta l_p$  имеют аналогичный вид применительно к координате  $Z$ .

12. Подсчитываем длину покрывающего дерева, соответствующего ребру  $u_i$ :

$$L_i = l_c + \sum_{p=1}^P \Delta l_p,$$

где  $P = |\{T_p\}|$ .

13. Повторяем пп. 6 – 12 для  $\forall u_i \in U_i$ , суммируя  $L_i$ , т.е. подсчитываем суммарную длину связей элемента  $x_i \leftrightarrow x_j$  при условии установки его в позицию  $t_f$  со всеми уже размещенными элементами:

$$L_f = \sum_{u_i \in U_i} L_i.$$

14. Повторяем пп. 6 – 13 для  $\forall t_f \in T \setminus T_k$ .

15. Определяем позицию  $t_j$ , для которой  $L_j = \min_{t_f \in T \setminus T_k} \{L_f\}$ .

16. Заносим вершину  $x_i$  в множество  $X_k$ , а позицию  $t_j$  в множество  $T_k$ :

$$X_k = X_k \cup x_i, \quad T_k = T_k \cup t_j.$$

17. Проверяем, все ли элементы размещены:  $X_k = \emptyset$ . Если условие выполняется, то переходим к п. 18, иначе – к п. 1.

18. Конец работы алгоритма.

Аналогичные алгоритмы можно использовать для размещения разногабаритных элементов, размеры которых кратны или близки к кратным. Шаг установки элементов выбирают в соответствии с размерами наименьшего конструктивного элемента (рис. 7). При размещении элемента, у которого хотя бы один размер больше размера позиции, в алгоритме необходимо проверять возможность установки элемента в рассматриваемую позицию. После размещения такого элемента в список занятых заносят все покрываемые им позиции. Алгоритмы последовательного размещения отличаются высоким быстродействием, но, как правило, приводят не к оптимальным, а лишь к локально-оптимальным результатам.

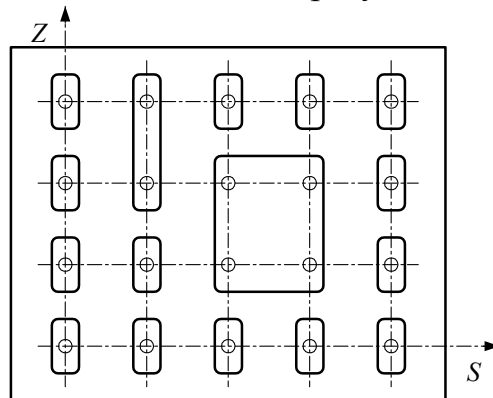


Рис. 7. Субблок с элементами кратных размеров

## 7. Общая постановка задачи трассировки

Трассировка заключается в определении конкретной геометрии печатного или проводного монтажа, реализующего соединения между эле-

ментами схемы. Исходными данными для трассировки являются: список цепей, метрические параметры и топологические свойства конструктивного модуля и элементов схемы, результаты решения задачи размещения, по которым находят координаты выводов элементов. Формальная постановка задачи трассировки и методы ее решения в значительной степени зависят от вида монтажа (проводной или печатный) и конструктивно-технологических ограничений, определяющих метрические параметры и топологические свойства монтажного пространства.

В типовых конструкциях, начиная с блока и выше, довольно широко используется проводной монтаж, что объясняется высокой трудоемкостью проектирования и сложностью изготовления печатного монтажа, изготовление которого усложняется с увеличением размеров коммутационных плат, а его надежность падает. Проводной монтаж может осуществляться по прямым, соединяющим выводы элементов, или с помощью жгутов, которые прокладывают в специальных каналах. Основные ограничения – количество проводников, которые можно подсоединять к одному выводу (обычно не более трех), и число проводов в каждом жгуте – *пропускная способность канала*.

**Трассировка проводного монтажа.** Определяется порядок соединения выводов в соответствии с принципиальной электрической схемой и с учетом заданных ограничений. Критерием качества, как правило, является минимум суммарной длины соединений. Нахождение порядка соединения выводов элементов внутри цепи сводится к задаче построения на фиксированных вершинах минимального покрывающего или связывающего дерева. Будем использовать модель схемы в виде графа, в котором выводам элементов сопоставлены вершины. Таким образом, каждая цепь представляется отдельной компонентой связности. Необходимо построить минимальные покрывающие деревья на тех компонентах связности, число вершин в которых больше двух. Напомним, что в результате размещения элементов определены координаты их выводов в соответствующей метрике, т.е. вершины компонент связности отображаются в граф решетки монтажного пространства.

На  $n$  вершинах (выводах) можно построить  $t=n^{n-2}$  различных деревьев, следовательно, рассматриваемая задача является комбинаторно-оптимизационной. Алгоритмы Прима и Краскала обеспечивают получение точного решения за время, пропорциональное квадрату количества соединяемых выводов.

**Трассировка при печатном монтаже.** В монтажном пространстве, представляющем собой совокупность коммутационных плоскостей, определены координаты конструктивных элементов и их выводов; заданы метрические параметры и топологические свойства монтажного пространства (ширина проводников и зазоров между ними, координаты и размеры контактных площадок, число слоев многослойных печатных плат и переходы

со слоя на слой, координаты и размеры областей, запрещенных для трассировки). Множество цепей принципиальной схемы разбивает множество  $B$  выводов элементов на непересекающиеся подмножества  $B_i$  так, что  $B = \{B_i / i = 1, M\}$ ,  $B_i = \{b_i, k = 1/k_i\}$ , где  $M$  – число цепей;  $k_i$  – число контактов, соединяемых  $i$ -й цепью.

Монтажное пространство представлено множеством  $E = \{E_r / r = 1, R\}$  слоев печатной платы (рис. 8).

Необходимо реализовать множество  $B$  в виде множества  $A = \{A_i\}$  областей монтажного пространства, т.е. выполнить отображение  $B \rightarrow A = \{A_i\}$  так, чтобы  $\forall A_i, A_j \in E_r (A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j)$ ,  $r = 1, R$ , при выполнении условий:

- $\bigcup_{i=1}^M A_i \in E$  – соединения выполняются в монтажной области;
- $\forall A_i, A_j \in E_r (\rho(A_i, A_j) \geq \rho_0)$  – расстояние между проводниками не должно быть меньше  $\rho_0$ ;
- $d(A_i) \geq d_0$  – ширина проводника не должна быть меньше допустимой;
- $\forall b_{ik} \rightarrow a_{ik} \in A_i$  – все контакты  $i$ -цепи должны лежать на  $i$ -м проводнике;
- $(\forall A_i \in E_r) (\forall A_i \in E_t) (A_i \cap A_i \geq D_k)$  – если необходимо выполнить переход со слоя на слой, пересечение областей должно иметь размер, достаточный для конструктивной реализации межслойного перехода, где  $D_k$  – диаметр контактной площадки.

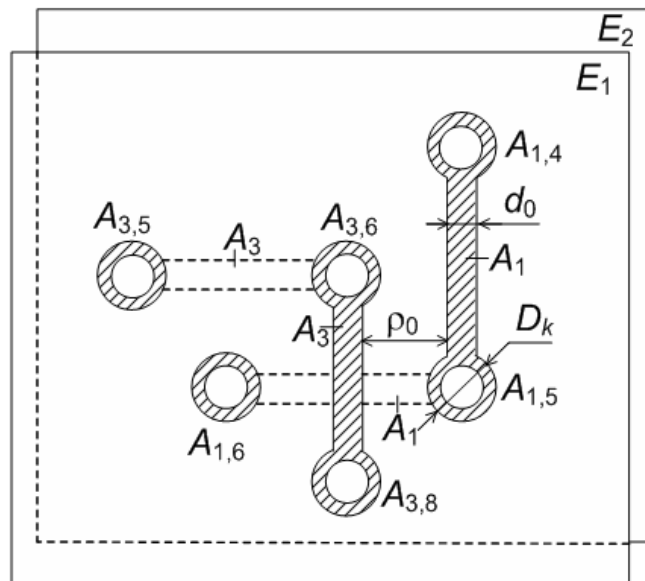


Рис. 8. Реализация соединений в монтажном пространстве печатной платы



Задача одновременной оптимизации всех соединений пока не решена, поэтому трассировка сводится к последовательному построению бесперекрестного леса, каждое дерево которого реализует соответствующую электрическую цепь, и определению конфигурации соединения. Система покрывающих деревьев должна быть размещена в монтажном пространстве типовой конструкции, заданном своей математической моделью.

Трассировка печатных соединений предполагает выполнение этапов:

1. Определение порядка соединения выводов внутри цепи.
2. Распределение соединений по слоям печатной платы.
3. Нахождение последовательности проведения соединений в каждом слое.
4. Получение конфигурации проводников.

При решении задачи трассировки используются основные критерии:

- 1) минимум суммарной длины всех проводников;
- 2) минимум числа их пересечений;
- 3) минимум изгибов проводников;
- 4) минимум числа слоев многослойных печатных плат (МПП) и переходов со слоя на слой;
- 5) минимальная длина параллельных участков соседних проводников;
- 6) равномерное распределение проводников по монтажной области.

Критерий 1 приводит к уменьшению задержки распространения сигналов по линиям связи, критерии 2, 3 и 4 повышают надежность и технологичность печатной платы, 5 и 6 увеличивают помехоустойчивость конструктивной реализации схемы и вероятность проведения всех трасс. Указанные критерии не удается объединить в обобщенный показатель качества, поэтому на каждом этапе трассировки для конкретной технологии учитывается один наиболее важный критерий или указывается их приоритет.

*Определение порядка соединения выводов внутри цепи.* Задача сводится к построению минимального связывающего дерева. При печатном монтаже соединения можно выполнять не только по выводам, но и в любой точке проводника. Поэтому построение минимального связывающего дерева формулируется как задача Штейнера: к множеству  $P = \{p_i / i = 1, n\}$  основных точек добавить множество  $Q = \{q_j / j = 1, m\}$  дополнительных точек и построить покрывающее дерево минимальной длины. Здесь множество  $P$  основных точек сопоставлено выводам цепи, а дополнительные точки представляют собой места соединений типа проводник – проводник. При определении положения дополнительных точек можно рассматривать только узлы координатной решетки, построенной на  $n$  заданных точках. Тогда число таких точек  $|Q| \leq n - 2$ . Точное решение задачи Штейнера для реальных цепей требует больших затрат машинного времени.

*Распределение соединений по слоям.* В результате выполнения первого этапа трассировки электрическая цепь представляется минимальным покрывающим деревом, являющимся плоским графом. Однако совокупность

минимальных деревьев (лес) может иметь пересечения между ребрами, принадлежащими разным деревьям, так как последние строятся на фиксированных вершинах и существуют ограничения на трассировочные ресурсы, определяемые размерами монтажного поля, шириной проводников, зазоров между ними и наличием областей, запрещенных для трассировки. В то же время в каждом слое печатные проводники не должны пересекаться.

При ортогональной трассировке возможно распределение соединений по двум слоям. Каждая цепь представляется в виде ортогонального покрывающего дерева, вертикальные ветви которого проводятся в одном слое, горизонтальные – в другом. В узлах дерева необходимо делать межслойные переходы. Количество переходов оказывается весьма большим, что ухудшает механические параметры печатной платы и снижает надежность схемы. Необходимо иметь в виду, что не все соединения могут быть реализованы из-за ограничений на трассировочные ресурсы.

При трассировке по произвольным направлениям может быть поставлена задача разбиения графа схемы на минимальное количество плоских суграфов или подграфов, каждый из которых реализуется в своем слое. Основная трудность при такой постановке заключается в построении модели схемы, точно отображающей связность элементов и их топологические свойства.

Распределение соединений по слоям может быть сформулировано как задача правильной раскраски вершин графа пересечений. Предполагаем, что соединение полностью выполняется на одном слое. При ортогональной трассировке на вершинах каждой цепи строится минимальный охватывающий прямоугольник. Считается, что два соединения пересекаются, если перекрываются соответствующие им прямоугольники.

При представлении цепи минимальным покрывающим деревом необходимо определять, пересекается ли каждая пара ветвей этих деревьев. Для пары ветвей при известных координатах вершин составляются уравнения прямых линий. Исследуя эти уравнения методами аналитической геометрии, определяют возможность пересечения соответствующих соединений.

Вершины графа пересечений сопоставляются соединениям, ребра устанавливают возможность их пересечения. Раскраска вершин графа будет правильной, если никакие смежные вершины не окрашены одним цветом. Минимальное количество цветов, которое необходимо для правильной раскраски, определяет число слоев МПП.

Перекрывание прямоугольников, построенных на вершинах цепей, или пересечение минимальных покрывающих деревьев еще не означает, что соответствующие цепи нельзя протрассировать на одном слое без пересечений.

При учете возможности проведения «конфликтующих» проводников без пересечения за счет огибания распределение соединений по слоям мо-

жет быть сделано путем объединения проводников, идущих под некоторым углом друг к другу, в группы. Каждая такая группа затем трассируется в своем слое.

*Нахождение последовательности проведения соединений.* Трассировка цепей выполняется последовательно, и каждая проложенная трасса является препятствием для всех непроведенных. В связи с этим большое значение приобретает задача нахождения последовательности проведения соединений в каждом слое. Сформулируем условия отсутствия пересечений двух ребер и методику определения последовательности их проведения.

Рассмотрим два ребра  $u(i,j)$  и  $u(k,p)$ . Уравнения в параметрической форме для этих ребер имеют вид

$$\begin{cases} t = \lambda \cdot t(i) + (1 - \lambda) \cdot t(j), \\ S = \lambda \cdot S(i) + (1 - \lambda) \cdot S(j), \end{cases} \quad \begin{cases} t = \mu \cdot t(k) + (1 - \mu) \cdot t(p), \\ S = \mu \cdot S(k) + (1 - \mu) \cdot S(p), \end{cases}$$

где

$$\lambda = \frac{((t(k) - t(p)) \cdot (S(j) - S(p)) - (S(k) - S(p)) \cdot (t(j) - t(p)))}{((t(k) - t(p)) \cdot x(S(j) - S(i)) - (S(k) - S(p)) \cdot (t(j) - t(i)))};$$

$$\mu = \frac{((t(j) - t(p)) \cdot (S(j) - S(i)) - (S(j) - S(p)) \cdot (t(j) - t(i)))}{((t(k) - t(p)) \cdot x(S(j) - S(i)) - (S(k) - S(p)) \cdot (t(j) - t(i)))}.$$

Ребра пересекаются, если  $0 \leq \lambda \leq 1$ ,  $0 \leq \mu \leq 1$ .

На основании этого условия определяется список пересекающихся ребер. Непересекающиеся ребра можно трассировать в произвольном порядке. Для определения последовательности проведения пересекающихся ребер составляют уравнения удлинения при огибании, считая, что огибающий проводник может проходить сколь угодно близко от вершины. Уравнения составляются для всех пар пересекающихся ребер. Для каждого ребра подсчитывается число огибаний и удлинение. Список ребер ранжируется в порядке возрастания числа огибаний. Если у некоторых групп ребер число огибаний одинаково, то первыми проводятся ребра с меньшим удлинением.

Так как пересечение рассматривается только для пары ребер, необходимо дополнительно проверять отсутствие пересечений с другими близлежащими ребрами.

В заключение отметим, что при выполнении соединения полностью в одном слое возрастает средняя длина проводников за счет огибаний.

## 8. Алгоритмы решения задачи трассировки

После выполнения первых трех этапов трассировки множество точек каждой цепи разбито на подмножества пар точек и определен порядок их соединения. При использовании описанной в разделе 4 модели монтажного

пространства построение отрезка печатного проводника, соединяющего очередную пару точек, сводится к нахождению кратчайшего пути между вершинами графа монтажного пространства, которые сопоставлены этим точкам цепи.

**Волновой алгоритм.** Большинство алгоритмов построения конфигурации печатных проводников используют идеи волнового алгоритма Ли, который представляет собой процедуру нахождения кратчайшего пути в графе. Рассмотрим основные положения метода, используя для наглядности дискретное рабочее поле (ДРП). В работе Ли плоскость монтажа разбивается на элементарные квадраты со стороной, равной расстоянию между осями соседних печатных проводников. При использовании ДРП для описания алгоритма Ли включение элементарной ячейки в путь означает проведение печатного проводника, т.е. считаем, что основная координатная сетка смещена на  $h/2$ , чтобы пути следовали из ячейки в ячейку, а не по координатным линиям ДРП. На каждом шаге алгоритма некоторые ячейки являются занятыми, к ним относятся ячейки, попадающие в области, запрещенные для трассировки: краевые поля монтажной платы, зоны размещения элементов и их выводов, ранее проведенные проводники.

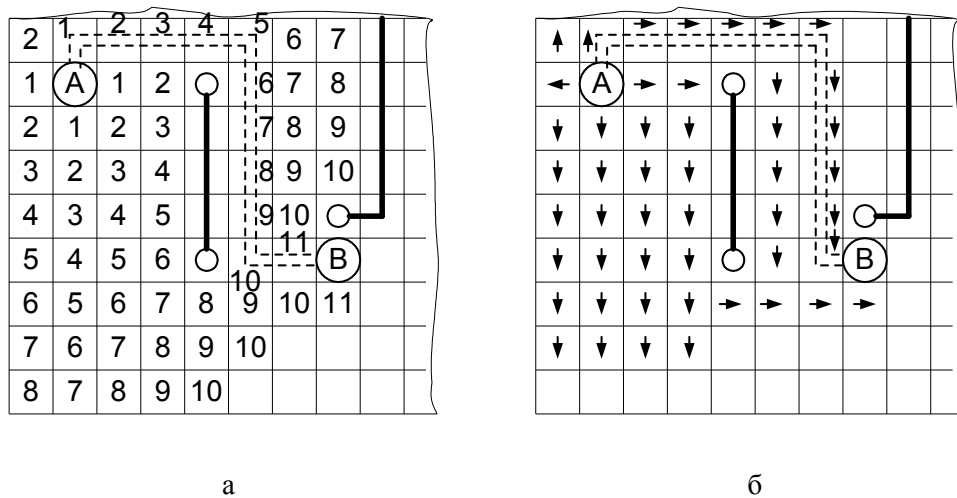
Основой алгоритма Ли является процедура нахождения оптимального в смысле некоторого критерия пути между заданными ячейками  $A$  и  $B$  ДРП при соблюдении ряда условий. Первая часть алгоритма моделирует процесс распространения волны из ячейки  $A$  по свободным ячейкам ДРП. При распространении волны от элементарной площадки  $A$  алгоритм последовательно строит  $\Phi_1(A)$  – первый,  $\Phi_2(A)$  – второй, ...,  $\Phi_k(A)$  –  $k$ -й ее фронты. Множество ячеек, входящих в  $i$ -е фронты, для всех  $i \leq k$  называют  $k$ -й окрестностью ячейки  $A$  –  $O_k(A)$ . Если проведение пути возможно, то на каком-то  $(k+1)$  шаге окажется, что ячейка  $B \in O_{k+1}(A)$ . Если в следующий фронт не удастся включить ни одной свободной ячейки, т.е.  $O_{k+1}(A) = O_k(A)$ , то при данных условиях путь провести невозможно. Таким образом, эта часть алгоритма определяет возможность проведения пути между ячейками  $A$  и  $B$ .

Во второй части алгоритма, начиная с ячейки  $B$ , по определенным правилам выполняется переход от ячейки  $k$ -го фронта к ячейке  $(k-1)$  фронта до ячейки  $A$ . Пройденные ячейки составляют искомым путь.

Условия, которые необходимо выполнить при проведении пути, и возможность оценки его оптимальности должны быть заложены в правила, по которым движется фронт волны. Для ячеек дискретного поля устанавливаются отношения соседства. Распространение волны заключается в присваивании ячейкам, соседним с ячейкой предыдущего фронта, значения весовой функции. Вес ячейки  $k$ -го фронта  $P_k$  является функцией веса ячейки  $(k-1)$  фронта. В общем случае  $k$  весам предъявляется требование  $P_{k-1} \neq P_k \neq P_{k+1}$ .

В большинстве модификаций алгоритма Ли на значения веса накладывается ограничение  $P_k > P_{k-1}$ . В этом случае проведение пути заключается в переходе от ячейки  $B$  к ячейке  $A$  таким образом, чтобы значение  $P_k$  монотонно убывало. При этом возможен вариант, при котором несколько ячеек, соседних данной, имеют одинаковый вес. Для однозначности выбора при учете критерия минимума изгибов проводника следует сохранять направление движения. Если приходится делать поворот, учитывается заранее заданный порядок предпочтительных направлений: вверх, вправо, вниз, влево.

Рассмотрим случай, когда соседними к данной являются ячейки, имеющие с ней общее ребро, а вес ячейки  $k$ -го фронта  $P_k = P_{k-1} + 1$ , т.е. равен расстоянию  $k$ -й ячейки от исходной  $A$  в ортогональной метрике. Волна распространяется из ячейки  $A$ , вес которой считаем равным нулю. Фронт волны доходит до ячейки  $B$  на 12-м шаге (рис. 9 а). В ходе построения пути из ячейки с весом 11 можно перейти в три соседние ячейки с весом 10. Здесь переход осуществляется, сохраняя направление движения. Аналогично происходит переход из ячейки с весом 10. У ячейки с весом 9 есть две соседние ячейки с весом 8. Так как приходится изменять направление движения, переход выполняется по предпочтительному направлению. Поскольку вес  $k$ -й ячейки  $P_k$  был равен ее расстоянию от ячейки  $A$  в ортогональной метрике, найденный путь оптимален в смысле его длины в этой метрике.



**Рис. 9.** Построение пути минимального в ортогональной метрике (а) и по методу путевых координат (б)

Так как алгоритм Ли представляет собой алгоритм нахождения кратчайшего пути в графе, он легко распространяется на многослойный печатный монтаж при использовании модели в виде графа монтажного пространства.

В общем случае весовая функция или критерий качества пути может зависеть от параметров, учитывающих длину пути, число переходов со слоя на слой, степень близости пути к другим и т.д., например в виде аддитивной функции:

$$P_k = \sum a_i \cdot p_i(k),$$

где  $a_i$  – весовой коэффициент, учитывающий важность  $i$ -го параметра;  
 $p_i(k)$  – значение учитываемого параметра.

Однако усложнение функции веса увеличивает объем информации на одну ячейку ДРП и время работы первой части алгоритма. Кроме того, не представляется возможным строго обосновать выбор значений весовых коэффициентов  $a_i$ .

При практической реализации волнового алгоритма важная проблема – сокращение объема памяти, необходимой для запоминания веса ячеек. При вычислении веса ячеек по указанной выше формуле ячейка может быть в следующих состояниях: свободна, занята или имеет вес от единицы до  $L$ , где  $L$  – максимально возможная длина пути, определяемая как количество составляющих его ячеек ДРП. Необходимое для запоминания состояния одной ячейки ДРП число разрядов памяти  $N = \log_2(L + 2)$ .

Наиболее эффективными способами кодирования состояния ячеек ДРП являются метод путевых координат (рис. 9 б), кодирование по модулю 3 и использование базовой последовательности, предложенной Акерсом.

При выборе последовательности ячеек на этапе построения пути по методу путевых координат для каждой ячейки, начиная с  $B$ , в случае соседства по ребрам достаточно знать, от какой соседней ячейки в нее пришла волна: сверху, слева, снизу, справа ( $\downarrow, \rightarrow, \uparrow, \leftarrow$ ). Таким образом, ячейка может иметь признаки: свободна, занята или одну из путевых координат ( $\downarrow, \rightarrow, \uparrow, \leftarrow$ ). Следовательно, число разрядов на кодирование состояния ячеек  $N = \log_2(6) = 3$ . Если в данную ячейку волна приходит из нескольких соседних, то присвоение путевых координат выполняется по заранее заданному правилу приоритетов. При проведении пути достаточно переходить по путевым координатам из ячейки  $B$  в ячейку  $A$ .

Кодирование по модулю 3 базируется на основном требовании к весам:  $P_{k-1} \neq P_k \neq P_{k+1}$ . Ячейкам, включаемым в последовательные фронты, можно присваивать не сами веса, а их значения по модулю 3, т.е. 1,2,3, 1,2,3, ... Количество разрядов на кодирование состояния ячеек  $N = \log_2(5) = 3$ . Проведение пути заключается в отслеживании отметок. Если ячейка имеет несколько соседних с одинаковыми отметками, то используется правило приоритетных направлений.

Для определения последовательности ячеек, составляющих путь, достаточно, чтобы при распространении волны ячейкам присваивались значения отметок из заданной последовательности, в которой каждый член имеет разных соседей слева и справа. В методе Акерса такой последовательностью является 1,1,2,2,1,1,2,2, ... При построении пути находят ячейки, входящие в заданную последовательность. В методе Акерса количество разрядов памяти на ячейку ДРП  $N = \log_2(4) = 2$ . Если построение последовательности возможно по нескольким направлениям, то выбор осуществляют по приоритетам.

Волновой алгоритм характеризуется высокой эффективностью нахождения пути за счет исследования всех свободных ячеек ДРП, но требует значительного времени на распространение волны. В связи с этим используются различные методы ускорения выполнения первого этапа алгоритма. Одним из них является выбор начальной точки. При выборе в качестве источника распространения волны площадки, максимально удаленной от центра платы, просматривается меньшее число свободных ячеек ДРП. Это становится очевидным по мере роста числа протрассированных цепей.

Более эффективен метод встречной волны. Выигрыш во времени пропорционален отношению числа исследуемых ячеек при одновременном распространении волны и распространении волны из одного источника. При непрерывной модели окрестности волны на свободном поле ДРП отношение исследуемых площадей  $M = \pi \cdot r^2 / (2 \cdot \pi (r/2)^2) = 2$ . Для реальных состояний ДРП выигрыш во времени может отличаться, однако в среднем оценка является объективной. Использование данной идеи приводит к усложнению алгоритма.

Поле распространения волны можно уменьшить, ограничивая его прямоугольником, внутри которого находятся соединяемые площадки. Начальная площадь прямоугольника обычно на 10 – 20% больше площади прямоугольника, проходящего через эти площадки. Если соединение найти не удалось, то границы прямоугольника расширяют. Данный метод обладает большей эффективностью ускорения работы алгоритма по сравнению с вышеописанными.

Волновой алгоритм можно использовать при различных стратегиях построения цепей. Выполнение первых трех этапов задачи трассировки подразумевает переход к построению следующей цепи после получения конфигурации текущей или установления невозможности этого. Вследствие того что в цепь могут входить как длинные соединения, так и короткие, при такой стратегии будет нарушен желательный порядок проведения соединений от коротких к длинным. После длинных отрезков одной цепи могут строиться более короткие первые отрезки следующей цепи. Чтобы избежать этого, проводят сначала соединения, стоящие первыми в списках всех цепей, затем вторые и т.д. Данный подход будет более корректным, если после распределения соединений по слоям определить порядок проведения отрезков по всем цепям каждого слоя.

Одна из модификаций алгоритма Ли позволяет исключить этап определения порядка соединения выводов внутри каждой цепи. В этом алгоритме используется метод встречной волны. Из  $n$  элементарных площадок, сопоставленных контактам цепи, одновременно распространяют волны до тех пор, пока не встретятся два фронта. Выполняется вторая часть алгоритма Ли, т.е. строится фрагмент цепи, соединяющий два контакта. Снова распространяются волны, но уже из  $n - 1$  источников.

Алгоритм соединяет две ближайшие ячейки или связанные системы ячеек с учетом преград в виде ранее проведенных соединений.

Другая идея ускорения поиска пути заключается в исследовании не всех свободных ячеек ДРП. Один из таких алгоритмов – лучевой.

**Лучевой алгоритм.** Для площадок А и В задают количество распространяемых лучей и разрешенные направления их движения. При прохождении луча через ячейку ей присваивают путьевую координату. На рис. 10 а показан пример проведения пути двухлучевым алгоритмом, причем лучу  $A_1$  разрешено движение вправо и вниз,  $A_2$  – вниз и вправо,  $B_1$  – вверх и влево,  $B_2$  – влево и вверх. Вероятность нахождения пути этим алгоритмом меньше, чем волновым.

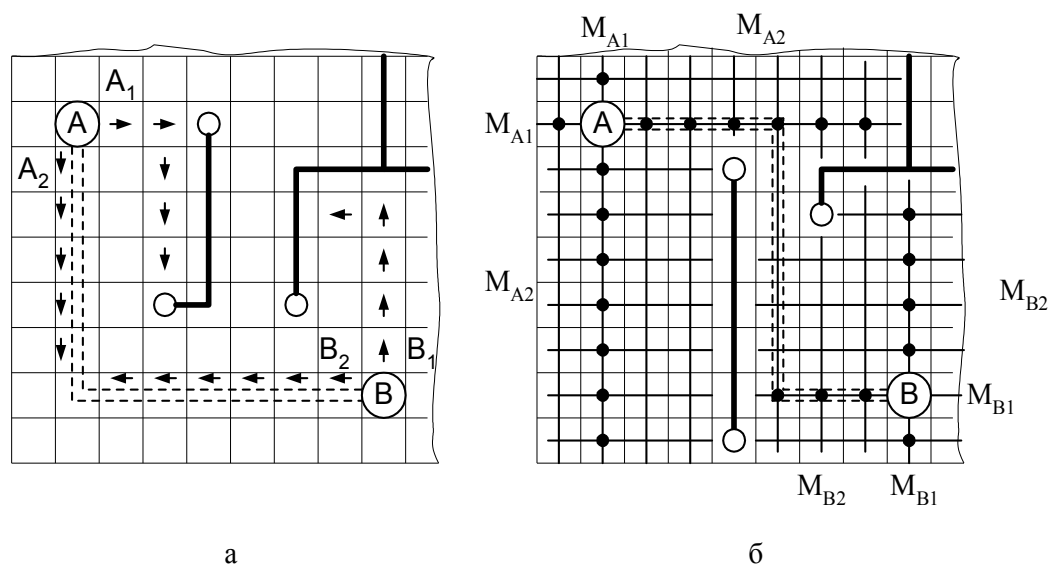


Рис. 10. Пример работы двухлучевого алгоритма (а) и трассировка по магистралям (б)

**Алгоритм трассировки по магистралям** (рис. 10 б). Из площадок А и В по свободным ячейкам ДРП проводят горизонтальные и вертикальные лучи до их встречи или до препятствий. Если магистрали  $M_{A1}$  и  $M_{B1}$  не пересекаются, из ячеек, расположенных на этих магистралях, проводят магистрали второго уровня  $M_{A2}$  и  $M_{B2}$ , причем магистрали  $M_{A2}$  и  $M_{B2}$  ортогональны магистралям  $M_{A1}$  и  $M_{B1}$  соответственно. Путь существует, если магистрали  $M_A$  и  $M_B$  некоторого уровня пересекаются, и не существует в противном случае.

**Алгоритм трассировки на основе представлений о каналах.** В этом алгоритме можно выделить две основные части: распределение отрезков трасс по каналам с учетом их равномерной загрузки и определение положения отрезков на магистралях. В первой части алгоритма для каждой цепи строят возможные на данной системе каналов ортогональные покрывающие деревья, т.е. определяют сеть возможных каналов цепи. При наложении сетей отдельных цепей на основную сеть каналов выбирают те реализации связывающих деревьев, которые обеспечивают равномерную



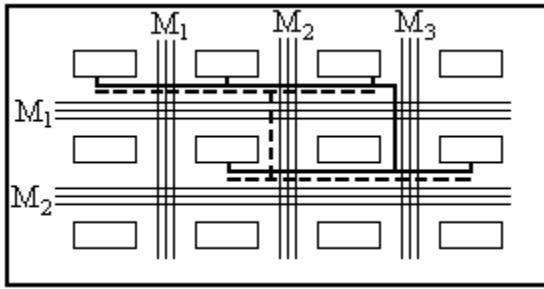


Рис. 11. Монтажная плоскость с сетью каналов

загрузку каналов. Например, при реализации связывающего дерева, показанного на рис. 11 сплошной линией, будет занята часть магистрали третьего вертикального канала, а пунктирной – второго.

В связи с тем что отрезок цепи может занимать не всю длину магистрали, число проводников, назначенных в канал, может превышать число его магистралей.

Во второй части алгоритма для определения положения отрезков на  $n$  магистралях множество  $M$  отрезков, отнесенных к каналу, разбивают на  $K \leq n$  непересекающихся подмножеств  $M_i$ ,  $i \in I = 1, K$ , причем проводники, отнесенные к одной магистрали, т.е. включенные в подмножество  $M_i$ , не должны перекрываться, чтобы не было наложения отрезков разных цепей.

Эффективный алгоритм распределения отрезков по магистралям канала заключается в следующем: 1) упорядочиваем отрезки множества  $M$  по начальной координате; 2) формируем подмножества  $M_i$ , последовательно включая в них те отрезки, у которых начальная координата больше конечной координаты предыдущего отрезка.

Результаты работы первого и второго пунктов алгоритма проиллюстрированы на рис. 12. Здесь множество  $M = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7\}$ , упорядоченное множество  $M^y = \{m_2, m_5, m_3, m_1, m_4, m_6, m_7\}$ , сформированные подмножества  $M_1 = \{m_2, m_1, m_7\}$ ;  $M_2 = \{m_5, m_4\}$ ;  $M_3 = \{m_3, m_6\}$ .

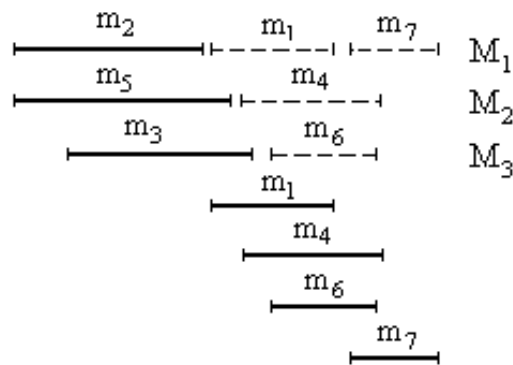


Рис. 12. Упорядочивание отрезков и распределение их по магистралям канала

В практике конструирования используют различные алгоритмы трассировки, которые основаны на описанных выше и других идеях или их комбинациях и нередко содержат дополнительные приемы, имитирующие действия конструктора. Эффективность таких алгоритмов не одинакова при отличающихся конструктивно-технологических ограничениях на монтажное пространство.

## 9. Технология, виды и параметры печатных плат

Основные принципы изготовления и применения печатных схем стали известны в начале XX века, однако промышленный выпуск печатных схем и плат был организован лишь в начале 40-х годов.

С переходом на микроэлектронные элементы, резким уменьшением размеров и возрастанием быстродействия схем первое место занимают вопросы обеспечения постоянства характеристик печатных проводников и взаимного их расположения. Значительно усложнились задачи проектирования и оптимального конструирования печатных плат и элементов.

Печатные платы нашли широкое применение в электронике, позволяя увеличить надёжность элементов, узлов и машин в целом, технологичность (за счёт автоматизации процессов изготовления печатного рисунка, сборки и монтажа), плотность размещения элементов (за счёт уменьшения габаритных размеров и массы), быстродействие, помехозащищённость элементов и схем. Печатный монтаж – основа решения проблемы компоновки микроэлектронных элементов. Особую роль печатные платы играют в цифровой микроэлектронике. В наиболее развитой форме (многослойный печатный монтаж) он удовлетворяет требованиям конструирования вычислительных машин третьего и последующих поколений.

При разработке конструкции печатных плат проектировщику приходится решать следующие задачи: конструктивные (определение размеров и компоновочной схемы), схемно-топологические (размещение, трассировка), радиотехнические (расчёт паразитных наводок), теплотехнические (температурный режим работы платы и элементов) и технологические (выбор метода изготовления).

### 9.1. Классификация методов конструирования печатных плат и узлов

При конструировании ЭВА на печатных платах (ПП) используют два основных принципа конструирования: одноуровневый и многоуровневый. Выбор принципа конструирования определяется возможностями технологии обеспечить необходимый уровень интеграции при данной сложности (количестве элементов) схемы.

*Одноуровневый* (моносхемный) заключается в том, что вся электрическая схема располагается на одной ПП. Принцип применения ограничен, так как очень сложные ПП имеют низкую надёжность, неудобны при настройке и ремонте ЭВА.

*Многоуровневый* принцип применяют при производстве массовой и серийной ЭВА. Он заключается в том, что конструкция ЭВА состоит из модулей нескольких (двух и более) уровней иерархии. Под конструктивным модулем понимается любой узел ЭВА, который по конструктивному оформлению и технологии производства является самостоятельным и имеет стандартные средства электрического и механического сопряжения.

Высокая ремонтпригодность ЭВА при многоуровневом принципе обеспечивается оформлением конструктивных модулей одного из уровней иерархии в виде сменной единицы (типового элемента замены). Многоуровневый принцип конструирования позволяет организовать производство конструктивных модулей по независимым циклам, т.е. обеспечивает специализацию производства, достичь высокой степени унификации и стандартизации узлов и деталей проектируемой ЭВА, автоматизировать и механизировать процессы изготовления и сборки деталей, использовать прецизионное оборудование высокой производительности и прогрессивные технологические процессы. Недостатки принципа: увеличение размеров и массы ЭВА за счет конструктивного оформления и снижение надежности из-за увеличения количества разъемных и паяных соединений.

В соответствии с ГОСТ различают три метода выполнения ПП:

ручной;

полуавтоматизированный;

автоматизированный.

Предпочтительными являются полуавтоматизированный и автоматизированный методы.

## 9.2. Технологии печатных плат

Особенностями производства ЭВМ на современном этапе являются: использование большого количества стандартных элементов; выпуск этих элементов в больших количествах и высокого качества – одно из основных требований производства средств ЭВА; массовое производство стандартных блоков с использованием новых элементов и унификация элементов, что создает условия для автоматизации их производства; высокая трудоёмкость сборочных и монтажных работ. Наиболее сложной и трудоёмкой задачей при конструировании ЭВА являются проектирование и производство печатных плат, что объясняется наличием большого числа соединений и требованием их высокой плотности.

Основным направлением при разработке и создании печатных плат является широкое применение автоматизированных методов проектирования с использованием ЭВМ, что значительно облегчает процесс разработки и сокращает продолжительность всего технологического цикла.

Основные достоинства печатных плат:

увеличение плотности монтажа и возможность микроминиатюризации изделий;

высокая стабильность электрических характеристик;

унификация и стандартизация конструктивных решений;

возможность комплексной автоматизации монтажно-сборочных работ.

Типы производства:

**Еди́нчиное** – производство, при котором изделие выпускается единичными экземплярами. Характеризуется малой номенклатурой изделий, малым объемом партий, универсальным оснащением цехов, рабочими высокой квалификации.

**Серийное** – характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых повторяющимися партиями сравнительно небольшим объемом выпуска. В зависимости от количества изделий в партии различают мелко-, средне- и крупносерийные производства.

**Универсальное** – используется специальное оборудование, которое располагается по технологическим группам, техническая оснастка универсальная, квалификация рабочих средняя.

**Массовое** – характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом изделий, изготавливаемых непрерывно; использованием специального высокопроизводительного оборудования, которое расставляется по поточному принципу. В этом случае транспортирующим устройством является конвейер. Квалификация рабочих низкая.

### 9.3. Виды печатных плат

Основой печатной платы является подложка из стеклотекстолита – диэлектрика, представляющего собой спрессованные листы стеклоткани, пропитанной эпоксидным компаундом (смолой). На поверхности стеклотекстолита находится токопроводящий слой медной фольги (проводник). Типовая толщина проводника 0,035 и 0,018 мм. Этот слой является обязательным для всех классов ПП. После проведения определенных технологических операций остаются только нужные элементы этого проводника (токопроводящие «дорожки», контактные площадки).

В зависимости от того, сколько таких слоев имеет ПП, она может попадать в один из трех нижеприведенных классов:

**Односторонние** (однослойные). Проводник присутствует только на одной стороне ПП.

**Двухсторонние** (двухслойные). Проводник присутствует на обеих сторонах ПП.

**Многослойные**. Представляют собой как бы слоеный пирог из двухсторонних плат, между которыми проложены прокладки из стеклоткани, пропитанной в эпоксидной смоле.

**Гибкие**. Выполняются, как правило, двухсторонними с металлизированными отверстиями и контактными площадками толщиной не более 0,6 мм.

**Рельефные**.

#### 9.3.1. Односторонние печатные платы

Маршрут изготовления односторонних плат фотохимическим способом традиционно включает штамповку, сверление, фотолитографию, трав-

ление медной фольги, защиту поверхности и подготовку к пайке, разделение заготовок. В отличие от современных электронных устройств, даже бытового назначения, для односторонних плат необходимы контурное фрезерование, нанесение защитных маскирующих покрытий, их сборка ведется с посадкой кристаллов непосредственно на плату или поверхностным монтажом.

Общепринято считать первым (верхним) слоем тот, на котором расположены элементы. При двухстороннем размещении элементов за верхний принимается слой, на котором находится соединитель или иные устройства внешней коммутации (монтажные элементы, колодки, платы и т.д.).

Односторонние печатные платы (рис. 13) обеспечивают самую большую точность выполнения проводящего рисунка и совмещения его с отверстиями. Во избежание отслоения печатных проводников все элементы следует монтировать без зазоров между корпусом элемента и печатной платой. Для повышения прочности крепления элементов возможно изготовление односторонних печатных плат с металлизацией отверстий, но их стоимость будет сопоставима с двухсторонними. Односторонние печатные платы благодаря их дешевизне используются преимущественно в бытовой аппаратуре.



Рис. 13. Поперечное сечение односторонней платы

Типовые параметры плат:

максимальные размеры заготовки – 400 x 330 мм;

минимальный диаметр отверстия – 0,6 мм;

минимальная ширина проводника – 0,15 мм;

минимальный зазор – 0,15 мм;

толщина фольги – 36 мкм;

толщина платы – 0,4 – 1,6 мм.

Альтернативой фотохимическому способу изготовления односторонних плат является фрезерование проводящего слоя в медной фольге на двухкоординатных фрезерных станках с ЧПУ. Метод наиболее эффективен при изготовлении прототипов плат, позволяет разработчику получить опытный образец за 1,5 – 2 ч в условиях конструкторского бюро.

### 9.3.2. Двухсторонние печатные платы

В настоящее время двухсторонние платы (рис. 14) составляют значительную долю объёма выпуска плат.

Внимание разработчиков к этому виду плат объясняется своеобразным компромиссом между их относительно малой стоимостью и достаточно высокими возможностями. Технологический процесс изготовления двухсторонних плат, также как односторонних, является частью более общего процесса изготовления многослойных ПП. Однако для двухсторонних плат не требуется применять прессования слоев, значительно проще выполняется очистка отверстий после сверления.

Вместе с тем для большинства двухсторонних плат за рубежом проектные нормы «проводник/зазор» составляют 0,25/0,25 мм (40% от объема выпуска), 0,2/0,2 мм (18%) и 0,15/0,15 мм (18%). Это позволяет использовать такие платы для изготовления широкого круга современных изделий, они вполне пригодны как для монтажа в отверстия, так и для поверхностного монтажа. Нередко на проводники двухсторонних плат наносится золотое покрытие, для металлизации отверстий используется серебро.

Известны две разновидности двухсторонних печатных плат: без металлизации и с металлизацией сквозных отверстий. Первые по многим параметрам соответствуют односторонним платам. Но из-за наличия еще одного слоя (в данном случае – первого) повышается трассировочная способность печатных плат и в определенной степени плотность компоновки элементов. Серьезная проблема таких плат – обеспечение электрических переходов между слоями, для чего применяются заклепки, проволочные перемычки или пайка выводов элементов с двух сторон печатных плат. Все это резко усложняет монтаж и в целом повышает стоимость устройства. Платы первой разновидности обычно используются в любительских и макетных устройствах.

Платы второй разновидности имеют высокую трассировочную способность, обеспечивают высокую плотность монтажа элементов и хорошую механическую прочность их крепления. Они допускают монтаж элементов на поверхности и являются наиболее распространенными в производстве радиоэлектронных устройств.



Рис. 14. Поперечное сечение двухсторонней печатной платы

Типовые параметры двухсторонних плат:

максимальные размеры заготовки – 300 x 250...500 x 500 мм;

минимальный диаметр отверстия – 0,4...0,6 мм;

минимальная ширина проводника – 0,15 мм;

минимальный зазор – 0,15 мм;

толщина фольги – 18...36 мкм;

толщина платы – 0,4 – 2,0 мм.

Отметим, что отечественные разработчики точно так же, как их зарубежные коллеги, закладывают в технические задания на изготовление двухсторонних плат нанесение паяльной маски, маркировку, весьма часто – фрезерование плат по сложному контуру. Как правило, сборка таких плат предусматривает поверхностный монтаж компонентов.

### 9.3.3. Многослойные печатные платы

Многослойные печатные платы (МПП) составляют две трети мирового производства печатных плат в ценовом исчислении, хотя в количественном выражении уступают одно- и двухсторонним платам.

По своей структуре МПП (рис. 15) значительно сложнее двухсторонних плат. Они включают дополнительные экранные слои («земля» и «питание»), а также несколько сигнальных слоев.

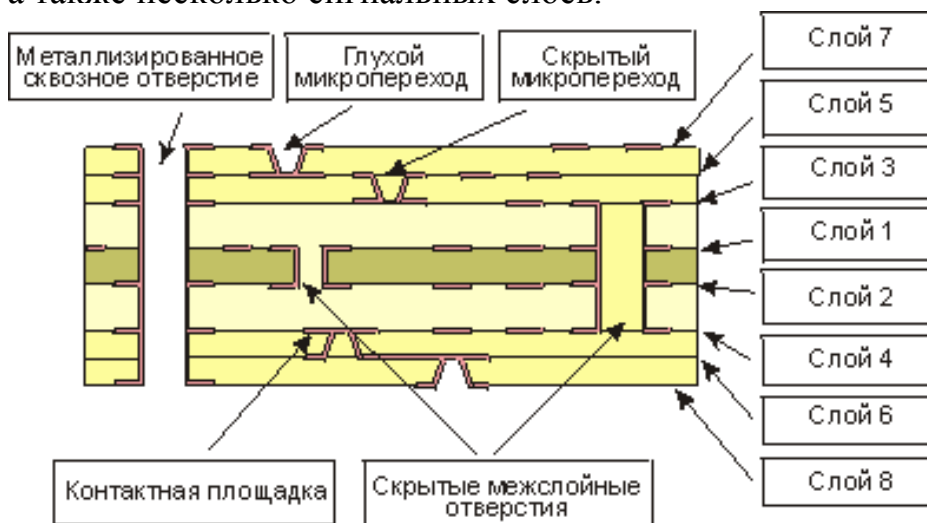


Рис. 15. Многослойная печатная плата

Для обеспечения коммутации между слоями МПП применяются межслойные (**vias**) и микропереходы (**microvias**).

Межслойные переходы могут выполняться в виде сквозных отверстий, соединяющих внешние слои между собой и с внутренними слоями, применяются также глухие и скрытые переходы.

Глухой переход – это соединительный металлизированный канал, видимый только с верхней или нижней стороны платы. Скрытые же переходы используются для соединения между собой внутренних слоев платы. Их применение позволяет значительно упростить разводку плат, например,

12-слойную конструкцию МПП можно свести к эквивалентной 8-слойной коммутации.

Специально для поверхностного монтажа разработаны микропереходы, соединяющие между собой контактные площадки и сигнальные слои (рис. 16).

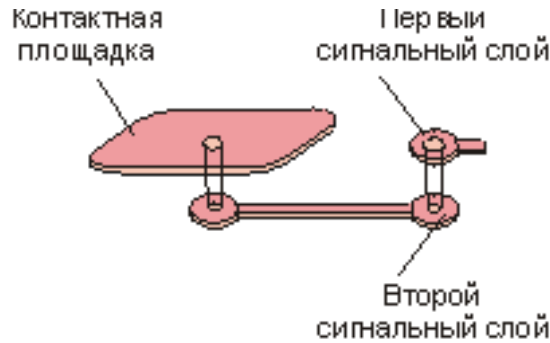


Рис. 16. Микропереходы в контактных площадках

Для изготовления МПП производится соединение нескольких ламинированных фольгой диэлектриков между собой, для чего используются склеивающие прокладки – препреги (рис. 17). Поэтому толщина МПП растет непропорционально быстро с ростом числа сигнальных слоев.

В связи с этим необходимо учитывать большое соотношение толщины платы к диаметру сквозных отверстий. Например, для МПП с диаметром отверстий 0,4 мм и толщиной 4 мм это соотношение равно 10:1, что является весьма жестким параметром для процесса сквозной металлизации отверстий.

8-слойная печатная плата 3,25 +/- 0,03

МАТЕРИАЛ	ТОЛЩИНА
Медная фольга	0,017
Препрег 2113(2)	0,19 +/- 0,02
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 7628(2)	0,36 +/- 0,03
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 7628(2)	0,36 +/- 0,03
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 2113(2)	0,19 +/- 0,02
Медная фольга	0,017

Рис. 17. Структура 8-слойной печатной платы 3,25 +/- 0,03



Тем не менее, даже учитывая трудности с металлизацией узких сквозных отверстий, изготовители МПП предпочитают достигать высокой плотности монтажа за счет большего числа относительно дешевых слоев, нежели меньшим числом высокоплотных, но соответственно более дорогих слоев.

Многослойные печатные платы отличаются очень высокой трассировочной способностью и плотностью монтажа элементов. Они почти не имеют ограничений по устанавливаемым элементам (микросхемы любой степени интеграции, поверхностно монтируемые элементы и т.д.).

Вариантов изготовления многослойных печатных плат предложено очень много, но практическое применение имеют два.

*Четырехслойные печатные платы попарного прессования.* При их изготовлении используется технология двухсторонних печатных плат с металлизацией сквозных отверстий. Печатные платы относительно просты в изготовлении и являются самыми дешевыми из многослойных плат. Они имеют более высокую трассировочную способность по сравнению с аналогичными двухслойными платами, но их монтажная способность ниже, чем у аналогичных двухсторонних печатных плат. Это вызвано тем, что на наружных слоях платы находятся контактные площадки отверстий для перехода на смежный и противоположный слои многослойных печатных плат. Часто такие платы используются в варианте, когда два слоя отводятся для цепей «земля» и «питание» (в виде сетчатых слоев), а остальные – для трассировки функциональных цепей.

С появлением других приемов изготовления многослойных печатных плат технология попарного прессования стала применяться реже.

*Многослойные печатные платы с металлизацией сквозных отверстий.* Имеются две разновидности таких печатных плат: с внутренними межслойными переходами и без них. Фактически это один вариант изготовления, но наличие внутренних переходов с технологической точки зрения можно рассматривать как дополнительную разновидность. Данные платы позволяют монтировать любые элементы с одной или двух сторон.

Посредством чередования экранных и функциональных слоев внутри платы удастся получать проводники (цепи) с определенными электрическими параметрами, например с нормированным волновым сопротивлением.

Трассировочная способность многослойных печатных плат (при прочих равных условиях) зависит от количества слоев. На практике в основном используются платы с количеством слоев от 8 до 12. Увеличение числа слоев связано с проблемами металлизации сквозных отверстий (требуется сложное специализированное оборудование и тонкие технологии).

Многослойные печатные платы с внутренними межслойными переходами имеют более высокую трассировочную способность по сравнению с многослойными печатными платами без переходов (при одинаковой их толщине), однако имеют более высокую стоимость. Поэтому применение таких

плат оправдано только в случаях, когда размеры или количество слоев и соответственно толщина платы по разным причинам не должны превышать заданные значения. Тогда для обеспечения трассировки всех функциональных цепей приходится применять многослойные печатные платы с внутренними межслойными переходами.

Стоимость многослойных печатных плат очень высока и зависит от количества слоев, причем при наличии межслойных переходов она почти в два раза выше, чем без них. Такие платы применяются в быстродействующих устройствах с микросхемами высокой степени интеграции. На практике это микросхемы в корпусах с 64 и более выводами. Принятые границы степени интеграции достаточно условны.

Прежде чем приступить к конструированию конкретной печатной платы, необходимо решить ряд конструкторских и технологических вопросов, от которых во многом зависит, какие исходные данные должны вводиться в программу проектирования печатной платы. Часть параметров регламентирована ГОСТами и определяется уровнем производства, при этом большинство параметров печатных плат устанавливается или рассчитывается для каждого конкретного проекта. Однако некоторые специалисты предпочитают при конструировании печатных плат пользоваться определенным набором усредненных параметров, что заметно упрощает разработку, но не всегда обеспечивает высокие компоновочные характеристики устройства.

#### *9.3.4. Гибкие печатные платы*

Использование гибких диэлектрических материалов для изготовления печатных плат дает как разработчику, так и пользователю электронных устройств ряд уникальных возможностей. Это, прежде всего, уменьшение размеров и веса конструкции, повышение эффективности сборки, улучшение электрических характеристик, теплоотдачи и в целом надежности.

Если учесть основное свойство таких плат – динамическую гибкость, становится понятным всевозрастающий объем их применения в автомобилях, бытовой технике, медицине, в оборонной и аэрокосмической технике, компьютерах, в системах промышленного контроля и бортовых системах.

Гибкие печатные платы (ГПП) изготавливаются на полиимидной или лавсановой пленке, поэтому могут легко деформироваться даже после формирования проводящего рисунка. Большая часть конструкций ГПП аналогична конструкциям печатных плат на жесткой основе.

**Односторонние ГПП** (рис. 18) наиболее распространены в этом классе плат, поскольку обладают наилучшей динамической гибкостью. Контактные площадки плат расположены с одной стороны, в качестве материала проводящей фольги чаще всего используется медь.



Рис. 18. Односторонняя гибкая печатная плата

**Односторонние ГПП с двухсторонним доступом** (рис. 19) имеют один проводящий слой, контактные площадки к которому выполнены с обеих сторон платы.



Рис. 19. Односторонняя гибкая печатная плата с двухсторонним доступом

**Двухсторонние ГПП** имеют два проводящих слоя, которые могут быть соединены сквозными металлизированными переходами (на рис. 20 проводники нижнего слоя идут перпендикулярно проводникам верхнего слоя). Платы этого типа обеспечивают высокую плотность монтажа, часто применяются в электронных устройствах с контролируемым волновым сопротивлением (импедансом) плат.



Рис. 20. Двухсторонняя гибкая печатная плата

**Многослойные ГПП** (рис. 21) содержат не менее трех проводящих слоев, соединенных металлизированными отверстиями, которые обеспечивают межслойное соединение. В платах проще реализовывать высокую плотность монтажа, поскольку не требуется обеспечивать больших значений соотношений «высота/диаметр отверстия». Прогнозируется применение таких ГПП для сборки на них многокристальных интегральных схем.



Рис. 21. Многослойная гибкая печатная плата

**Жесткогибкие ПП** (рис. 22) являются гибридными конструкциями и содержат как жесткие, так и гибкие основания, скрепленные между собой в единую сборку и электрически соединенные металлизированными отвер-

стями. Наиболее распространены в изделиях оборонной техники, однако расширяется их применение и в промышленной электронике.

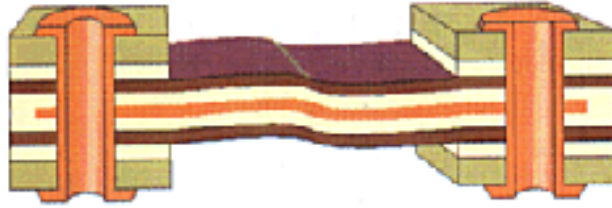


Рис. 22. Жесткогибкая печатная плата

В ГПП с местным ужесточением (укреплением) возможно размещение внутри гибкой основы жестких металлических деталей (рис. 23). Получаются многоэтапным процессом фотолитографии и травления.



Рис. 23. Гибкая печатная плата с местным ужесточением

### 9.3.5. Рельефные печатные платы

Конструкция и технология изготовления рельефных печатных плат (РПП) существенно отличаются от традиционных двухсторонних (ДПП) и многослойных (МПП). РПП (рис. 24) представляет собой диэлектрическое основание, в которое углублены медные проводники, выполненные в виде металлизированных канавок, и сквозные металлизированные отверстия, имеющие форму двух сходящихся конусов. Такие канавки и отверстия заполняются припоем. Обычно РПП имеют два проводящих и один изоляционный слой.

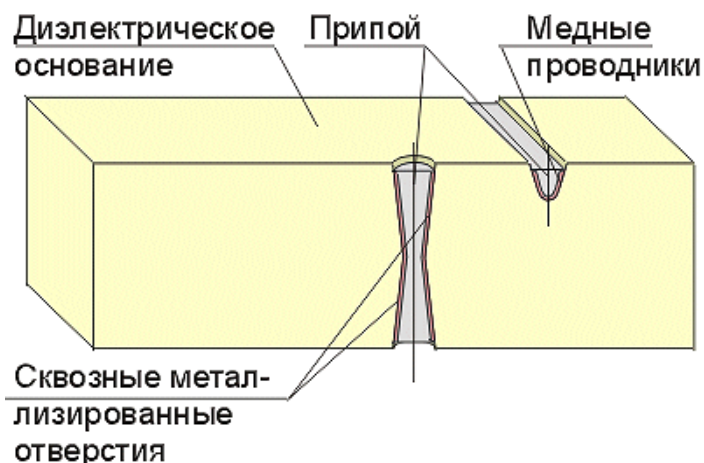
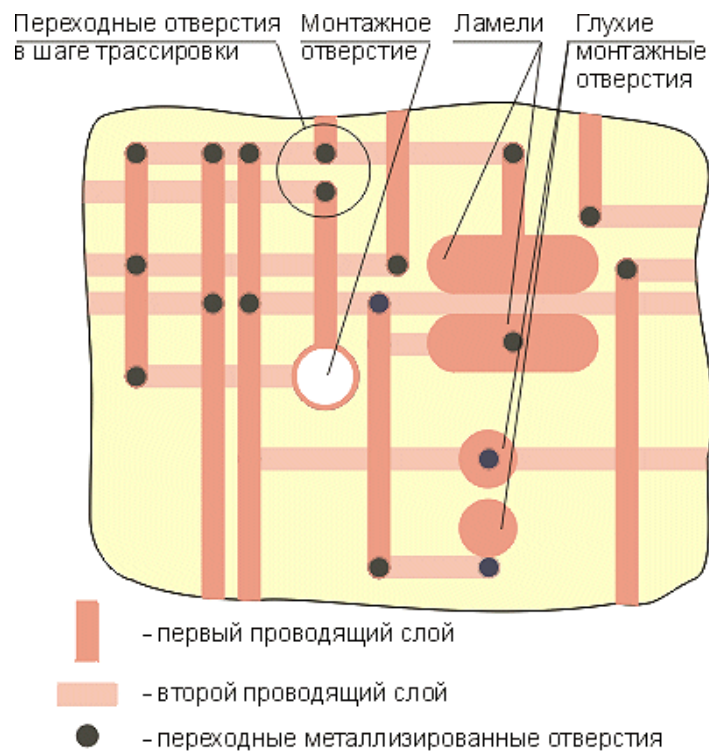


Рис. 24. Рельефная печатная плата

Как видно из рис. 25, элементы проводящего рисунка могут быть следующих видов:

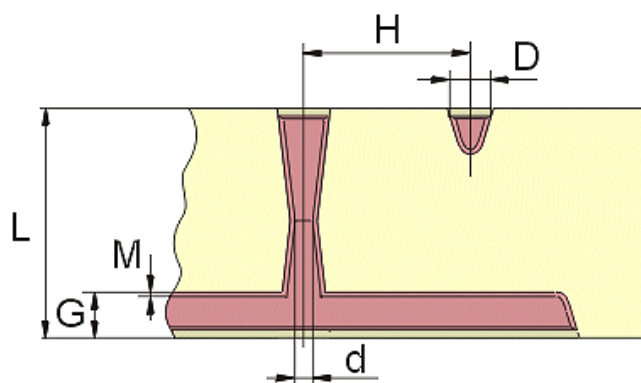
прямолинейные проводники на первом и втором слоях;  
 переходные металлизированные отверстия (для электрического соединения элементов рисунка на проводящих слоях);  
 сквозные монтажные металлизированные отверстия (для монтажа штыревых выводов электронных компонентов);  
 металлизированные ламели (для монтажа планарных выводов электронных компонентов);  
 глухие монтажные металлизированные отверстия (для монтажа планарных выводов электронных компонентов, формованных для пайки встык).

Проводники прямолинейны и параллельны осям X и Y, что связано с особенностью технологического оборудования изготовления канавок.



**Рис. 25.** Элементы проводящего рисунка

**Характеристики рельефных плат.** Диаметр переходных металлизированных отверстий на поверхности диэлектрического основания не превышает ширины проводника (рис. 26). При этом контактные площадки вокруг переходных отверстий отсутствуют, что дает возможность установки переходов в шаге трассировки (в соседних дискретах трассировки) без всяких ограничений. Обычно трассировка РПП проводится в строго ортогональной системе, что означает проведение горизонтальных проводников на одном проводящем слое, вертикальных – на другом. Это обеспечивает большие трассировочные возможности, чем при других системах, но при этом появляется большое число переходов. В отличие от любых других, для РПП переходы повышают, а не понижают надежность платы.



**Рис. 26.** Диаметр переходных металлизированных отверстий

Основным параметром конструкции РПП, определяющим другие, является минимальный шаг трассировки. Здесь существенно использование переменного шага трассировки. Первоначально это диктовалось применяемым технологическим оборудованием, обеспечивавшим перемещение с дискретностью 10 мкм. В дальнейшем обнаружилось, что это повышает трассировочные возможности за счет симметричного прохождения трасс через большинство монтажных точек. Кроме того, переменный шаг позволяет повысить технологичность путем смещения центров переходных отверстий от краев монтажных точек.

#### 9.4. Толщина печатных плат

Толщина односторонних и двухслойных печатных плат напрямую зависит от используемого материала, который выбирается конструктором по соображениям механической прочности и жесткости. Если исходным материалом является фольгированный диэлектрик (стеклотекстолит и т.д.), то толщина печатной платы определяется именно им.

Марки и номенклатура некоторых отечественных и импортных материалов представлены в табл. 1, 2.

**Таблица 1.** Марки и номенклатура некоторых отечественных материалов

Марка	Диэлектрик и назначение	Толщина	
		материала	фольги
1	2	3	4
СФ-1Н-35Г	Стеклотекстолит	0,5 – 3,0	0,035
СФ-2Н-35Г			0,035
СФ-1Н-50Г			0,05
СФ-2Н-50Г			0,05
СФ-1-35Г	Стеклотекстолит	0,5 – 3,0	0,035
СФ-2-35Г			0,035
СФ-1-50Г			0,05
СФ-2-50Г			0,05
ФС-1, ФС2	Стеклотекстолит	0,5 – 3,0	0,018
			0,035
			0,05

Продолжение табл. 1			
1	2	3	4
СТНФ-1-18	Стеклотекстолит для ДПП и МПП	0,1 – 1,0	0,018
СТНФ-2-18		1,5	0,018
СТНФ-1-35		2	0,035
СТНФ-2-35		2,5	0,035
СТФ-1-18		3	0,018
СТФ-2-18			0,018
СТФ-1-35			0,035
СТФ-2-35			0,035
СТПА-5-1	Стеклотекстолит для полуаддитивной технологии	0,15 – 2,0	0,005
СТПА-5-2			
ФТС-1-18А	Стеклотекстолит, травящийся для МПП	0,09 – 0,5	0,018
ФТС-2-18А			
ФТС-1-35А		0,1 – 0,5	0,035
ФТС-2-35А			
СТАП-1-5	Стеклотекстолит для ДПП и МПП	0,08 – 2,0	0,005
СТАП-2-5			0,005
СТАП-2-18			0,018
СТАП-2-35			0,035

**Таблица 2.** Марки и номенклатура некоторых импортных материалов

Марка	Производитель	Толщина	
		подложки	фольги
Стеклотекстолит фольгированный, тип FR-4, марка DURAVER-E-CU 104	Фирма Izola	0,86	0,018 – 0,035
		0,51	
		0,46	
		0,25	
		0,2	
		0,15	
		0,125	
Стеклоткань прокладочная, тип FR-4, марка DURAVER-E-104-ML PREPREG 1080 05 AT 01	Фирма Izola	0,063	

Толщина многослойных плат зависит от разных факторов: количества слоев, числа прокладок, толщины используемых материалов и структуры платы. При изготовлении полностью из двухстороннего фольгированного диэлектрика она может быть рассчитана по формуле

$$H_{\text{п}} = 0,5 N_{\text{сл}} H_{\text{с}} + (0,6 - 0,9)(0,5 N_{\text{сл}} - 1) N_{\text{пр}} H_{\text{пр}},$$

где  $H_{\text{п}}$  – толщина многослойных печатных плат;

$N_{\text{сл}}$  – количество слоев;

$H_{\text{с}}$  – толщина материала (фольгированного диэлектрика);

$N_{\text{пр}}$  – количество прокладок в одном промежутке;

$H_{\text{пр}}$  – толщина прокладочной ткани.

Толщина многослойных печатных плат при изготовлении полностью из двухстороннего фольгированного травящегося стеклотекстолита ФТС-2-18Б-018 и прокладочной стеклоткани СТП4-0.062 (три прокладки в зазоре) рассчитывается по формуле

$$H_{п} - 0,198 H_{сл} - 0,162,$$

позволяющей решить и обратную задачу – определить, сколько слоев можно «вложить» в плату заданной толщины. В частности, это необходимо знать для типовых печатных плат с заданной (стандартной) толщиной.

Например, печатные платы с толщиной 1,5 и 1,6 мм могут содержать не больше восьми слоев.

Очевидно, что при использовании других материалов получают соответственно иные показатели.

### 9.5. Класс точности

Точность изготовления печатных плат зависит от комплекса технологических характеристик и с практической точки зрения определяет основные параметры элементов печатной платы. В первую очередь это относится к минимальной ширине проводников, минимальному зазору между элементами проводящего рисунка (все это выполнено из меди) и ряду других параметров.

Предусматривается пять классов точности печатных плат, и в конструкторской документации на печатную плату должно содержаться указание на соответствующий класс, который обусловлен уровнем технологического оснащения производства (табл. 3). Поэтому выбор класса точности всегда связан с конкретным производством. Попытка решить эту задачу в обратном порядке может привести к тому, что проект не будет реализован.

**Таблица 3.** Параметры печатных плат для разных классов точности

Условное обозначение	Номинальное значение основных параметров для класса точности				
	1	2	3	4	5
t, mm	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
S, mm	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
b, mm	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
f	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

Примечание. t – ширина печатного проводника; S – расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка; b – гарантированный поясок; f – отношение номинального значения диаметра наименьшего из металлизированных отверстий к толщине печатной платы.

Печатные платы 3-го класса наиболее распространены, поскольку, с одной стороны, обеспечивают достаточно высокую плотность трассировки и монтажа, с другой – для их производства требуется рядовое, хотя и специализированное оборудование.



Печатные платы 4-го класса выпускаются на высокоточном оборудовании, но требования к материалам, оборудованию и помещениям ниже, чем для пятого класса.

При изготовлении печатных плат 5-го класса необходимо применение уникального высокоточного оборудования, специальных (как правило, дорогих) материалов, безупрочной фотопленки и даже создание в производственных помещениях «чистой зоны» с термостатированием. Таким требованиям отвечает далеко не каждое производство. Но многослойные печатные платы небольшого размера могут выполняться по 5-му классу на оборудовании, обеспечивающем получение плат 4-го класса. Комплексно решить все эти проблемы удастся только на реальном производстве.

Выпуск печатных плат 2-го и 1-го классов осуществляется на рядовом оборудовании, а иногда даже на оборудовании, не предназначенном для изготовления печатных плат. Такие печатные платы с невысокими (и даже с низкими) конструктивными параметрами предназначены для недорогих устройств с малой плотностью монтажа. К этим классам относятся печатные платы любительского и макетного уровня, часто единичного или мелкосерийного производства.

За рубежом принята другая классификация печатных плат по уровню точности (табл. 4). В ней регламентируются не только конструктивные параметры, но и шаг трассировки, что фактически связывает уровень производства с параметрами печатных плат и степенью интеграции элементной базы.

**Таблица 4.** Классификация зарубежных печатных плат по уровню точности

Уровень	Ширина проводника и зазор	Шаг проектирования		Шаг выводов	
		Наружные слои	Внутренние слои	Планарные	Матричные
0	0,2	1,25	0,625	0,625	2,5
1	0,15	0,625	0,625	0,5	1,25
2	0,1	0,625	1	0,5	1
3	0,075	0,5	1	0,5	1
4	0,05	0,5	0,5	0,25	0,5
0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5

#### 9.6. Параметры проводников и зазоров

Основные параметры (размеры и допустимые отклонения) проводников и зазоров между элементами проводящего рисунка оговорены и непосредственно зависят от принятого класса точности печатных плат.

Минимальная ширина проводников и величина зазоров – основные факторы, влияющие на трассировочную способность печатной платы. Однако это относится только к слаботочным цепям, для которых сечение печатных проводников, исчисляемое величиной порядка 0,005 мм<sup>2</sup>, не является ограничением. Но на печатных платах часто присутствуют цепи, не-

сущие достаточно большие токовые нагрузки. Их следует конструировать не с минимальными значениями печатных проводников, а с учетом конкретной токовой нагрузки из условий исключения опасного перегрева этих проводников. Кроме того, не исключено, что смежные проводники будут находиться под высоким потенциалом, поэтому зазоры между ними должны выдерживать соответствующее напряжение.

Допустимая токовая нагрузка на элементы проводящего рисунка, выполненные из медной фольги,  $100 - 250 \text{ А/мм}^2$ . Обычно нижний предел принимается для внутренних проводников многослойных печатных плат, верхний – для наружных слоев. Считается, что теплообмен проводников на наружных слоях лучше и они способны пропускать большие токовые нагрузки без опасного перегрева. Конкретные размеры печатных проводников в зависимости от токовой нагрузки либо рассчитывают, используя приведенные данные, либо выбирают по номограмме (рис. 27), в которой представлены различные значения перегрева в условиях естественной конвекции для одиночных печатных проводников постоянной ширины, расположенных на наружных слоях и расстоянии, равном ширине проводника.

Величину допустимой токовой нагрузки, полученную по номограмме, следует скорректировать для печатных проводников:

расположенных на расстоянии больше своей ширины, увеличить на 15%;

на платах, выполненных по полуаддитивной технологии, уменьшить на 25%;

на платах, выполненных по аддитивной технологии, уменьшить вдвое.

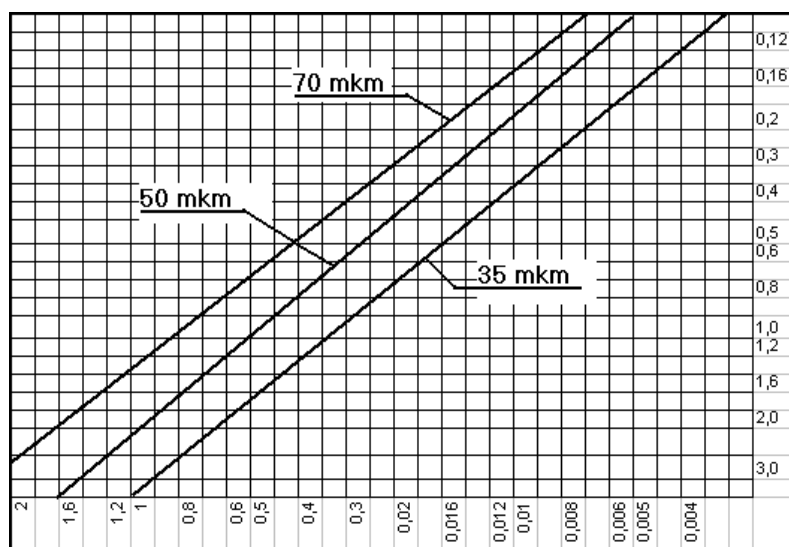
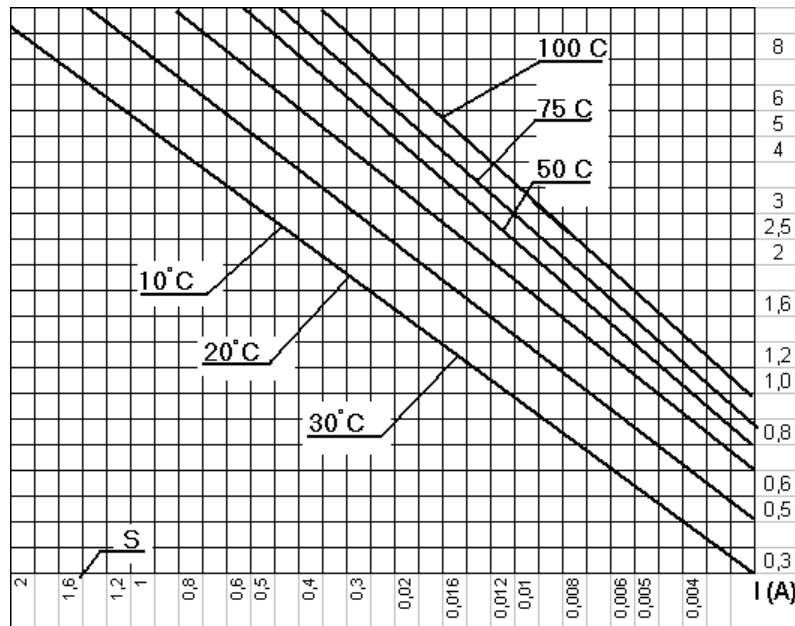


Рис. 27. Допустимая токовая нагрузка на элементы проводящего рисунка, выполненные из медной фольги



**Рис. 27.** Допустимая токовая нагрузка на элементы проводящего рисунка, выполненные из медной фольги (продолжение)

В ряде случаев, чтобы оценить нагрузочную способность печатных проводников, достаточно помнить, что проводник толщиной 35 мкм (а это наиболее распространенная толщина) и шириной 1 мм при перегреве в 20<sup>0</sup>С пропускает ток в 3 А. С помощью этих данных легко рассчитать нагрузочную способность проводников любой ширины. Но повторяем, что это оценочный расчет.

Минимальные зазоры между элементами проводящего рисунка (т.е. зазоры между любыми металлизированными элементами печатной платы) определяются в основном технологией печатных плат и допустимым напряжением между соседними (смежными) элементами. Значения максимально допустимого рабочего напряжения между элементами рисунка в зависимости от условий эксплуатации для печатных плат, изготовленных из фольгированного текстолита, представлены в табл. 5.

**Таблица 5.** Значения максимально допустимого рабочего напряжения между элементами рисунка в зависимости от условий эксплуатации

Расстояние между элементами проводящего рисунка, не менее	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	1,2	2
Нормальные условия	25	50	150	300	400	600	830
Относительная влажность 93% при температуре 40° С	15	30	100	200	300	360	430
Пониженное атмосферное давление 660 Па (5 мм рт.ст.)	10	30	50	80	100	130	160

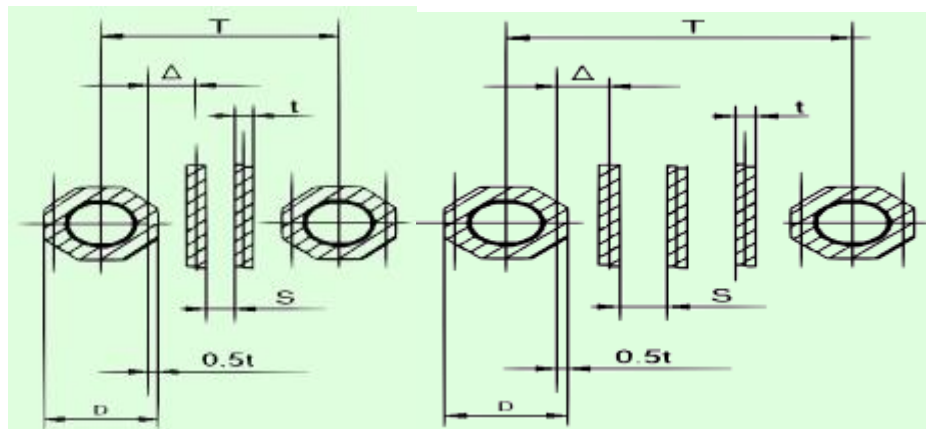
В слаботочной и низковольтной аппаратуре (а это большинство устройств, построенных с применением цифровых и аналоговых микросхем) ширина печатных проводников и зазоры выбираются минимальными для технологии и конструкции изделия. Эти данные для печатных плат раз-

личных классов точности и нескольких вариантов изготовления содержатся в табл. 6.

**Таблица 6.** Ширина печатных проводников и зазоров между ними для П.П. различных классов точности в нескольких вариантах изготовления

Класс точности	Ширина проводника, мм		Минимальный зазор, мм	
	Номинальное значение	Минимальное значение	Без покрытия	С покрытием
1	0,75	0,6	0,55	0,75
2	0,45	0,35	0,35	0,45
3	0,25	0,2	0,15	0,25
4	0,15	0,12	0,1	0,15
5	0,1	0,07	0,07	0,1

Кроме того, размеры (ширина) печатных проводников, зазоры между ними и величина допусков влияют на шаг трассировки. Формально на печатной плате возможен любой шаг трассировки, но для получения максимальной трассировочной способности необходимо его согласовать с шагом металлизированных отверстий. На рис. 28 изображен фрагмент печатной платы с нанесенной сеткой трассировки (с координатной сеткой), на котором видно, что почти все параметры проводников, зазоров и контактных площадок связаны между собой и с шагом металлизированных отверстий.



**Рис. 28.** Фрагмент печатной платы с нанесенной сеткой трассировки

$$T = \Delta n, \quad D = t + S, \quad D = \Delta (n-2) - 3t, \quad D = \Delta k + t.$$

Обычно шаг трассировки выбирается кратным шагу отверстий, точнее, шаг между отверстиями должен быть равен целому числу шагов трассировки проводников.

Именно поэтому нежелательно иметь на печатной плате группы отверстий с различными шагами, но на сегодняшний день одновременное использование элементов с разными шагами стало правилом, а не исключением. Чаще всего на одной плате компонуются элементы с метрическим и дюймовым шагами выводов. В подобной ситуации можно ориентироваться на шаг большинства элементов. В затруднительных случаях лучше взять за основу шаг отверстий у элементов, размещаемых в центральной

части печатной платы. Именно в этой области необходимо обеспечить наибольшую трассировочную способность, поскольку трассировка там самая плотная.

В метрической системе наиболее распространенным считается шаг выводов в 2,5 мм (имеются в виду штыревые выводы). Это основной шаг при формовке выводов многих навесных элементов, включенных в ОСТ 4.010.030-81 или ОСТ 45.010.030-92, в соответствии с ГОСТ 29137-91. Для шага металлизированных отверстий, равного 2,5 мм, можно принять шаг трассировки 2,5; 1,25; 0,625; 0,5 и 0,3125, для дюймового шага (2,54 мм) – 2,54; 1,27; 0,635 и 0,3175.

В табл. 7 приведены минимальные расчетные (теоретические) значения и соответствующие рекомендуемые шаги трассировки, в которых учитывается кратность шага металлизированных отверстий.

**Таблица 7.** Минимальные расчетные (теоретические) значения и соответствующие рекомендуемые шаги трассировки

Класс точности	1	2	3	4	5
Проводники без покрытия	0,75±015	0,45±0,1	0,25±0,05	0,15±0,03	0,1±0,03
Проводники с покрытием	0,75	0,45	0,25±0,05	0,15±0,03	1±0,03
Минимальный зазор	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Расчетный шаг трассировки	1,65	1,0	0,55	0,35	0,23
Рекомендуемый шаг трассировки	2,5	1,25	0,625	0,5	0,3175
	2,54	1,27	0,635		0,31175

### 9.7. Защитные покрытия печатных плат

Как правило, печатные платы подвержены влиянию окружающей среды (имеются в виду пыль, грязь, влага, микрофлора и многое другое). Кроме того, печатные проводники на наружных слоях оказываются просто без электрической изоляции, что может стать причиной всяческих отказов в работе аппаратуры. Эти проблемы решаются при помощи защитного изоляционного покрытия. В простейшем случае плата после монтажа всех элементов и промывки покрывается лаком (одним или несколькими слоями). Лак наносится методами окунания, полива или распыления, и под ним оказываются не только все проводники, но и элементы, что не всегда желательно. Некоторые элементы просто не допускают лакировки, например соединители, различные лепестки, контакты и ряд микросхем.

При окунании лак попадает во все щели и зазоры, в которых он после полимеризации образует сгустки, причиняющие (из-за усадок) механические повреждения, так что в процессе конструирования необходимо предусматривать зазоры, обеспечивающие удаление остатков жидкого лака (в

производстве для этого применяется центрифугирование). При любых способах нанесения лак проникает по капиллярам во внутренние полости соединителей и выводит их из строя. Из-за сложностей технологического порядка от лакировки отказываются и защищают печатные платы масками.

В отличие от лакировки маска не обеспечивает полной защиты всей платы, но снижение общей стоимости производства является главным аргументом в пользу последнего варианта, тем более что при использовании защитной маски решается ряд других задач.

Одним из эффективных приемов групповой пайки считается пайка волной, при которой монтажная сторона платы с предварительно установленными элементами пропускается над волной расплавленного припоя. Волна омывает печатные проводники и выводы элементов, при этом выполняется групповая пайка всех элементов и припой покрывает все остальные открытые металлические поверхности на плате, а не только места пайки. Этот процесс при всей его простоте не обеспечивает стабильного качества пайки на платах с минимальными зазорами между элементами проводящего рисунка. Всегда существует опасность образования перемычек в узких зазорах, поэтому пайка волной (без применения защитных масок) допустима только на платах 1-го и 2-го классов точности. К тому же тратить огромное количество припоя на покрытие проводников, для которых это совершенно излишне, большое расточительство.

Защитная маска на поверхности печатных плат оставляет окна только в местах пайки. Она защищает печатные платы от грязи и случайных замыканий, а также является технологической маской при нанесении гальванического покрытия.

Для металлизированных отверстий в маске имеются окна в форме контактных площадок. Если плата выполняется по высокому классу точности (5-му или 4-му), то маску делают больше контактной площадки на 0,1 мм. В платах с низким классом точности контактные площадки больше и размеры окон в маске выполняются по размерам контактных площадок.

Защитная маска для элементов, монтируемых на поверхность, должна быть в любом случае больше контактной площадки: для рассыпных элементов – на 0,1 мм, для микросхем с шагом 0,625 мм и менее – всего на 0,05 мм. Допускается, чтобы плотные группы контактных площадок имели общую маску, точнее единое окно для группы плоских контактных площадок, но по возможности этого следует избегать, так как наличие даже узкой полоски защитной маски между смежными контактными группами при пайке снижает вероятность их замыкания. Если пайка производится волной припоя, то такое объединение вообще недопустимо.

При составлении заявки к производству печатных плат следует указать, необходимо ли закрывать переходные отверстия маской. Для маски должны быть созданы отдельные слои (обычно это слои MSKGTP и MSKGBT).

Для изготовления защитных покрытий применяются материалы Dynamask фирмы Morton – DM (светло-зеленая матовая) и КМ (темно-зеленая глянцевая).

#### 9.8. Маркировка печатных плат

Маркировка, наносимая на печатную плату, является элементом конструкции. Назначение и техника исполнения (технология) маркировки зависит от многих факторов, диктуемых каждым конкретным случаем. Они указываются в конструкторской документации и входят в состав технологического проекта в виде данных на магнитных носителях (дискета).

Обычно маркировка содержит порядковый или заводской номер платы (или партии), позиционные обозначения элементов, графические изображения мест установки (монтажа) элементов, нумерацию или условное обозначение первых выводов, знаки «плюс» для полярных элементов и другую информацию по усмотрению разработчика.

Часть маркировки (или маркировка целиком) может быть реализована по технологии печатных проводников (травлением). Тогда она наносится на поверхность платы вместе с проводниками, и совместить их порой трудно.

Путем травления обычно выполняется обозначение платы и номер (буква) версии фотошаблона. Если размеры (или свободное место) не позволяют разместить обозначение платы в полном объеме (а это более 15 знаков), то его сокращают до трех последних цифр или вводят код, расшифровка которого обязательно указывается в конструкторской или сопроводительной документации. Необходимость маркировки вызвана требованием идентификации каждой платы в массовом производстве, где одновременно может изготавливаться большое количество плат и их фрагментов (внутренних слоев многослойных печатных плат).

С помощью травления часто ставят знаки «плюс» на полярных элементах и обозначения первых выводов на элементах, допускающих неоднозначную установку при монтаже. Современные технологии позволяют применять для всех видов маркировок краску и типографскую печать на твердых поверхностях.

Чтобы изделие можно было маркировать, в проекте следует разработать один или два самостоятельных слоя, содержащих всю информацию по маркировке. Основное требование – не допустить попадания маркировки на места пайки. При наличии защитной маски это условие легко соблюдается: вся маркировка должна находиться в пределах защитного слоя.

Размер (высота) шрифта задается конструктором и зависит от технологии маркировки. Высота надписей, которые получают травлением, должна быть не менее 2,5 мм, иначе шрифт нельзя будет прочесть. Иногда надписи изображаются стилизованным почтовым шрифтом, который применяется для индексов на почтовых конвертах. В этом случае текст (в ос-

новном, цифры) составляется отрезками линий (фактически печатными проводниками), ширина которых зависит от класса точности печатной платы (необходимо, чтобы высота шрифта была в 10 – 15 раз больше, чем ширина линий).

В надписях, выполненных методами офсетной печати, высота шрифта должна быть не менее 1,5 мм. Этими же методами можно нанести любую графическую информацию на плате, например линии раздела печатной платы на зоны, места установки компонентов, условные изображения обычных и полярных элементов. Отдельно стоит отметить точки крепления и т.д. Ограничений в данном случае практически нет. Минимальная ширина линий графических элементов составляет 0,1 мм.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ. ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ P-CAD 2006**

### **1. Создание библиотечных элементов**

Создание библиотеки радиоэлементов является первым и практически всегда необходимым (скорее, вынужденным) шагом работы над новым проектом. Даже если мы имеем прекрасную библиотеку элементов, начиная новый проект, зачастую убеждаемся, что 2 – 3 элемента проекта являются уникальными и в имеющейся библиотеке отсутствуют.

При создании новых библиотечных элементов необходимо пройти несколько этапов:

**Создание:** схемного (символьного) образа элемента; посадочного места для радиоэлемента на печатной плате (причем правила создания посадочных мест для элементов со штыревыми и планарными контактами отличаются друг от друга); взаимосвязи между схемными и технологическими библиотечными элементами; контактных площадок.

**Внесение** библиотечных элементов в библиотеки.

#### **1.1. Создание символьного элемента 54ALS02**

*Создание символьного элемента, используя программу P-CAD 2006 Schematic*

С помощью этой программы удобно создавать сложные составные элементы, т.е. блоки, представляющие собой совокупность нескольких простых элементов. Она запускается из меню **Пуск/Программы/P-CAD 2006/Schematic**.

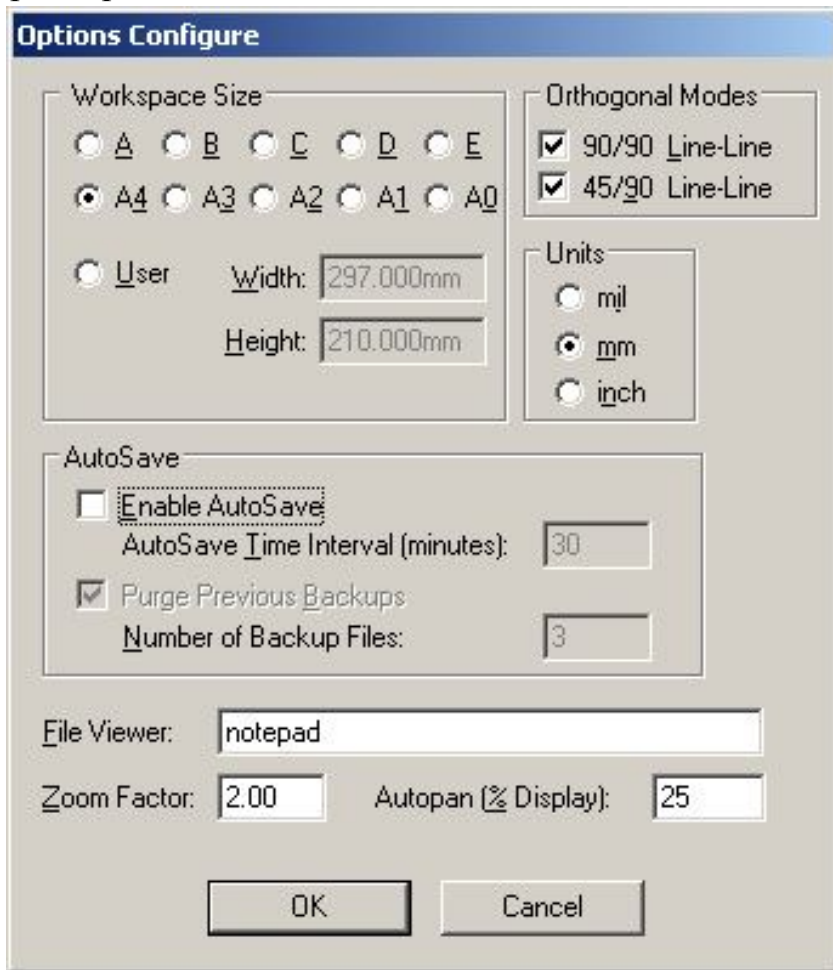
Создание простых элементов проще и удобнее в программе P-CAD 2006 Symbol Editor, которая описана ниже.



### Настройка конфигурации графического редактора

Запустив приложение P-CAD Symbol Editor, выполним указанную последовательность для настройки конфигурации графического редактора.

Выбрать команду **Options/Configure**. В открывшемся диалоговом окне **Options Configure** (рис. 1.1) установить размер рабочего поля формата **A4** (в области **Workspace Size** указать **A4**), выбрать миллиметры как основную систему единиц (в области **Units** указать **mm**). Все остальные параметры оставить без изменения. Нажать **OK**.



Выбрать команду **Options/Grids**. В открывшемся диалоговом окне **Options Grids** (рис. 1.2) установить новую сетку графического редактора с шагом в 5 мм (в области **Grid Spacing** набрать на клавиатуре **5** и нажать **Add**) – в данном случае это наиболее удобный шаг сетки. В списке шагов сетки (под окном ввода) появится значение **5.00**, которое следует выделить мышью. Нажать **OK**.

Рис. 1.1. Диалоговое окно установок проекта

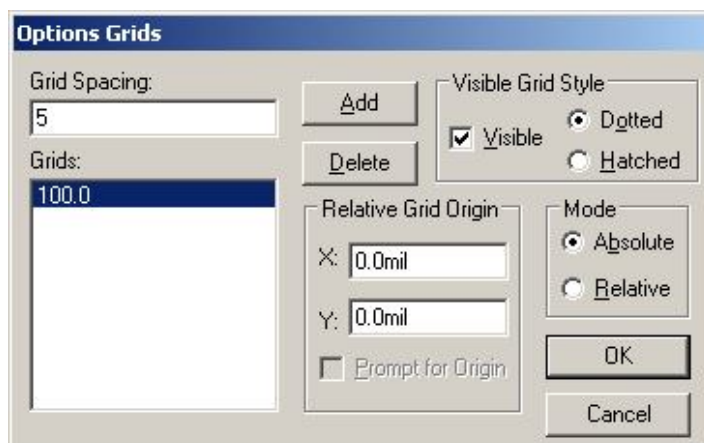


Рис. 1.2. Диалоговое окно настройки сетки

Затем можно прикрепить курсор к узлам сетки графического редактора с помощью команды **Snap to Grid** из пункта меню **View** (обратный эффект с помощью той же команды), при этом перемещение курсора будет возможным только по узлам сетки.

Теперь, когда редактор сконфигурирован, можно приступить собственно к рисованию. Изображение элемента можно начать строить непосредственно с обводки, однако при этом необходимо учесть выбранный масштаб и единицы измерения чертежа. ГОСТ на изображения принципиальных электрических схем предполагает соответствующие размеры и пропорции. Для учета их в данной работе примем длину вывода и расстояния между выводами, равными 5 мм. Определив таким образом предполагаемые размеры поля элемента, начертим его с помощью инструмента **Line**.

#### *Создание обводки*

Выбрать команду **Options/Current Line**. В появившемся диалоговом окне **Options Current Line** устанавливаются параметры текущей линии рисования: в поле **Width** (ширина) выбрать **Thin** (тонкая линия), а в поле **Style** – **Solid** (сплошная линия). Нажать **OK** (рис. 1.3).

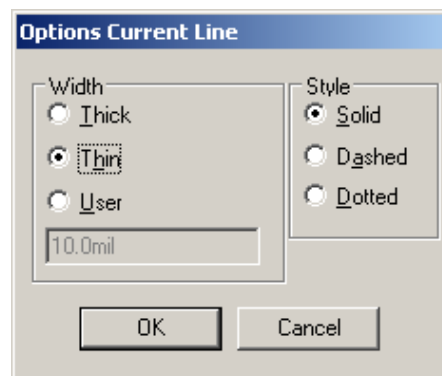




Рис. 1.3. Диалоговое окно настроек линии

В пункте меню **Place** вызвать команду **Line** (для ускорения работы можно использовать кнопку  на левой панели редактора). Используя левую кнопку мыши, создать изображение корпуса символического элемента. Размер корпуса контролируется при помощи координат (рис. 1.4). Отказ от проведения следующей линии производится по правой кнопке мыши.

### Создание выводов

Следующим шагом будет создание выводов элемента. Выбрав команду меню **Place/Pin** (рис. 1.5), для ускорения работы можно использовать кнопку  на левой панели редактора. Нажать левую кнопку мыши. В открывшемся диалоговом окне **Place Pin** установить нужную длину контакта (в поле **Length** выбрать **User**, в расположенном ниже окошке ввести цифру **5**), настроить отображение номеров контактов (в поле **Display** включить метку **Pin Des** и выключить метку **Pin Name**).

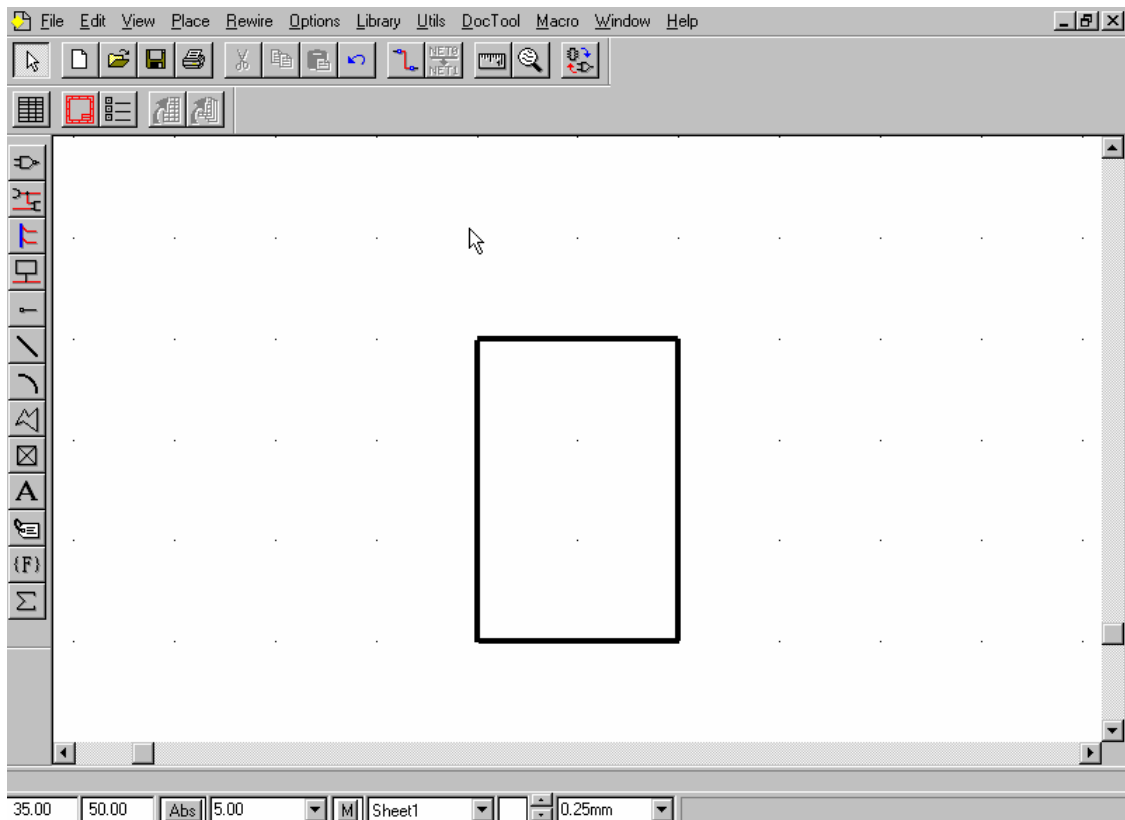


Рис. 1.4. Пример обводки

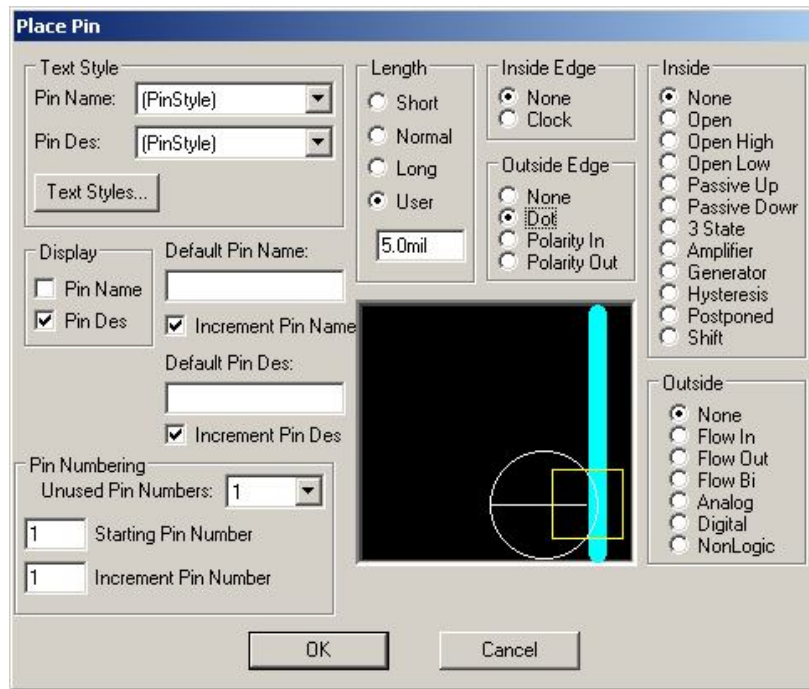
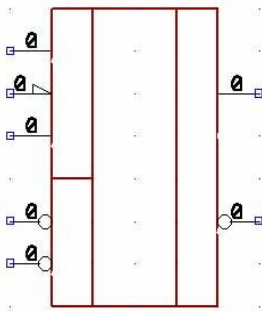


Рис. 1.5. Диалоговое окно настроек вывода

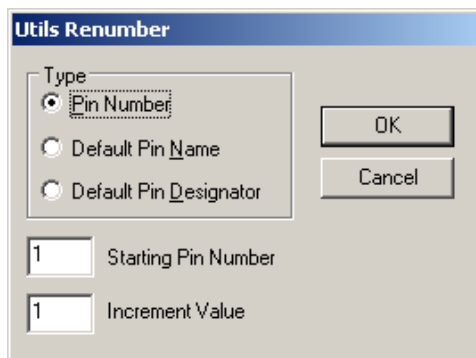
Отключение метки **Pin Name** сделает невидимым символьное имя контакта, которое задается обычно в редакторе **Library Executive** и отображается в области условного графического обозначения (УГО) элемента напротив вывода. При включенном флаге **Pin Name** отпадает необходимость задавать подписи к выводам, иногда это может оказаться полезным (например, в случае задания различных подписей выводов для логических элементов в составе радиодетали).

Нажав **OK**, укажем следующим нажатием положение контакта. Разместим контакты (выходы) справа. Затем, нажав и удерживая клавишу F для отражения контактов, разместим еще пять контактов (входов) слева. Выводы будут отражены слева направо. Теперь требуется разместить контакты с признаками инверсии (кружок в основании контакта) и срабатывания по фронту (наклонная черта). При размещении обычных контактов выбрать нажатием правой кнопки мыши (в режиме выделения – **Arrow**) контакт пункт меню **Properties**. Аналогичного результата можно добиться, изначально задавая параметры вывода. Для этого необходимо прервать последовательность размещения выводов текущего типа (курсор в режиме размещения имеет вид перекрестия на  $45^\circ$ ), нажав правую кнопку мыши. Курсор снова примет форму стрелки. Тогда по нажатию левой кнопки мыши (выбран инструмент размещения вывода) появится окно задания свойств вывода. В этом окне задаются **Outside Edge/Dot** (кружок инверсии) либо **Outside Edge/Polarity Edge** (стрелка, аналог наклонной). Результат произведенных операций показан на рис. 1.6.



Необходимо сразу обратить внимание на нумерацию выводов. Изменить ее в нужном порядке удобней всего, используя команду меню **Utils/Renumber**.

**Рис. 1.6.** Контур символа элемента на стадии добавления выводов



В открывшемся окне (рис. 1.7) необходимо указать параметр перенумерации – номер вывода (**Pin Num**), после чего в окне останутся лишь такие параметры, как начальное значение и инкремент. Указав их как 1, нажмем **ОК** и перенумеруем выводы нажатиями в порядке слева – направо, сверху – вниз.

**Рис. 1.7.** Диалоговое окно перенумерации выводов

На данном этапе номера выводов необязательно должны соответствовать номерам, указанным в таблице для конкретного варианта. Другой способ перенумеровать выводы – задать их номера в окне свойств вывода (поле **Pin Number**). По выполнению перечисленных операций УГО радио-детали можно считать практически законченным.

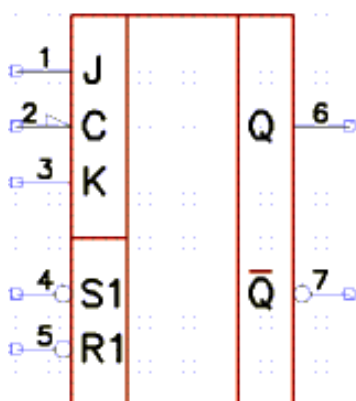
#### *Добавление символьного обозначения элемента*

Для установки статических символьных обозначений необходимо воспользоваться командой **Place/Text** (для ускорения работы можно использовать кнопку **A** на левой панели редактора). Нажать левую кнопку мыши. В открывшемся диалоговом окне **Place Text** набрать символ **J**, установить выравнивание текста по **Justification**, выбрать стиль **PartStyle**. Нажать **ОК**. Установить курсор в нужную точку и нажать **ОК**. Повторить процедуру для остальных символов.

При размещении текста могут возникнуть две проблемы. Главная из них заключается в необходимости точного размещения символов, оказывающихся вследствие привязки к сетке «выбитыми» из указанных позиций. Основной способ ее решения заключается в задании меньшего шага сетки (**1 mm**).

Задать меньший шаг сетки можно, вызвав меню **Options/Grids**. В этом меню (уже использованном при настройке редактора) добавляется (кнопка


**Add)** сетка с шагом **1.00 мм** и выбирается активной в списке, где уже присутствует сетка **5.00**. Впоследствии можно сделать активной сетку с шагом **5 мм**.

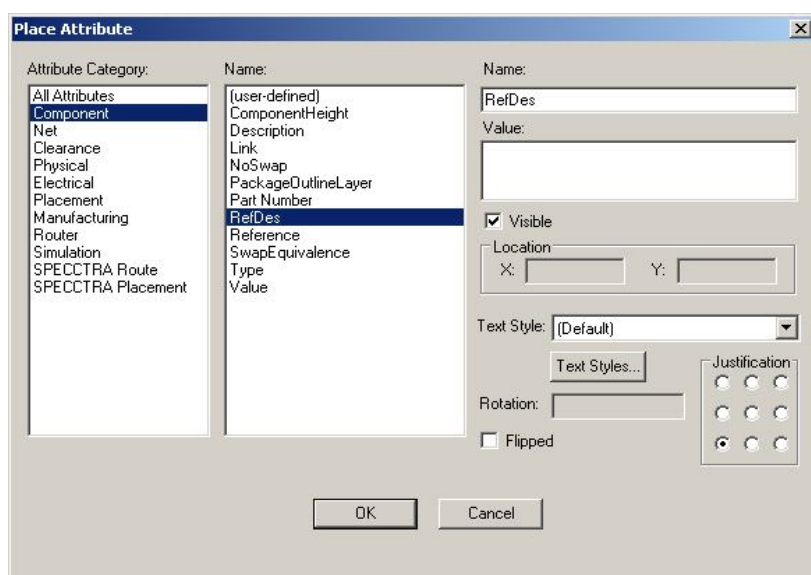


Другая проблема может возникнуть, когда ширина левого или правого дополнительных полей окажется недостаточной для отображения меток. В этом случае допускается расширить дополнительное поле так, чтобы его размеры позволяли ввести метки. Для отображения специальных символов (например, символ гистерезиса триггера Шмидта) можно воспользоваться командами размещения линии и дуги. Результат произведенных операций представлен на рис. 1.8.

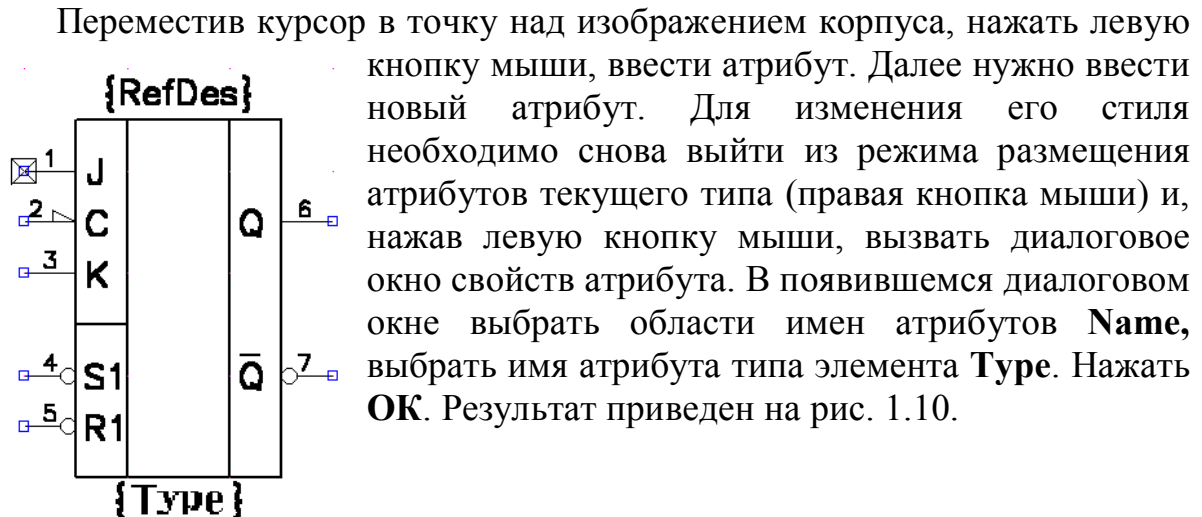
**Рис. 1.8.** Символьное изображение элемента на стадии добавления текстовых меток

### Установка атрибутов элемента

Для введения атрибутов элемента (возьмем, к примеру, место для размещения позиционного обозначения и подпись типа элемента) надо вызвать команду **Place/Attribute** (рис. 1.9), (для ускорения работы можно использовать кнопку  на левой панели редактора). Нажать левую кнопку мыши. В открывшемся диалоговом окне **Place Attribute** выбрать в области категорий атрибута **Attribute Category** назначение атрибута для элемента **Component**. В области имен атрибутов **Name** выбрать имя атрибута позиционного обозначения **RefDes**. Установить стиль текста в открывающемся списке **Text Style** как **PartStyle**. Выравнивание **Justification**: по вертикали – низ, по горизонтали – центр. Нажать **OK**.




**Рис. 1.9.** Выбор атрибутов




**Рис. 1.10.** Сформированное символьное изображение элемента 54ALS02. Установка атрибутов

### *Введение точки привязки*

Для завершения создания УГО осталось указать точку привязки, по которой будет привязываться к сетке размещаемый элемент. Для введения точки привязки элемента необходимо вызвать команду **Place/Ref Point** (для ускорения работы можно использовать кнопку  на левой панели редактора). Переместить курсор в начало первого контакта и нажать левую кнопку (появится перечеркнутый квадрат).

### *Запись созданного символьного элемента в библиотеку элементов*

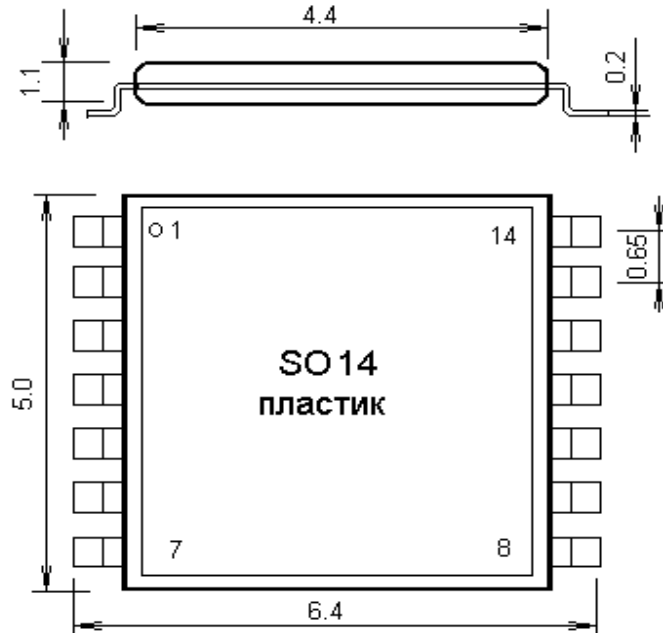
Создание УГО элемента **54ALS02** завершено. Теперь необходимо сохранить символ. Для начала создадим свою библиотеку **test.lib**. В пункте меню **Library** вызвать команду **New** и в открывшемся диалоговом окне задать имя новой библиотеки: **test.lib**. Нажать **ОК**.

Вызвать команду **Edit/Select** (для ускорения работы можно использовать кнопку  на верхней панели редактора) и выделить весь созданный элемент. Вызвать команду **Symbol/Save As**. Выключить метку занесения информации в библиотеку как отдельного элемента (**Create Component**). В поле **Symbol** набрать имя элемента **54ALS\_FLIP\_FLOP** (триггер) и нажать кнопку **ОК**. Теперь вновь созданный символьный элемент занесен в библиотеку **test.lib**, которая может быть сохранена отдельно и подключена впоследствии для продолжения разработки элемента.

## 1.2. Создание посадочного места для радиоэлемента на печатной плате при помощи программы P-CAD 2006 Pattern Editor

Следующим шагом будет создание посадочной площадки (Pattern) элемента. Конкретный вид и размеры площадки определяются исполнением радиодетали. В качестве исполнения корпуса примем пластиковый корпус с параллельным размещением выводов (SOIC). Именно в таком испол-

нении выпускается большинство современных интегральных микросхем (ИМ) универсального назначения. Внешний вид и размеры корпуса, а также посадочная площадка, соответствующая корпусу, представлены рис. 1.11.



**Рис. 1.11.** Внешний вид и посадочная площадка SOIC корпуса

Все, что необходимо создать в качестве реального изображения указанного в задании элемента, – это его посадочная площадка, рисунок выводов для стандартного SOIC корпуса, имеющего произвольное (кратное двум) количество выводов. Процедура создания площадки выполняется в программе P-CAD Pattern Editor.

Запустим программу (**Пуск/Программы/P-CAD2006/Pattern Editor**). Откроется окно с пустым документом (рис. 1.12).



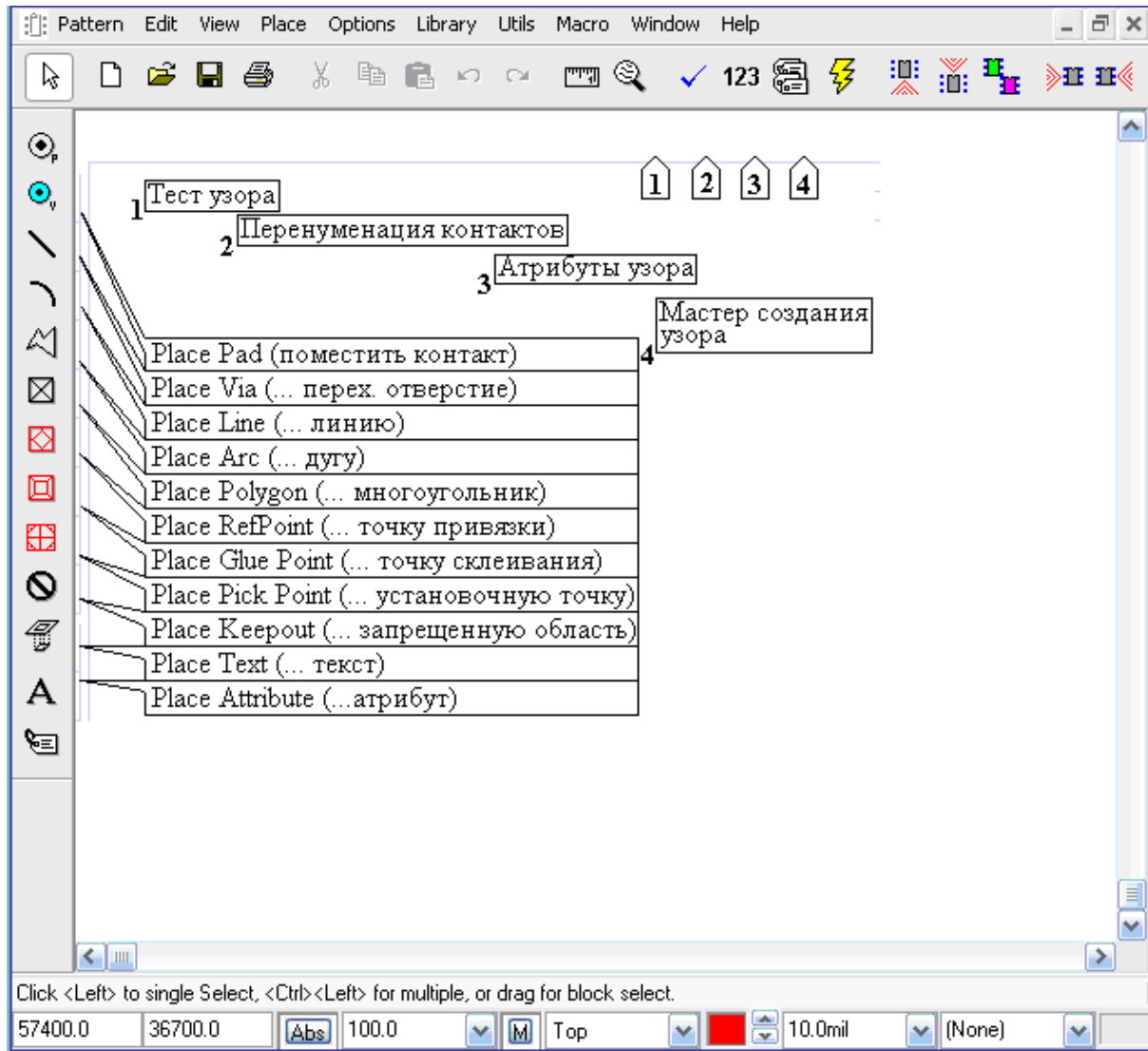


Рис. 1.12. Внешний вид редактора P-CAD2006 Pattern Editor

### 1.2.1. Настройка конфигурации графического редактора

Перед началом работы в редакторе необходимо выбрать миллиметры в качестве используемых единиц измерения (**Options/Configure**, поле **Units**, значение **mm**). Работу в редакторе целесообразно провести, воспользовавшись мастером создания узоров **Pattern Wizard**, запускаемым кнопкой на инструментальной панели (рис. 1.12). Откроется окно мастера, по заданным параметрам которого отобразится некоторый узор (рис. 1.13).

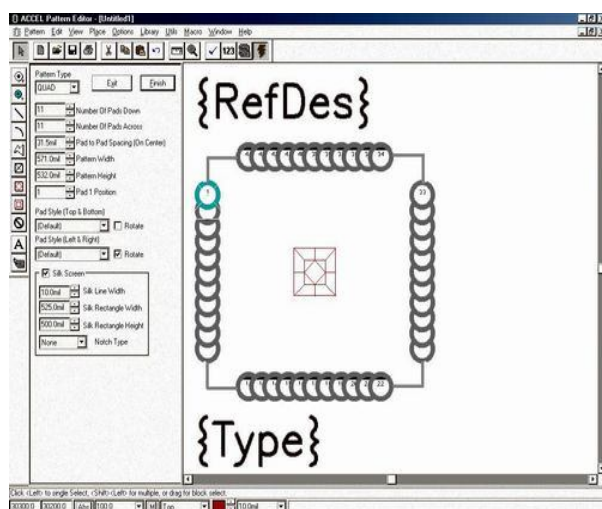


Рис. 1.13. Мастер создания посадочных площадок

Узор пока не имеет ничего общего с требуемым изображением, однако настройки несложно изменить, выполнив следующие действия:

в выпадающем списке **Pattern Type** мастера выбрать значение **QUAD**.  
 в поле **Number of Pads Down** ввести 16 (количество выводов радиодетали, включающее выводы земли и питания, указано в таблице задания);  
 задать значение **Pad to pad spacing** (вертикальное расстояние между площадками), равное 2,54 mm;

задать значение **Pattern Width** (ширина узора), равное 7,62 mm;

задать **Pad 1 Position** – 1;

значение **Silk Line Width** задать равным 0,25 mm;

плавно меняя значения **Silk Rectangle Width** и **Silk Rectangle Height**, добиться соответствия размеров шелкографии (рисунок в области площадки) размерам элемента;

в поле **Notch Type** (тип ключа корпуса) выбрать **Arc** (дугу).

В результате работы мастера (по нажатию кнопки **Finish**) будет сформировано изображение площадки, представленное на рис. 1.14.



Рис. 1.14. Посадочная площадка элемента 54ALS02

### 1.2.2. Запись созданного символьного элемента в библиотеку элементов

Изображение посадочной площадки сформировано, его можно сохранить, выбрав команду **Pattern/Save**. В открывшемся окне **Pattern Save To Library** указать библиотеку **test.lib**, имя площадки **SOIC** (с добавлением количества выводов, например, **SOIC14**). Отключить флаг создания компонента **Create Component**. Нажать **OK**.

### 1.3. Создание библиотеки

Заключительный этап – связывание условного графического обозначения с посадочной площадкой – выполняется в программе P-CAD Library Executive.

Выполним связывание символа элемента **54ALS02** с его посадочной площадкой. Для этого запустим редактор P-CAD Library Executive (**Пуск/Программы/P-CAD/Library Executive**). В открывшемся окне просмотрщика ресурсов (вызывается командой **View/Source Browser**) открывается (двойным щелчком) узел **Sources**, затем **DEFAULT\_LIBRARY\_SET**. В нем присутствуют вкладки доступных библиотек (рис. 1.15), выберем библиотеку **test.lib** (в случае ее отсутствия можно добавить библиотеку командой **Add Library** выпадающего меню вкладки **DEFAULT\_LIBRARY\_SET**). Создадим новый компонент, выполнив указанную последовательность действий.

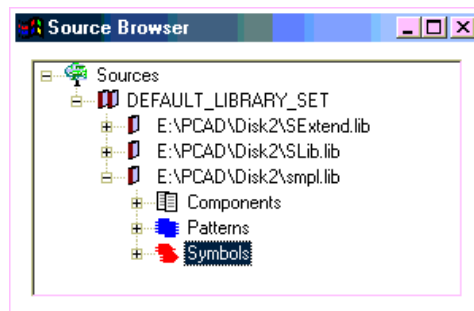


Рис. 1.15. Окно браузера ресурсов P-CAD2006 Library Executive

Выполнить команду **Component/New**. В открывшемся окне выбора библиотеки указать **test.lib**. В окне **Component Information** выбрать посадочную площадку **Select Pattern** (для рассматриваемого примера – **SOIC14**). Нажать **OK**. В поле **Number of Gates** указать количество логических элементов, входящих в радиодеталь (в нашем примере – 2). В поле **Gate Numbering** (нумерация элементов) указать **Numeric**, **Component Type** – **Normal**. В поле **Ref Des Prefix** ввести префикс **DD**. Значение **Component Style** – **Homogeneous** (в состав радиодетали входят однотипные логические элементы).

Выбрать символ элемента **Select Symbol** (в данном примере – **54ALS\_FLIP\_FLOP**). Нажать кнопку **Pins View**.

Откроется таблица, устанавливающая соответствие выводов радиодетали выводам условных изображений логических элементов, включенных в ее состав (рис. 1.16). Поясним колонки таблицы, которую необходимо заполнить вручную.

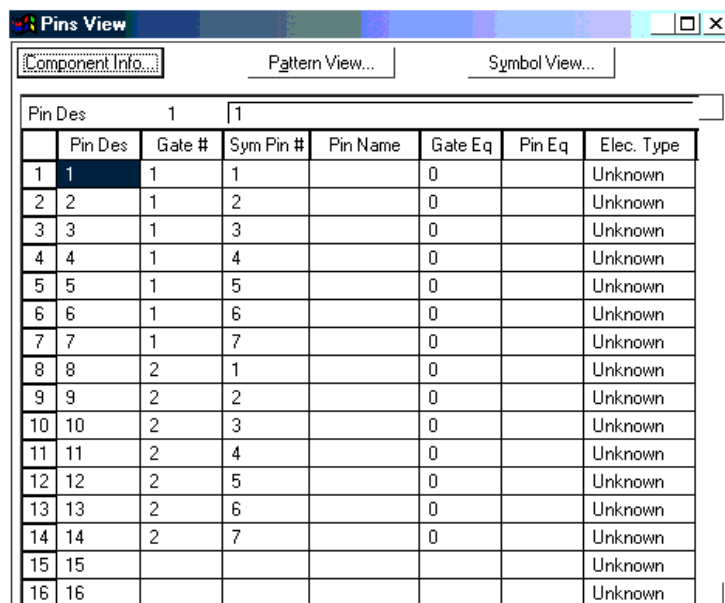
**Pin Des** – номер вывода (радиодетали). Без изменений.

**Gate** – номер элемента в составе радиодетали, которому принадлежит данный вывод. Для выводов земли и питания задается значение PWR.

**Sym Pin** – номер вывода символического изображения (на принципиальной схеме этот номер будет заменен на номер вывода радиодетали).

**Pin Name** – символическое имя вывода. Задаются GND, VCC для выводов земли и питания, уникальные имена для остальных выводов.

**Gate Eq** – группа эквивалентности выводов в пределах элемента радиодетали. Для выводов одного элемента задается равным 1, для выводов GND и VCC не задается (0).



Pin Des	Gate #	Sym Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec. Type
1	1	1		0		Unknown
2	1	2		0		Unknown
3	1	3		0		Unknown
4	1	4		0		Unknown
5	1	5		0		Unknown
6	1	6		0		Unknown
7	1	7		0		Unknown
8	2	1		0		Unknown
9	2	2		0		Unknown
10	2	3		0		Unknown
11	2	4		0		Unknown
12	2	5		0		Unknown
13	2	6		0		Unknown
14	2	7		0		Unknown
15						Unknown
16						Unknown

**Pin Eq** задается для эквивалентных выводов. В случае различной функциональной нагрузки входов/выходов указывается 0 (не отображается).

**Elec Type** – электрический тип вывода. Задаются значения **Input** (вход), **Output** (выход), **Power** (для «земля» и «питание»). Возможны другие значения.

Рис. 1.16. Таблица выводов элемента

Заполнение таблицы выводов элемента – задача нетривиальная. Определиться с соответствием выводов условного обозначения элементов в составе радиодетали ее посадочной площадки (указано в задании), необходимо указать ряд дополнительных параметров для каждого вывода.

При заполнении таблицы вначале нужно задавать значения электрического типа выводов (**Elec. Type**, см. выше). При заполнении поля эквивалентности **Pin Eq** можно оставлять его пустым (нулевым), если выводы выполняют разные функции в пределах логического элемента. Для введения значения в поле оно выделяется клавишами управления курсором либо мышью, после чего вводится число либо текст. Для задания специфических, предопределенных заранее значений их тип (например, электрический тип вывода) выбирается в выпадающем списке, открываемом нажатием на кнопку справа в области редактирования (над таблицей). Ниже при-

водится пример заполненной таблицы для тестового элемента (**54ALS\_02**) (рис. 1.17).

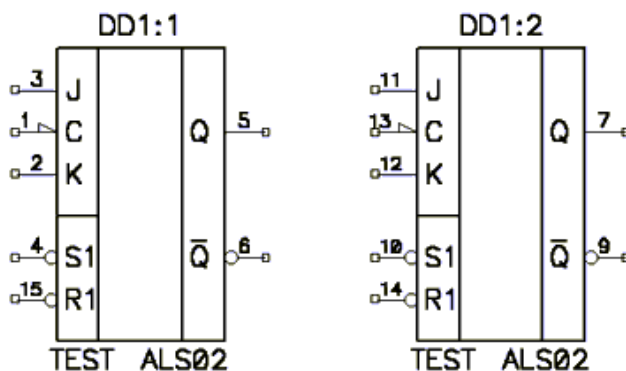
По завершении заполнения таблицы необходимо убедиться в том, что при задании связи выводов символа и посадочной площадки не было допущено никаких ошибок.

Сохраним компонент командой **Component Save**, указав компоненту осмысленное имя. При этом если была допущена явная ошибка в соответствие выводов, будет выдано предупреждение. Перед сохранением компонента необходимо исправить ошибку, руководствуясь полученным предупреждением.

Pin Eq	Pin Des	Gate #	Sym Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec. Type
1	1	1	2	C	1		Input
2	2	1	3	K	1		Input
3	3	1	1	J	1		Input
4	4	1	4	S	1		Input
5	5	1	6	Q	1		Output
6	6	1	7	#Q	1		Output
7	7	2	6	Q	1		Output
8	8	PWR		GND			Power
9	9	2	7	#Q	1		Output
10	10	2	4	S	1		Input
11	11	2	1	J	1		Input
12	12	2	3	K	1		Input
13	13	2	2	C	1		Input
14	14	2	5	R	1		Input
15	15	1	5	R	1		Input
16	16	PWR		VCC			Power

Рис. 1.17. Заполненная таблица выводов элемента 54ALS02

Закрыв программу P-CAD2006 Library Executive, запустим P-CAD 2006 Schematic (**Пуск/Программы/P-CAD2006/Schematic**). В редакторе принципиальных схем первоначально необходимо убедиться, что библиотека **test.lib**, в которой сохранен разработанный компонент, подключена. Вызовем меню библиотек **Library/Setup** и добавим библиотеку **test.lib** в случае, если она отсутствует. Так как в Schematic одновременно ведется работа только с одной библиотекой, ее необходимо расположить наверху списка кнопкой **Move Up**. Разместив на схеме несколько элементов, можно



проверить, соответствует ли их условное изображение (нумерация выводов, самих элементов в составе радиодетали) заданному (рис. 1.18).

Рис. 1.18. Символьные изображения двух динамических JK-триггеров в составе элемента 54ALS02 (редактор P-CAD2006 Schematic)

## 2. Создание принципиальных электрических схем

Создание принципиальной электрической схемы является следующим этапом в реализации проекта печатной платы. Принципиальная схема является основой всего проекта и тесно связана как с этапом создания библиотеки элементов, так и с этапом разводки самой печатной платы, поэтому относиться к ее созданию нужно с особым вниманием.

### 2.1. Создание схемы средствами схемного редактора P-CAD 2006 Schematic

Рассмотрим процесс создания принципиальной электрической схемы на основе созданной ранее библиотеки элементов.

Средством для создания схем в пакете P-CAD 2006 EDA является P-CAD 2006 Schematic, общий вид которого приведен на рис. 2.1.

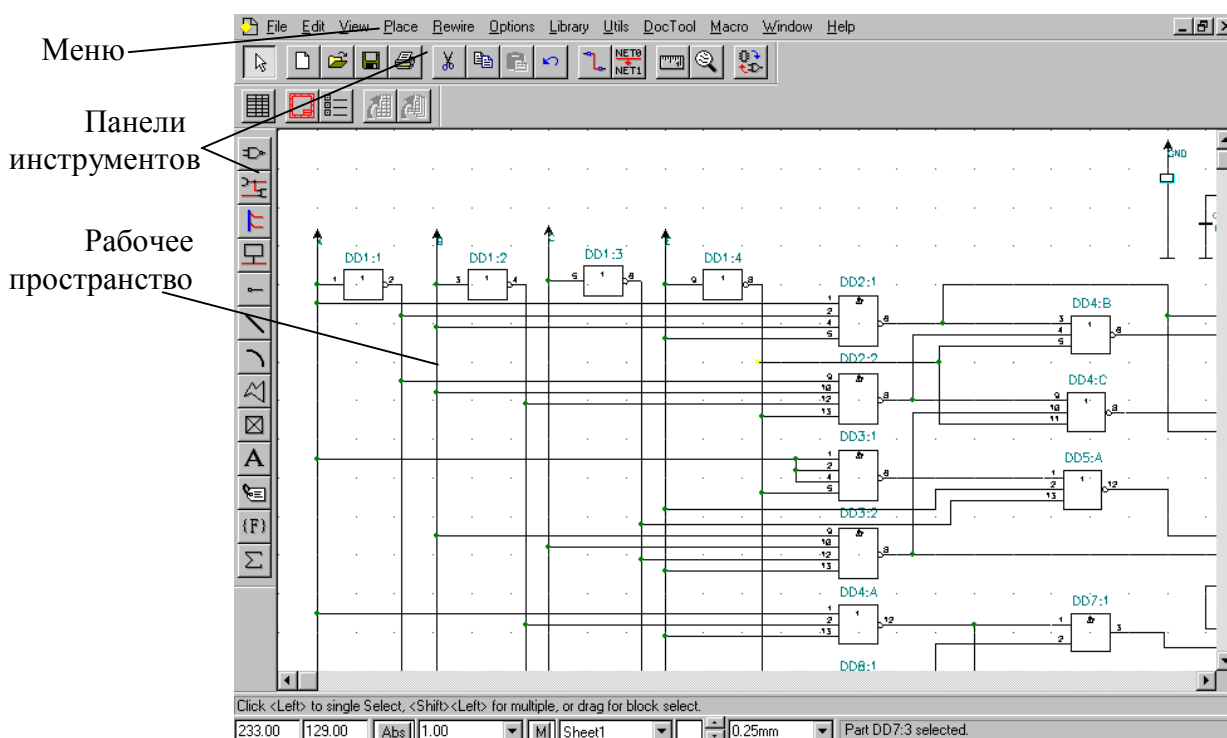


Рис. 2.1. Основное окно редактора P-CAD 2006 Schematic

Основными элементами схемного редактора являются: меню, панели инструментов и рабочее пространство.

#### 2.1.1. Настройка конфигурации редактора

Первый этап – подготовка рабочего пространства, для чего служит команда **Configure** из меню **Options** (для краткости будем писать **Options/Configure**). В открывшемся диалоговом окне (рис. 2.2) нужно установить параметры:

**Workspace Size** (размер рабочей области) – **A4**;

**Units** (единицы измерения) – **mm**.

Остальные параметры являются для нас менее важными (об их назначении можно прочитать в справочной системе редактора).

В диалоговом окне, открываемом при выборе команды **Options/Display** (рис. 2.3), можно изменить цвета всех элементов рабочей области: фона, проводов, элементов, узлов и др. По умолчанию фон имеет черный цвет, что, на наш взгляд, является не очень удобным. В дальнейшем будем использовать фон белого цвета, провода и элементы – черного, цвет выделенного элемента – красного. Рекомендуем для единообразия использовать те же цвета.

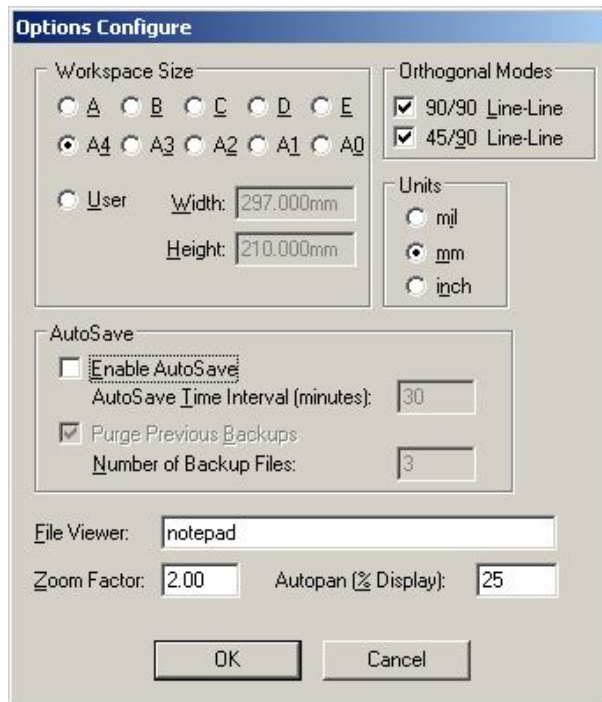


Рис. 2.2. Диалоговое окно настроек рабочей области

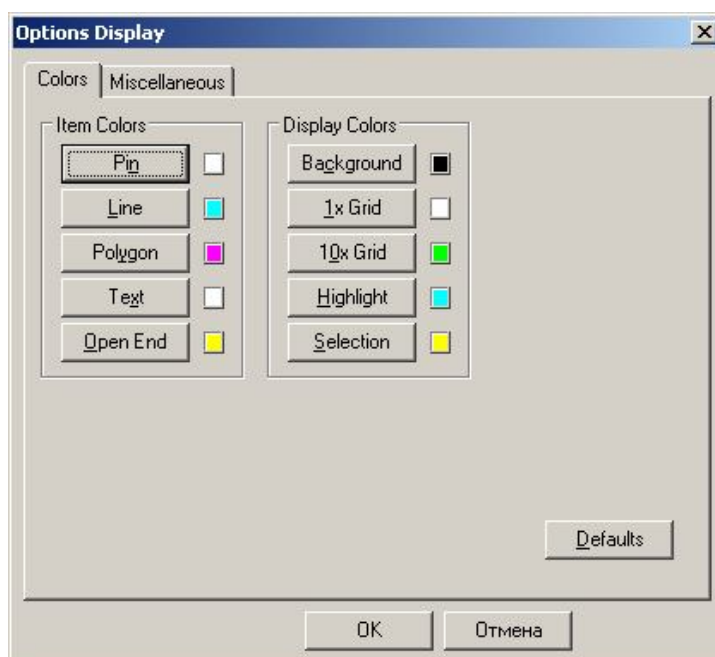


Рис. 2.3. Параметры отображения элементов

Еще один необходимый параметр – шаг сетки **Grid**, по которой выравниваются все элементы схемы. Рекомендуемый шаг сетки 1 мм. Для его установки выберите команду **Options/Grids**, в поле **Grids Spacing** открывшегося диалогового окна введите значение **1.00** и нажмите кнопку **Add** (рис. 2.4). В списке **Grids** можно выбрать одно из уже введенных значений. Отметим, что неправильный выбор шага сетки может серьезно осложнить дальнейшую работу.

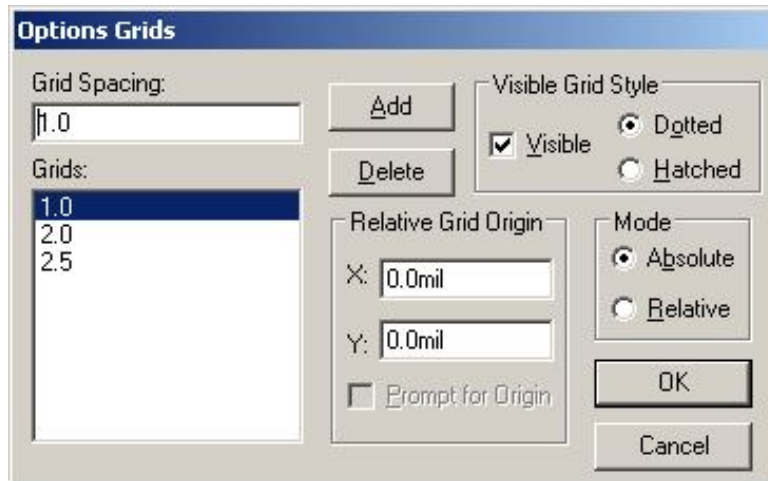


Рис. 2.4. Выбор шага сетки

### 2.1.2. Размещение элементов схемы

Теперь рабочее пространство подготовлено и можно переходить к созданию схемы. В качестве примера возьмем схему, изображенную на рис. 2.5.

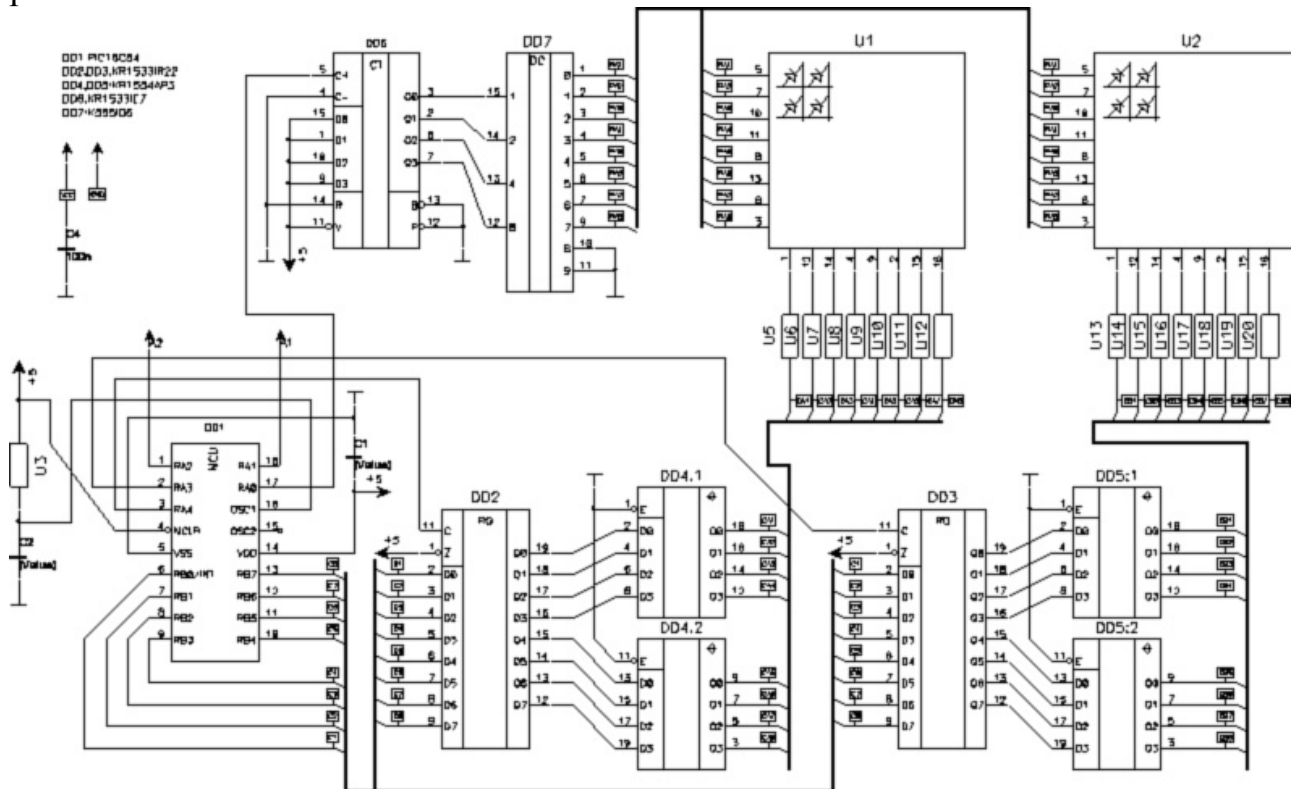




Рис. 2.5. Пример принципиальной электрической схемы



Рассматриваемая схема построена на основе микроконтроллера PIC16C84 (DD3), выводящего графическую информацию на две светодиодных матрицы. Элементы DD1-DD2 (счетчик и дешифратор) реализуют построчную развертку изображения, элементы DD4-DD7 (регистры и буферные каскады) используются для хранения очередной выводимой строки. Приступим к построению схемы.

Откроем редактор P-CAD Schematic (команда меню **Пуск/Программы/P-CAD Schematic**). Настроим редактор для дальнейшей работы: откроем окно настроек редактора **Options/Configure**. В поле **Units** выберем миллиметры (mm), **Workspace Size** – A4. Подтвердим установки (**OK**). Далее настроим сетку. Для этого, открыв окно установки сетки **Options/Grids**, введем 5.00<sup>1</sup> в поле **Grid Spacing**, нажмем **Add**. Убедимся, что новая сетка является текущей (выделена в списке). Затем укажем используемую библиотеку элементов, открыв окно **Library Setup**, выберем библиотеку **TGTU.lib** в списке доступных библиотек (в случае отсутствия таковой добавим ее кнопкой **Add** с указанием пути). Если библиотека TGTU не является первой в списке, переместим ее наверх кнопкой **Move Up**.

Теперь приступим к созданию схемы. На первом этапе необходимо разместить элементы так, как показано на рисунке для определенного варианта. При этом очень важно постараться разместить элементы так, чтобы не создать препятствий для дальнейших построений<sup>2</sup>.

Для размещения элементов включим режим размещения (кнопка ) и укажем нажатием кнопки мыши место на схеме. Откроется окно выбора элемента. На указанной в примере схеме присутствуют элементы: PIC16C84 (1), KP1533 IP22 (2), KP1554 AP3 (1), KP1533 IE7(1), K555И6(1), две матрицы TC23-11SRWA. Определившись с типом размещаемого элемента, укажем его позицию на схеме, курсор при этом будет иметь форму перекрестия. Поместив первый элемент в составе радиодетали (DD1:1), разместим оставшиеся элементы данного типа. Для выбора элементов в составе радиодетали очередного типа закончим текущее размещение правой кнопкой мыши. Очередное нажатие в области схемы приведет к появлению окна выбора элемента. Повторим процесс, получив в результате размещение следующего вида (рис. 2.6). Если какие-либо элементы размещены неточно, их можно перетащить в режиме, включаемом кнопкой . Элемент выделяется рамкой (рамка должна полностью охватывать элемент) либо одним нажатием в его области. Выделенный элемент (группа элементов) может быть развернут на 90° кнопкой **R** или горизонтально отражен кнопкой **F**.

<sup>1</sup> В дальнейшем при работе в P-CAD Schematic может потребоваться изменение шага сетки на меньший (1 мм).

<sup>2</sup> Существенный момент: возможности отката (Undo) в P-CAD 2006 существенно ограничены, потому желательно периодически производить сохранение чертежа.

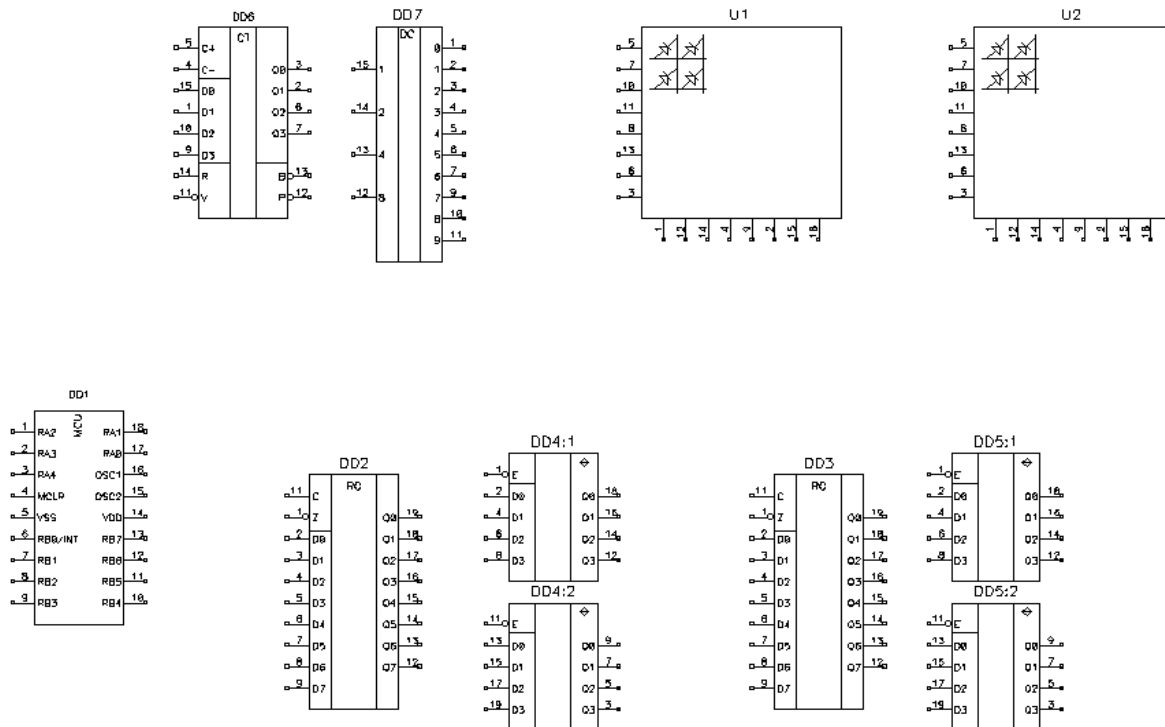





Рис. 2.6. Предварительное размещение элементов принципиальной схемы

### 2.1.3. Разводка соединительных проводников

На следующем этапе производится объединение выводов элементов электрическими цепями (кнопка  панели инструментов). Добавление новой точки излома провода осуществляется по левой кнопке мыши, завершение протяжки провода – по правой кнопке. При проведении линий может возникнуть необходимость их редактирования. Возможно перетаскивание либо удаление участков проводов, выделенных мышью. Кроме того, в проводник можно добавить точки излома, воспользовавшись кнопкой **Rewire Manual** –  (основная инструментальная панель).

Зададим стиль рисования проводников – сплошная толстая линия. Для этого необходимо выполнить команду **Options/Current Wire**. В появившемся диалоговом окне **Options Current Wire** устанавливаются параметры рисования проводников: в поле **Width** (ширина) выбрать **Thick** (толстая линия). Нажать **ОК**.

Поместим основные связи между размещенными элементами. Затем введем в схему три шинных соединения, воспользовавшись кнопкой  (команда **Place/Bus**). Теперь к каждой размещенной шине можно подвести провода, входящие либо исходящие из нее. Для этого достаточно начать линию в нужной точке и закончить ее в позиции входа в шину, излом провода будет произведен редактором автоматически (рис. 2.7).

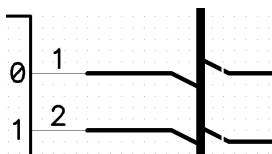

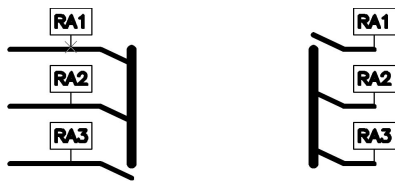


Рис. 2.7. Шинные соединения

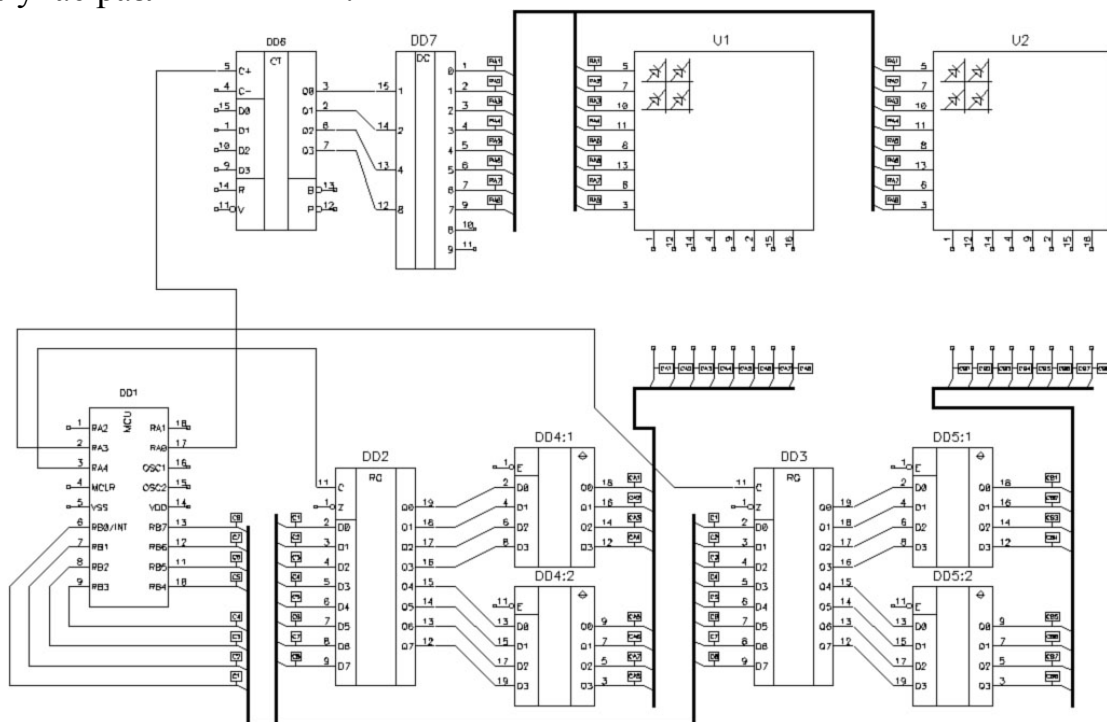
Полученные шинные соединения пока не содержат идентификаторов, указывающих на определенный сигнал (для входа и выхода из шины). В качестве таких идентификаторов в P-CAD используются порты, связанные с той или иной цепью (**net**) и однозначно определяющие ее. Используя порты, совершенно необязательно протягивать шины, которые введены в чертеж лишь для наглядности. Порт размещается командой **Place/Port** (кнопка ). Включив режим размещения порта, нажмем в области схемы. Откроется окно свойств размещаемого порта. В нем укажем: **Net Name** (имя цепи или порта) – **RA1** (для рассматриваемого примера), **Pin Count** – **One Pin** (один вывод), **Pin Length** – **Long** (длинный вывод), **Pin Orientation** – **Vertical**. Включим флажок **Increment Port Name**, что позволит размещать последующие порты с именами **RA2, RA3 ...** и т.д. автоматически. Нажав **OK**, укажем на схеме позицию порта (рис. 2.8, указано перекрестием).



**Рис. 2.8.** Порты-идентификаторы входов в шину

Аналогично разместим порты **RA2...RA8**. Затем, нажав правую кнопку мыши, прервем размещение портов с текущим инкрементируемым именем. Теперь по нажатию левой кнопки мыши снова попадем в окно свойств порта. Повторим операцию, указав порты **RA1...RA8** на входах в светодиодные матрицы, **C1...C8** для данных с порта В микроконтроллера и т.д.

В результате получим схему, приведенную на рис. 2.9. При этом важно соблюсти требование уникальности имен портов для разных цепей даже в случае различных шин.



**Рис. 2.9.** Формируемая принципиальная схема

Окончательный этап – размещение и связывание дискретных элементов: фильтрующих емкостей, сопротивлений, элементов земли и питания. Руководствуясь непосредственно принципиальной схемой, указанной в задании, введем эти элементы в схему.

DD1:PIC16C84  
DD2,DD3:KR1533R22  
DD4,DD5:KR1554AP3  
DD6:KR1533IE7  
DD7:K555ID6

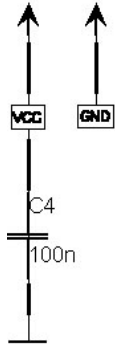


Рис. 2.10. Цепь питания

Поместим текст **Place/Text**, поясняющий элементный состав схемы: нажав в режиме размещения текста в области схемы, введем в открывшемся окне комментарий.

В результате всех произведенных операций получим принципиальную схему устройства (рис. 2.11). Используем ее для генерации списка соединений и сохраним в файл.

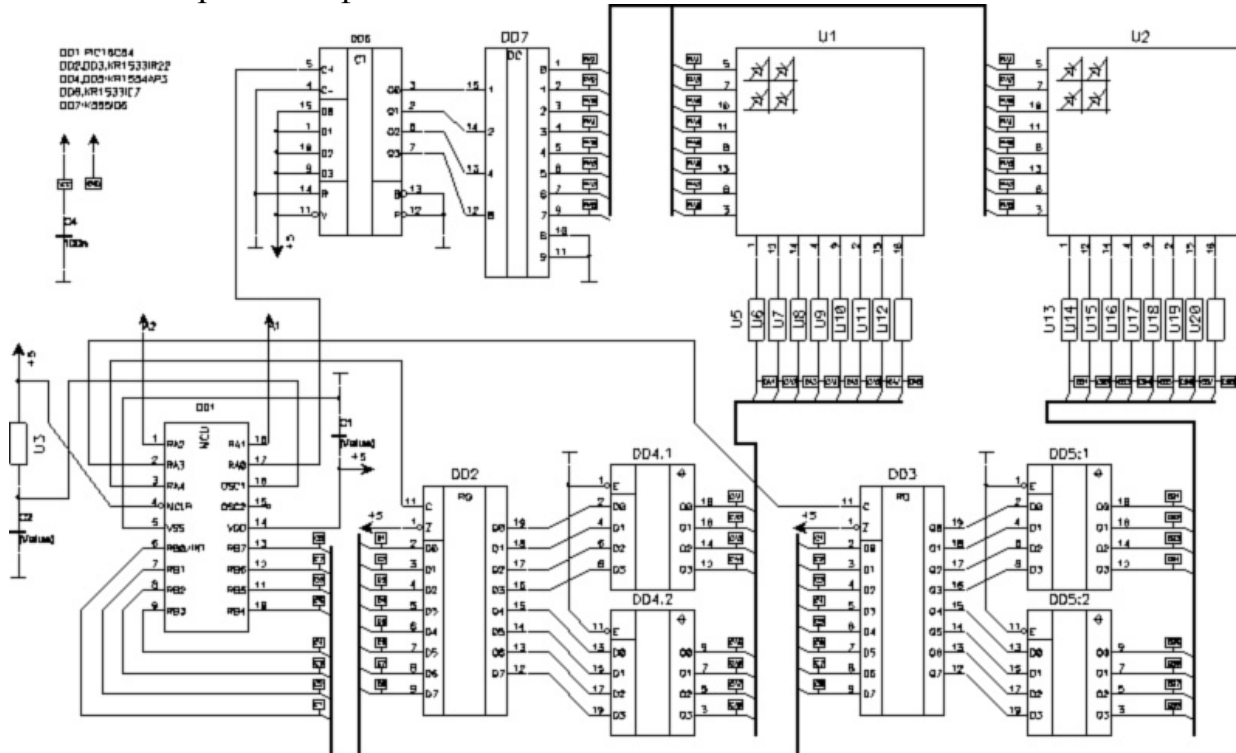


Рис. 2.11. Завершенная принципиальная схема устройства

#### 2.1.4. Генерация списка соединений

Сохраним схему командой **File/Save**. Оставив фильтр **Binary Files** (\*.sch), введем имя (**Laba3**) и сохраним файл. Сформируем список соединений: **Utils/Generate Netlist**. Откроется окно (рис. 2.12).

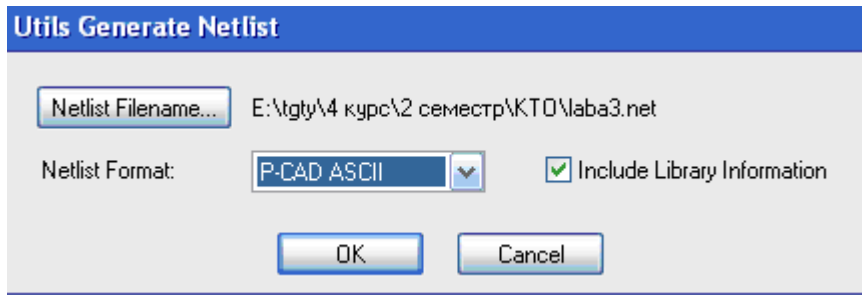


Рис.2.12. Генерация списка соединений

Оставив параметры списка соединений (**P-CAD ASCII**, **Include Library Information – On**), нажмем **OK**, сформировав список. На этом работа в редакторе принципиальных схем P-CAD v.2006 Schematic закончена.

#### 2.1.5. Вывод схем на печать

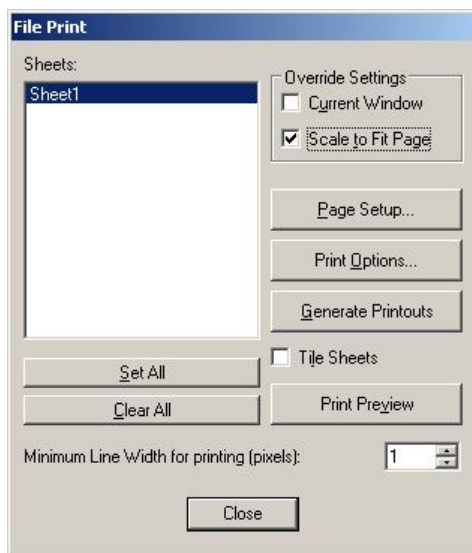


Рис. 2.13. Диалоговое окно параметров печати

Существует два способа печати:

1. Непосредственная печать из P-CAD 2006 Schematic (требуется принтер, подключенный к машине, где установлен P-CAD) выполняется с помощью команды **File/Print**. В открывшемся диалоговом окне (рис. 2.13) можно выбрать различные параметры печати.

Если установить флажок **Scale to Fit Page**, то при печати схема будет увеличена или уменьшена в соответствии с форматом бумаги.

2. Печать с помощью одного из широко распространенных графических редакторов – Corel Draw, Paint Shop Pro и др. Для этого необходимо с помощью команды **File/DXF Out** сохранить схему в формате DXF (рис. 2.14).

В диалоговом окне нужно указать имя сохраняемого файла и выбрать лист из списка листов **Sheets** (в нашем случае это **Sheet1**). Полученный файл можно печатать непосредственно из графического редактора или преобразовать в любой другой графический формат.

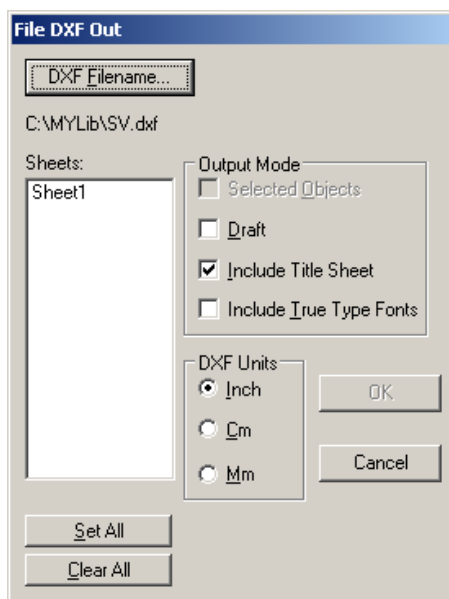


Рис. 2.14. Сохранение схемы в формате DXF

### 3. Трассировка печатных плат

#### 3.1. Основные сведения о печатных платах

##### *Печатные платы в P-CAD 2006 EDA PCB*

Схемный редактор P-CAD 2006 EDA PCB использует многослойное представление ПП. Физически под слоем ПП понимают слой, в котором расположена металлизация – медные дорожки. В P-CAD 2006 PCB существует как минимум 11 слоев, лишь два из которых предназначены для разводки.

##### *Слои*

Существует три типа слоев в проекте ПП:

1. **Signal layer** – сигнальный, в котором размещается разводка.
2. **Plane layer** – плоскостной, где обычно не производят трассировку, он служит для подведения «питание» и «земля» к элементам схемы. Слой состоит из сплошной полосы меди или медной сетки.
3. **Non-Signal layer** – несигнальный, где размещаются проекции корпусов, надписи и другая информация, необходимая для производства ПП (центры сверления, места приклеивания радиоэлементов и др.)

Для учебных целей необходимо знать назначение лишь некоторых слоев:

1. **Top Silk** – расположен сверху ПП (со стороны элементов) и содержит информацию о проекциях корпусов (для контроля наложения) и наименовании элементов для монтажа.
2. **Top** – верхний сигнальный.
3. **Bottom** – нижний сигнальный.

Если проектируемая ПП должна иметь большее количество сигнальных слоев, они могут быть добавлены в любое время. Чаще всего при проектировании ПП для цифровых схем возникает необходимость иметь 4

слоя: два сигнальных и два слоя питания, соответственно приходится добавлять два слоя типа **Plane**.

### 3.2. Технологический редактор P-CAD 2006 EDA PCB

Технологический редактор P-CAD 2006 PCB (рис. 3.1) служит для автоматического создания и редактирования печатных плат – изменения положения элементов, толщины некоторых дорожек разводки и др. Редактор способен создать проект новой ПП (печатной платы) из списка соединений (**netlist**), находящегося в схемном редакторе P-CAD 2006 Schematic. Редактор предназначен непосредственно для редактирования ПП, а не для размещения и разводки ПП, другими словами, технологический редактор сам не в состоянии разводить ПП и размещать элементы. Для размещения и трассировки ПП в пакет P-CAD 2006 входит программный продукт под названием SPECSTRA. Если в поставке он отсутствует, то размещение придётся выполнить вручную или воспользоваться готовым размещением, принятым по умолчанию при создании проекта. Для разводки ПП служат утилиты, входящие в пакет, возможно использование ручной разводки.

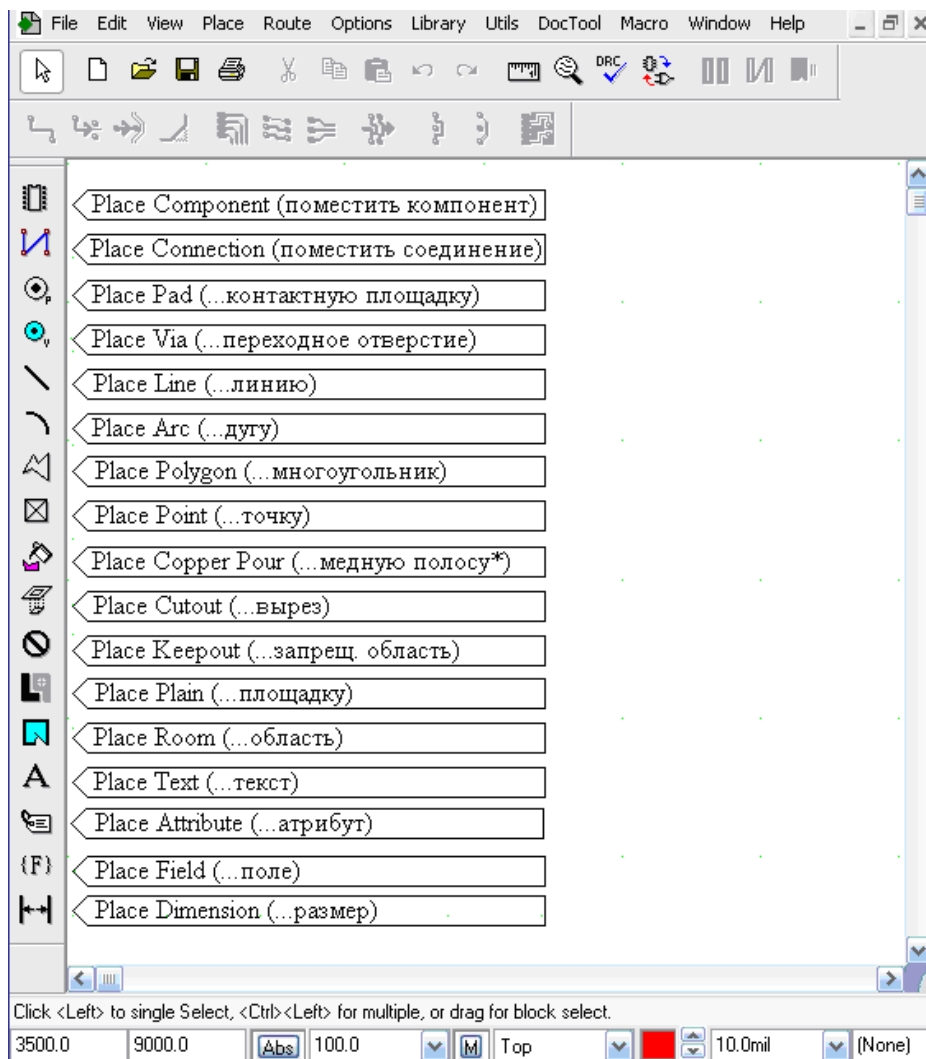


Рис. 3.1. Внешний вид редактора P-CAD 2006 EDA PCB

### 3.3. Выполнение разводки ПП

#### 3.3.1. Создание нового проекта. Установка начальных параметров

После запуска технологического редактора автоматически будет создан новый проект, где необходимо установить параметры ПП: метрическую систему измерения и размеры рабочего поля. Для этого следует вызвать диалоговое окно **Options Configure** из меню **Options/Configure** (рис. 3.2).

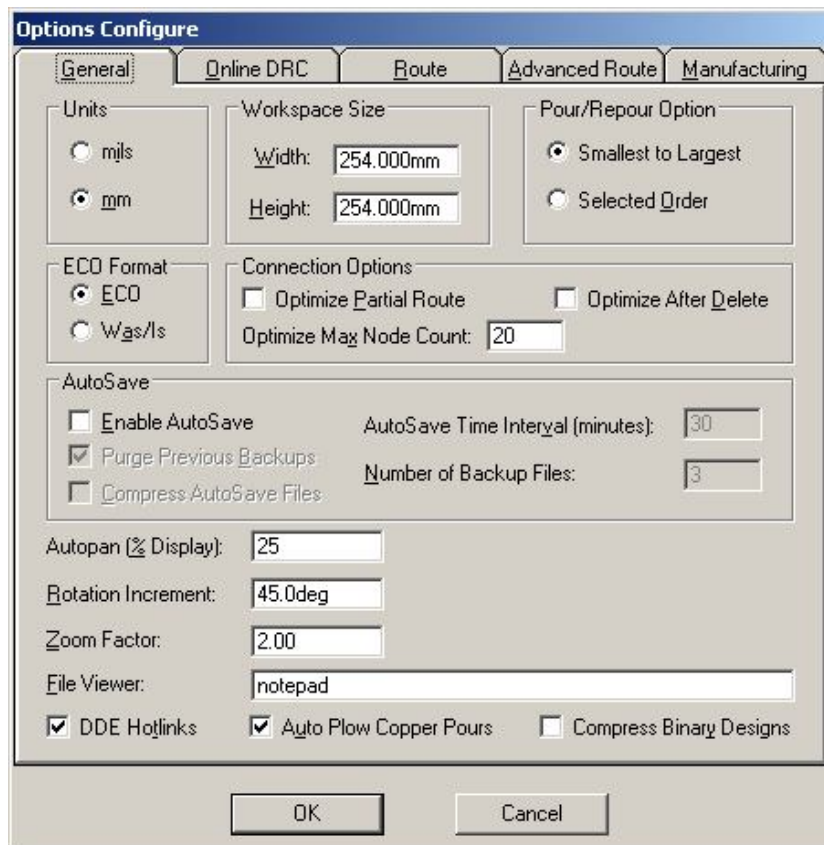


Рис. 3.2. Диалоговое окно Options Configure

В группе **Units** (единицы) установите **mm**, **Workspace Size** – желаемый размер ПП (в учебных целях размера по умолчанию 254 x 254 мм более чем достаточно, и изменять его обычно нет необходимости).

Перед загрузкой списка соединений (см. ниже) необходимо выбрать используемые библиотеки. Информация о физических свойствах элементов не содержится в списке соединений, там лишь символьные имена компонент, поэтому для P-CAD 2006 EDA PCB необходимо непосредственное указание библиотеки, использованной при рисовании схемы.

Для указания библиотеки следует выбрать пункт меню **Library/Setup** (рис. 3.3).

В данном окне отображается информация об открытых библиотеках. Необходимо добавить библиотеку, использованную при рисовании схемы при помощи кнопки **Add**.



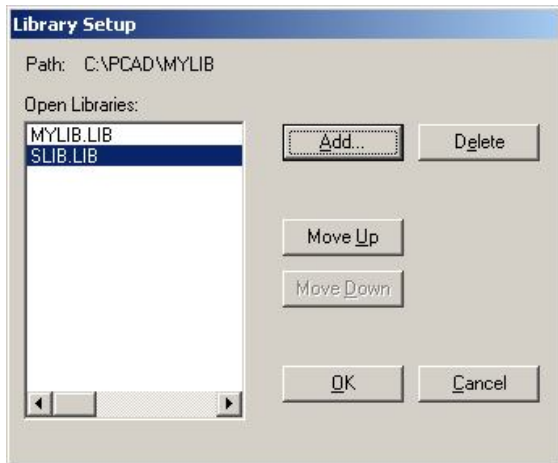


Рис. 3.3. Диалоговое окно Library Setup

*3.3.2. Загрузка списка соединений*  
 В редакторе P-CAD 2006 PCB загрузим список соединений, сгенерированный на предыдущем этапе работы. Выполним команду **Utils/Load Netlist**. В открывшемся окне (рис. 3.4) укажем путь к файлу соединений. Параметры оставить по умолчанию.

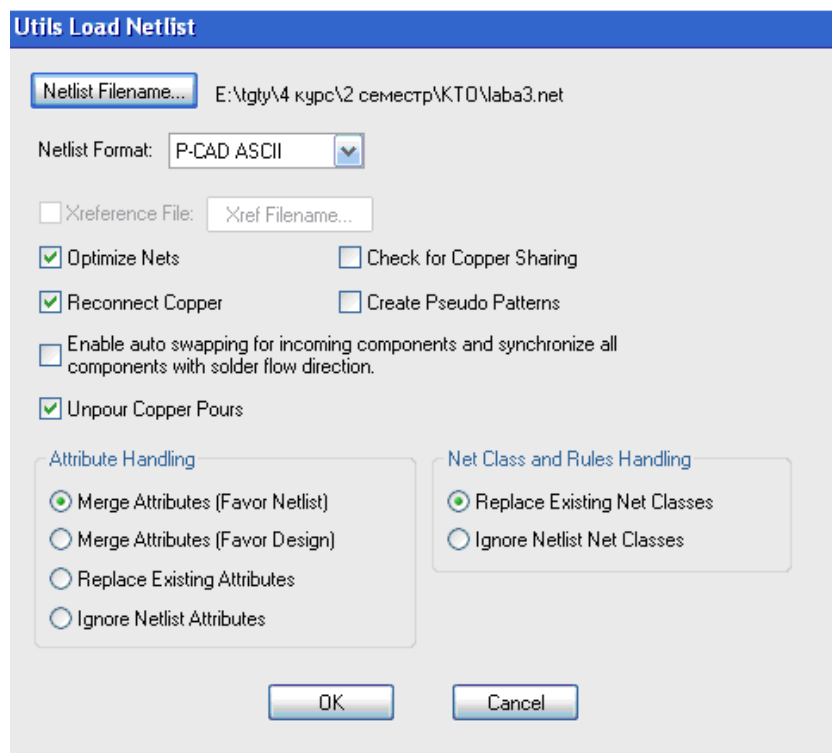


Рис. 3.4. Окно загрузки списка соединений

### 3.3.3. Установка границ ПП

После загрузки списка соединений P-CAD выполнит предварительное размещение элементов, обозначив цепи синими линиями. Полученное размещение далеко от оптимального. Выполнить размещение автоматически, учитывая межэлементные связи, можно, лишь воспользовавшись пакетом SPECSTRA. Предварительно необходимо выполнить некоторые действия по подготовке платы вообще и к авторазмещению в частности.

Прежде всего, укажем границы ПП. Граница платы может иметь произвольную форму, в нашем случае представим ее прямоугольной рамкой вокруг уже размещенных элементов. Граница представляет собой замкнутый контур, проведенный обычной линией (**Place/Line** или быстрая кнопка

на инструментальной панели) в слое **Board**. Сделаем этот слой активным (рис. 3.5) и построим контур, закончив построение правой кнопкой мыши.



Рис. 3.5. Выбор текущего слоя

### 3.3.4. Ручное размещение элементов

Завершающим предварительный этап действием будет задание **фиксированных** положений некоторым элементам ПП. В частности известно, что контактные площадки должны находиться по краям платы. Разместить их нужно вручную, а после этого зафиксировать положение площадок. В противном случае автотрассировщик может расставить площадки так, как ему заблагорассудится. Переместим площадки и выделим их, используя одиночное выделение, выделение рамкой или групповое выделение с удерживанием кнопки **Ctrl**. Контекстное меню для выделенной группы будет содержать специфичные пункты только в том случае, если в группу войдут объекты одного типа (например, компоненты без связей). Следовательно, удобнее воспользоваться поочередным выделением с нажатой кнопкой **Ctrl**.

В окне свойств площадок (**Properties**, открывается из контекстного меню, вызываемого правой кнопкой мыши) поставим флаг **Fixed**. Цвет площадок при этом изменится на оливковый. Аналогично зафиксируем светодиодные матрицы. Далее, интересный момент: прочие неразмещенные элементы необходимо вытащить за пределы МПП, без чего программа авторазмещения не займется ими. Результат произведенных операций демонстрирует рис. 3.6.

### 3.3.5. Автоматическое размещение элементов

Откроем окно авторазмещения **Place/Autoplacement**. Все параметры в этом окне можно оставить по умолчанию. В частности, в поле **Autoplacer** будет указана программа SPECCTRA.

SPECCTRA представляет собой мощный пакет, поддерживает автотрассировку по бессеточной технологии, представляющей объекты совокупностью вершин. Данная технология позволяет получать более высокие результаты трассировки, чем встроенные трассировщики P-CAD Quick Route и Pro Route. Кроме того, использование Shape-Based-алгоритмов делает возможным задание ряда иерархических правил проектирования. Наконец, SPECCTRA предоставляет ряд дополнительных возможностей, например автоматическое размещение элементов платы. При работе с этим пакетом используется файл заданий (**DO File**), формировать который можно автоматически, воспользовавшись мастером создания файла заданий P-CAD.

В открывшемся окне авторазмещения P-CAD в поле **DO File** найдем кнопку **DO Wizard**. Нажав ее, попадем в окно помощника по созданию файла заданий. В нем достаточно нажать кнопку **Auto Create DO File**, после чего закрыть окно кнопкой **OK**. Теперь по нажатию кнопки **Start** окна авторазмещения получим плату, где элементы втиснуты в рамки отведенного пространства и расставлены с учетом заданных связей (рис. 3.7).

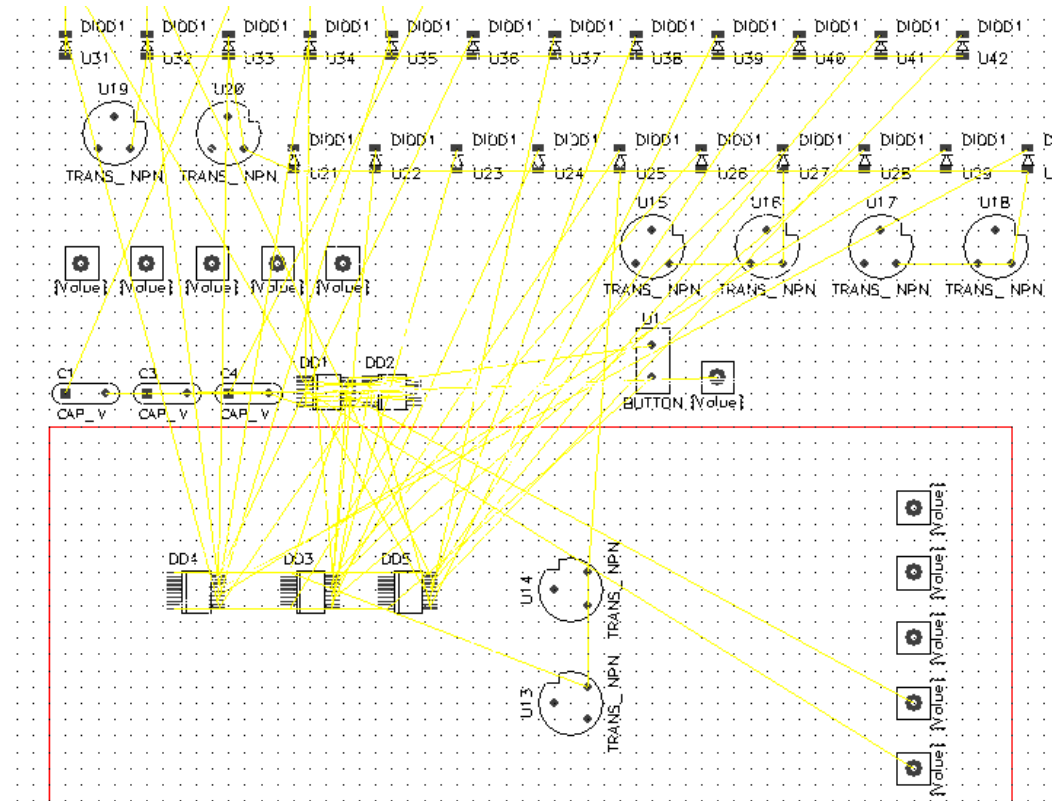


Рис. 3.6. МПП, подготовленная для авторазмещения

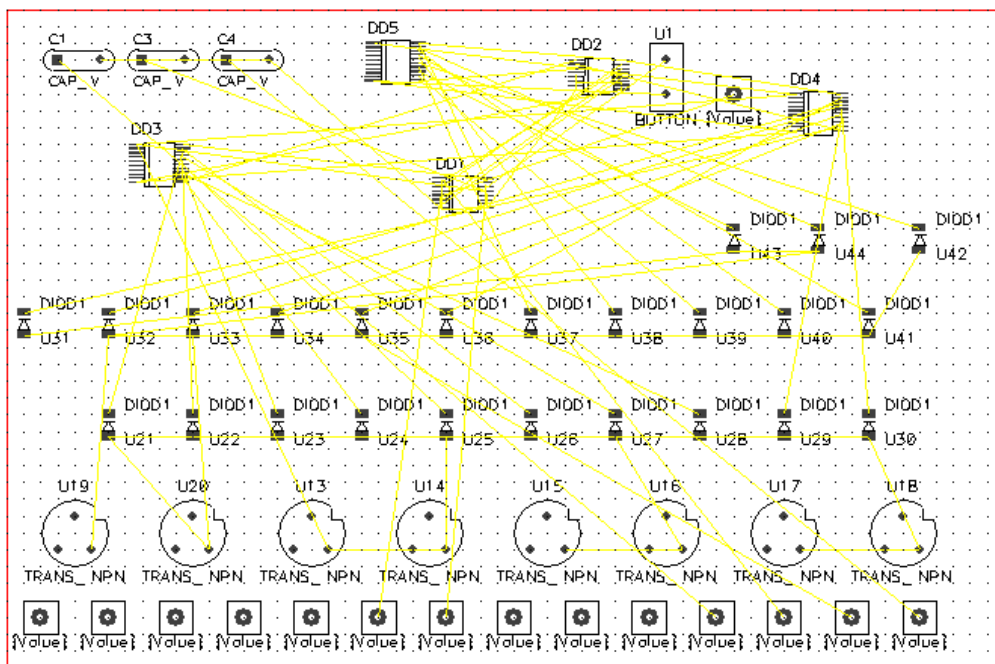


Рис. 3.7. Размещенные на МПП компоненты

### 3.3.6. Автоматическая трассировка

Печатная плата полностью подготовлена к трассировке. Осуществим ее, воспользовавшись пакетом SPECCTRA. Для этого вызовем окно **Route: Autorouters**. В поле **Autorouter** укажем **SPECCTRA**. Затем воспользуемся **DO Wizard**, аналогично помощнику для авторазмещения. После нажатия **Auto Create DO File** в окне **SPECCTRA DO File Wizard** внесем изменения в стратегию трассировки, увеличив количество проходов с целью повышения качества разводки. Выделим команды **DO File**, указывающие количество проходов алгоритмов трассировки на каждой из трех стадий: **clean 4, clean 4, clean 2** (рис. 3.8). В появляющихся окнах редактирования (**Number of Passes**) введем значения **6-6-6**, каждый раз подтверждая ввод кнопкой **Modify**. Закроем **Wizard (OK)**.

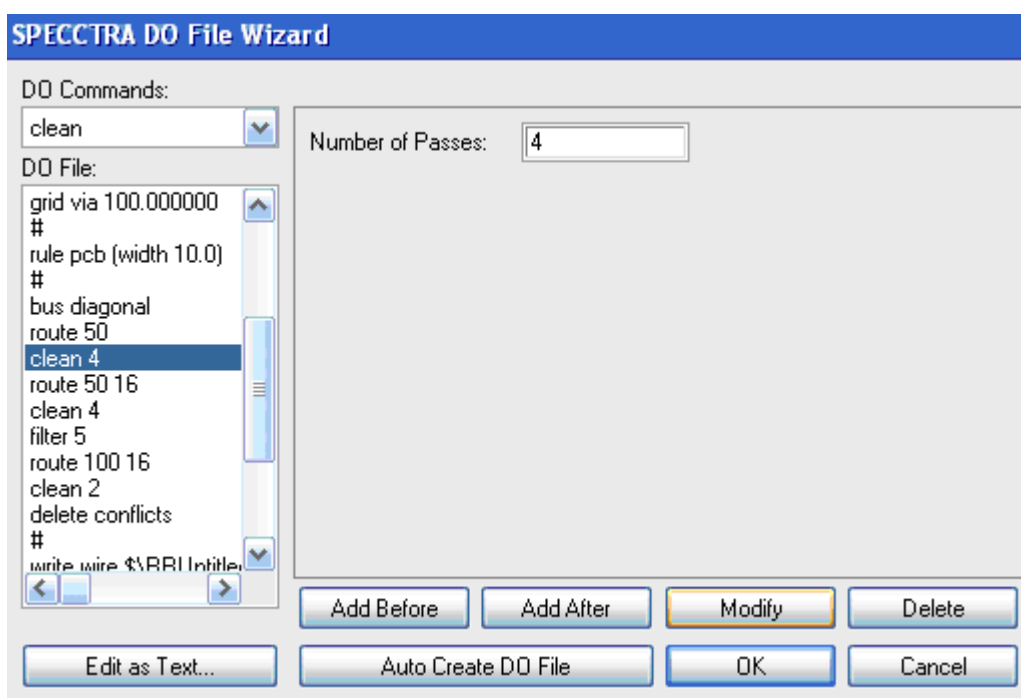


Рис. 3.8. Мастер создания DO File (SPECCTRA, Router)

Нажмем **START** и пронаблюдаем за процессом. Полученная разводка МПП приведена на рис. 3.9 (некоторые элементы удачнее разводить вручную).

Следующий момент обычно учитывается при производстве печатных плат **a la pcb at home**, на МПП оставляют медное покрытие, соединенное с шиной земли. Это уменьшит наводки и придаст плате товарный вид. Для получения медной полосы воспользуемся кнопкой (командой) **Place Copper Pour**.

Включим активный слой **Top**. Выполним команду меню **Place/Copper Pour**. Затем очертим многоугольник, нажимая кнопкой на вершинах (по контуру платы, отступая от него немного, иначе плата будет ограничена по выступающему полигону). Нажмём правую кнопку, чтобы завершить размещение. Выделим полигон, нажмём правую кнопку, пункт **Properties**. Установим значения: **Line width = 15 mil** или больше (в зависимости от

площади полигона и насыщенности закрашиваемых участков): **Backoff = 20 mil**, **Backoff smoothness = high**, **State = poured**. Включить **Save settings as default**. На вкладке **Connectivity** выберем **Net = GND**, **Thermals = 45°**. Нажмём **OK**. После этого повторим всю процедуру, переключив активный слой на **Bottom**. Результат (для слоя **Top**) приведен на рис. 3.10.

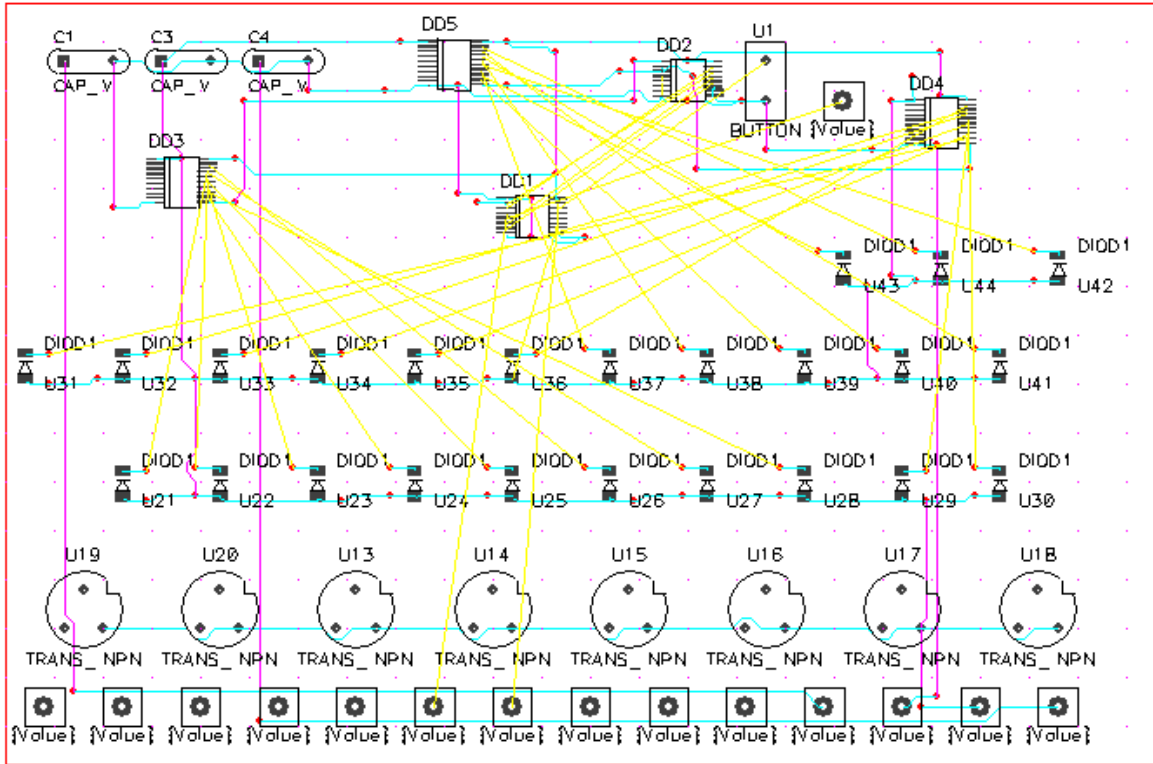


Рис. 3.9. Результат трассировки (SPECCTRA)

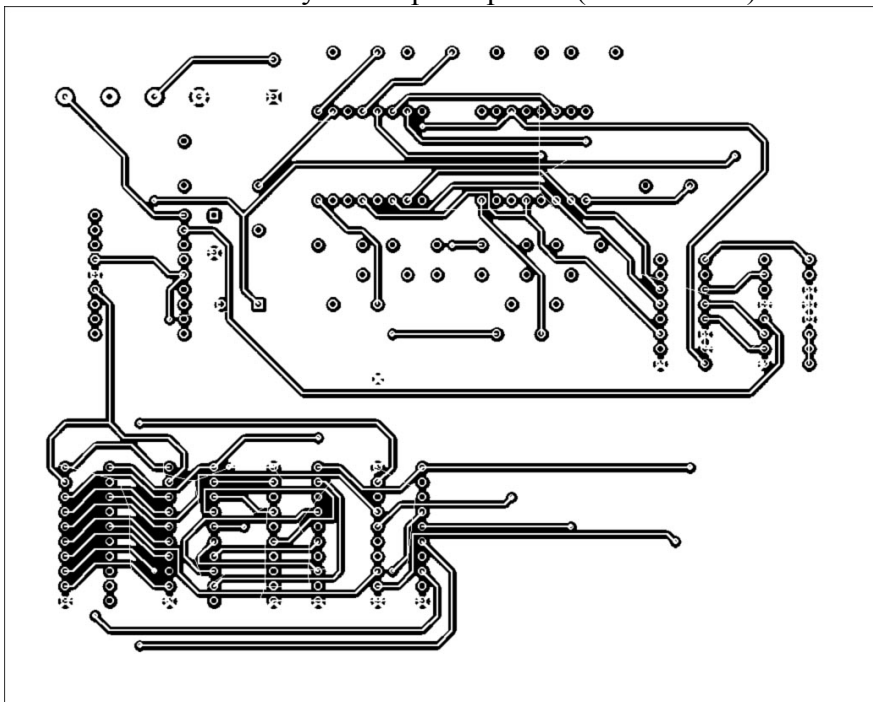


Рис. 3.10. МПП с медной заливкой (слой Top, инверсия цвета)

### 3.4. Подготовка отчетности

Окончательный этап – вывод разводки на печать. P-CAD 2006 располагает широкими возможностями оформления результатов, однако они в основном ориентированы на специализированные комплексы производства печатных плат. Так, P-CAD позволяет создавать файлы для плоттера и сверловки специализированных форматов. Для вывода на печать можно воспользоваться любой из программ, ориентированной на работу с векторной графикой. Такие программы не воспринимают собственный формат P-CAD, но можно перевести чертеж в формат DXF (**File/DXF Export**), формат WMF (**Windows Metafile, Edit/Copy to File**).

Просмотрим каждый значащий слой чертежа по отдельности, отключая ненужные слои. Предварительно разомкнем медные полосы (**Unpoured** в свойствах полосы). Слои отключаются в меню **Options/Layers**. Для того чтобы отключить текущий слой (**Top**), необходимо сначала выбрать другой слой в качестве текущего (двойное нажатие в меню слоев). Содержимое слоя можно скопировать в буфер **Clipboard**, вставив затем в любую программу работы с графикой (а также Microsoft Word) как битовую матрицу. Для этого необходимые объекты выделяются (**Edit/Select All** для выбора всех объектов) и копируются (**Edit/Copy**).

Необходимым дополнением к рисункам слоев МПП являются отчеты, поясняющие состав и особенности реализации платы. В P-CAD 2006 предусмотрена специальная функция создания отчетов, включаемая командой меню **File/Reports**.

Откроем окно указанной командой меню (рис. 3.11).

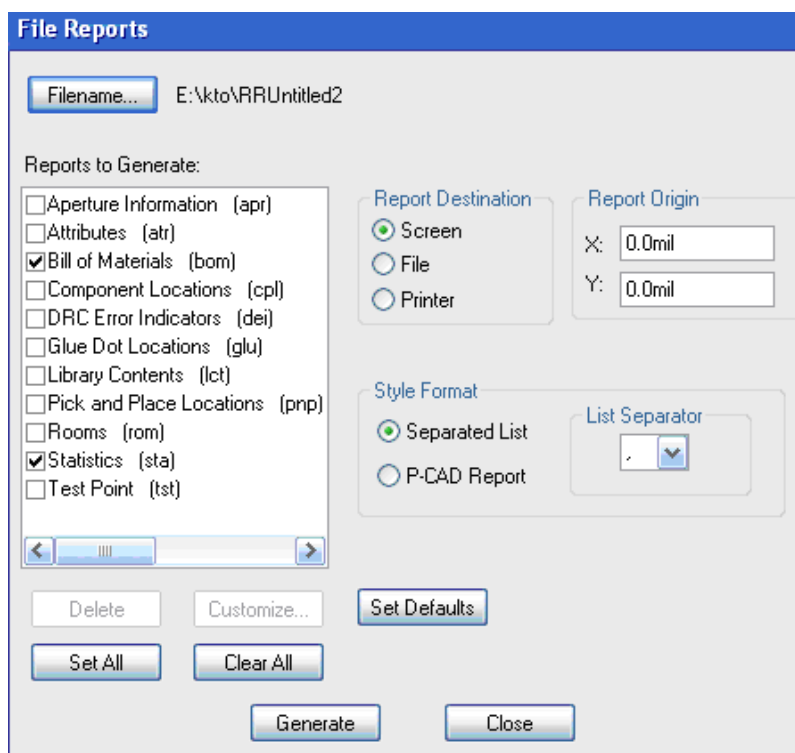


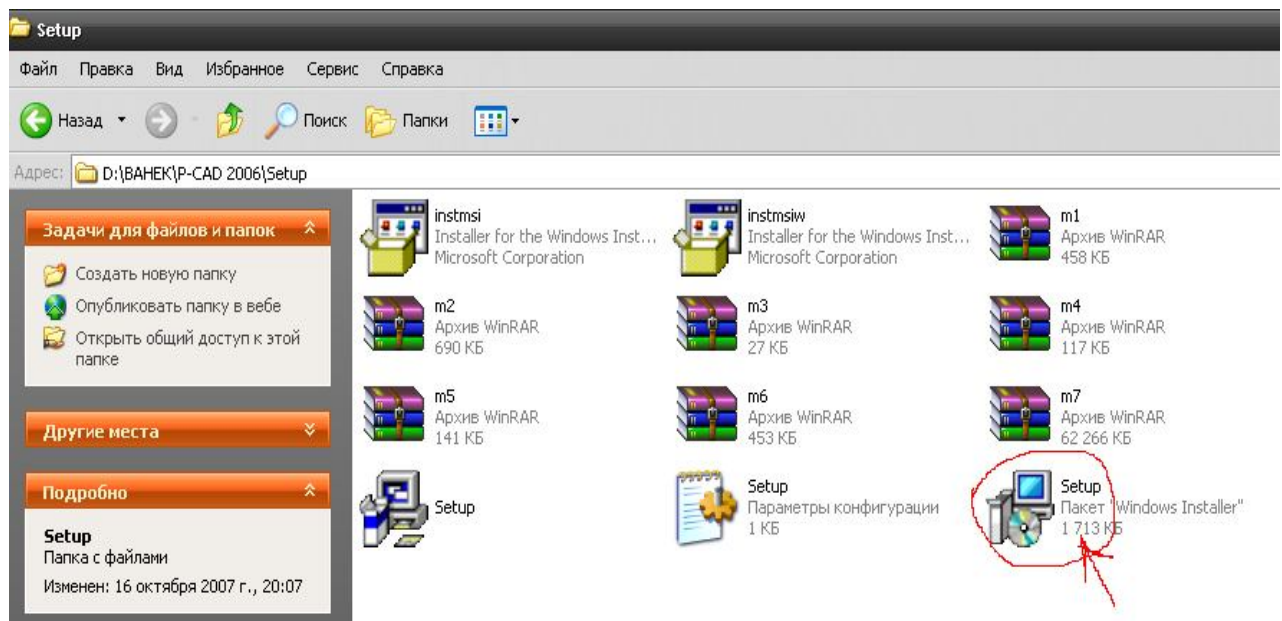
Рис. 3.11. Окно отчетов

Оставив настройки стиля и размещения отчета без изменений (**Style Format – Comma Separated, Report Destination – Screen**), выберем пункты **Bill of Materials, Statistic**. Нажатием кнопки **Generate** вызовем окна отчетов (**Notepad**). Окно **Bill of Materials** поясняет состав схемы, указывая тип каждого элемента. Это может оказаться удобным, когда в настройках изображения радиодеталей отключено отображение их типа. В окне статистики (**Statistic**) наибольший интерес представляет поле **Vias: X**, где **X** – количество переходных отверстий на схеме. По этому параметру часто оценивают качество произведенной трассировки.

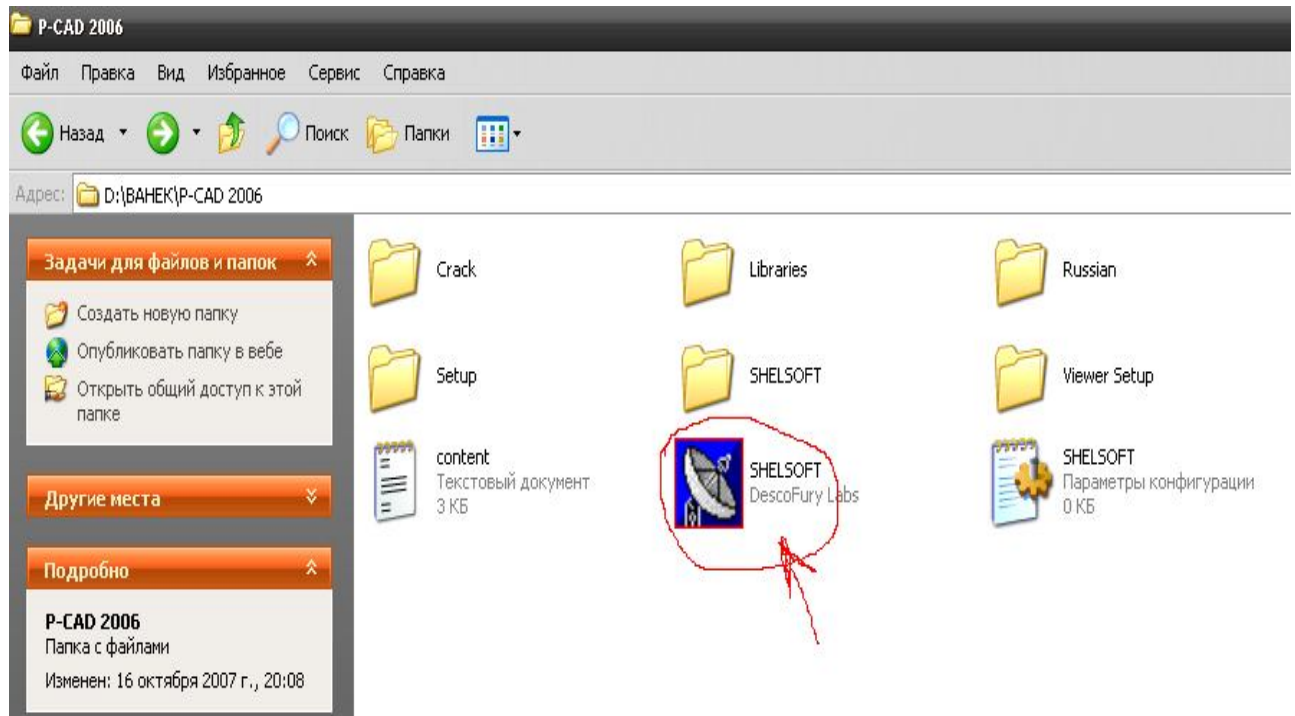
## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Лабораторная работа № 1 Знакомство с интерфейсом и изучение принципов работы в среде P-CAD v.2006

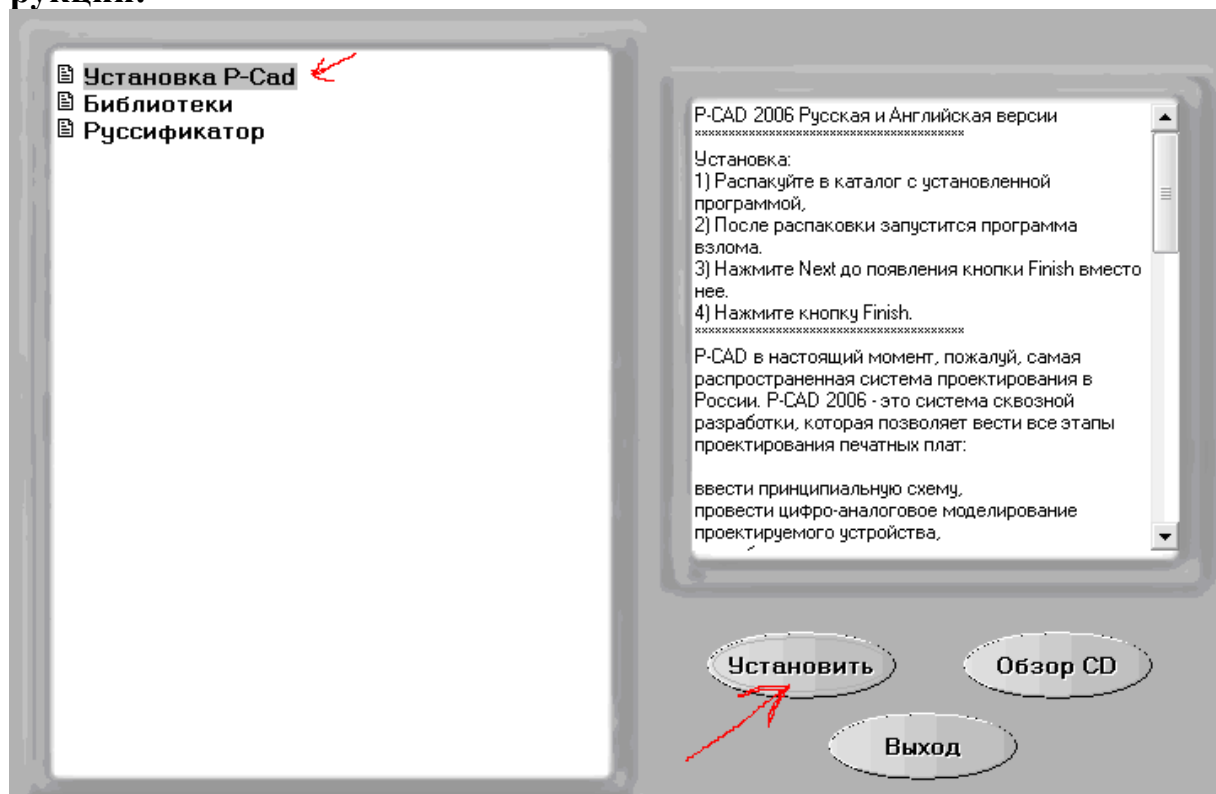
Для установки пакета P-CAD v.2006 запустите файл **setup.exe** из каталога **P-CAD/Setup**:



Или

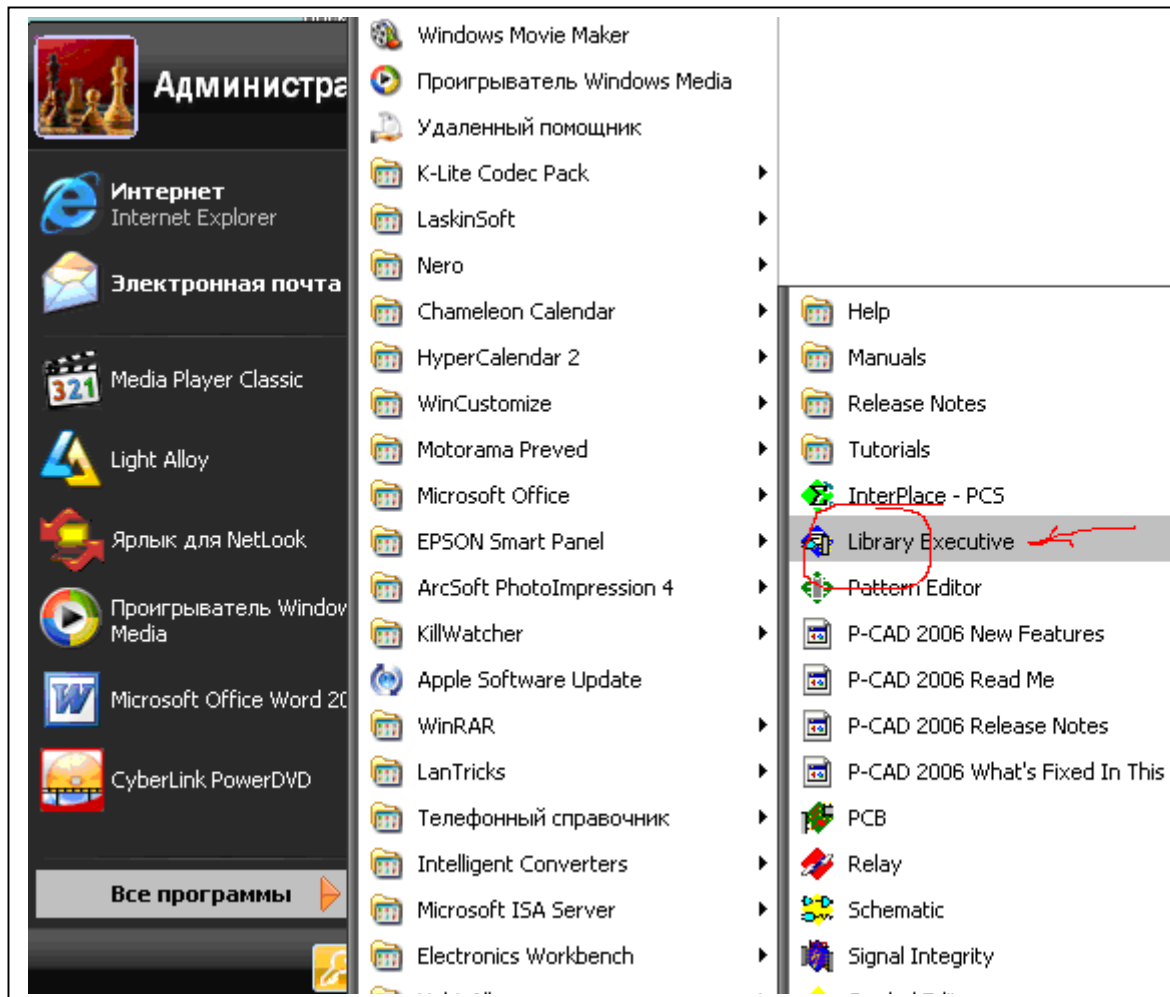


Дальнейший путь установки будет указан в открывшемся окне инструкции:



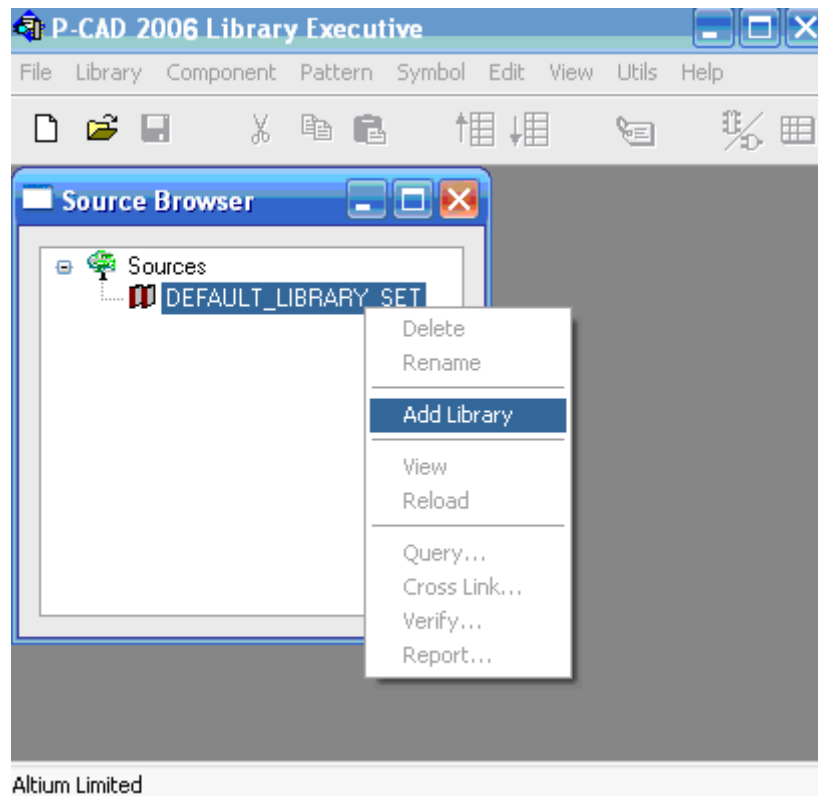


После установки пакета произвести настройку P-CAD.

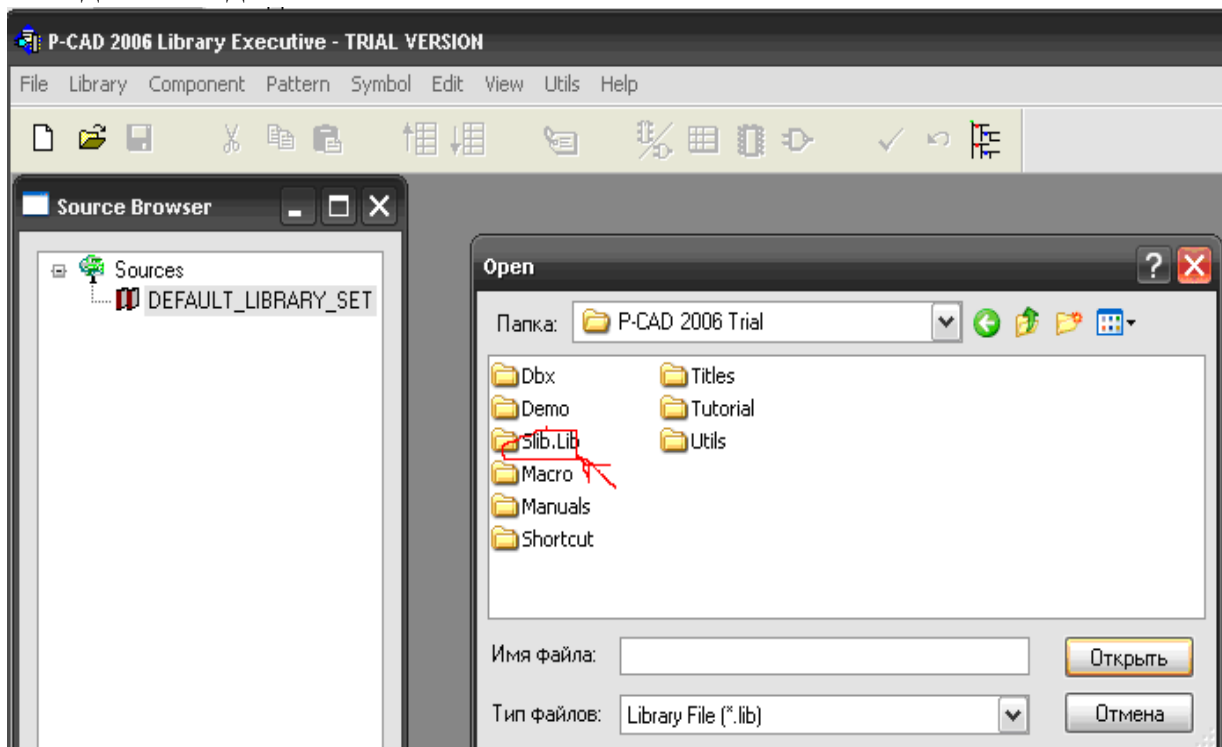


В меню Пуск/Программы/P-CAD 2006 запустить **Library Executive**:

Появляется окно:



Нажимаем правой кнопкой на **DEFAULT\_LIBRARY\_SET** и выбираем **Add library**, где указываем путь к файлу-библиотеке **Slib.Lib**, который находится на диске в папке **Библиотеки**:



## Описание работы

Пакет P-CAD 2006 состоит из нескольких самостоятельных, связанных друг с другом приложений. Конечная цель работы – получение окончательного рисунка монтажа печатной платы, который может быть применен непосредственно для производства самой платы. P-CAD при этом поддерживает возможность экспорта готового проекта в специфические форматы графопостроителей и сверлильных станков, однако пользователь, работающий в среде P-CAD 2006, необязательно должен иметь представление об этих форматах и реальных процессах конструирования печатных плат (PCB). Все построения в среде P-CAD производятся преимущественно в терминах принципиальных электрических схем, для получения же схемы реального устройства требуются лишь незначительные уточнения, поскольку при грамотных действиях проектировщика P-CAD сам устанавливает необходимое соответствие.

Итак, цикл разработки чертежа печатной платы устройства в среде P-CAD 2006 можно разбить на этапы:

1. Построение моделей базовых элементов устройства, включающих в себя модели цифровых элементов, дискретных радиодеталей и специальных схемных элементов, таких как внешний вывод схемы (полученные изначально, они могут использоваться и в дальнейшем без изменений). Этот этап в свою очередь можно разбить:

на построение символьного (условного графического) обозначения элемента – УГО. Выполняется в приложении P-CAD 2006 Symbol Editor, которое входит в состав P-CAD 2006, как и следующие приложения

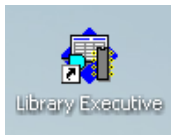


построение посадочной площадки элемента (**Pattern**). Выполняется в



P-CAD 2006 Pattern Editor ;

связь УГО и посадочной площадки с указанием информации о выводах, типе элемента и др. Выполняется в приложении P-CAD 2006 Library



Executive .

2. Построение принципиальной электрической схемы устройства. Вы-



полняется в приложении P-CAD 2006 Schematic .

### 3. Расположение элементов (контактных площадок) в области схемы и

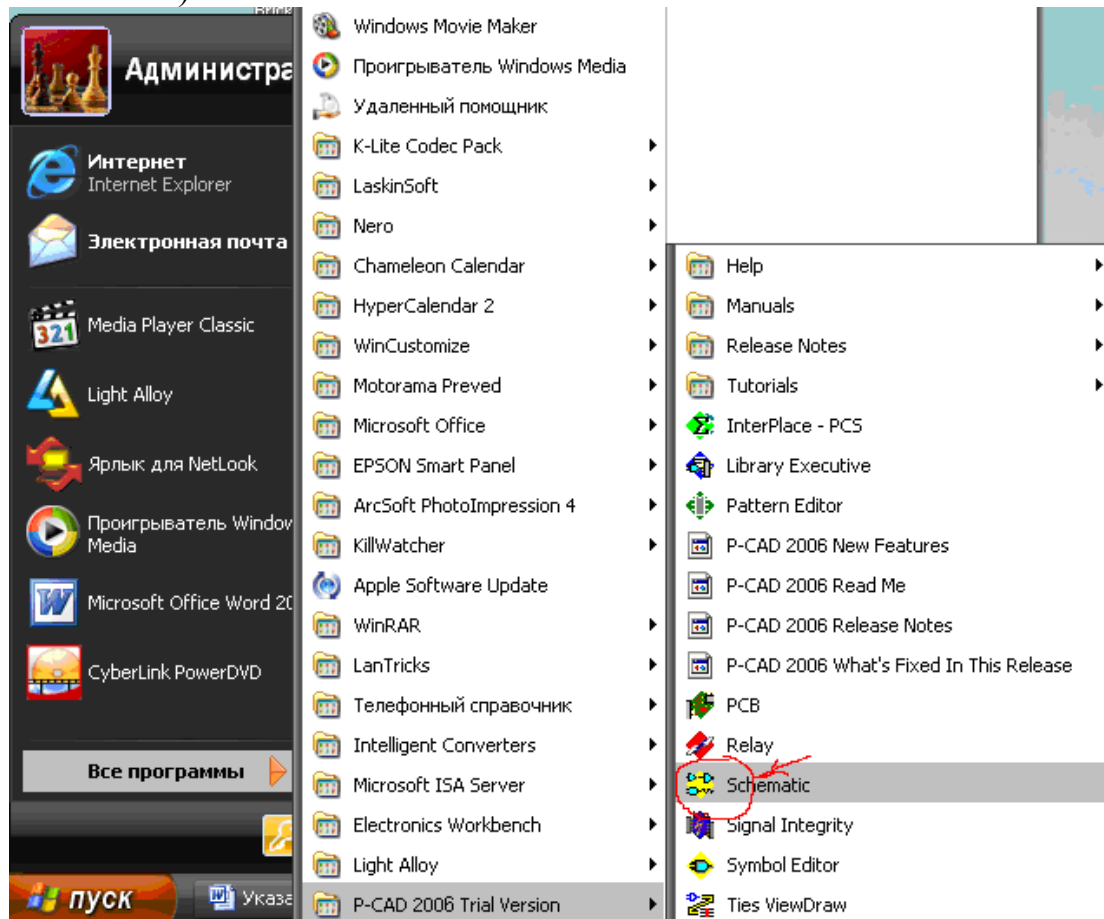
трассировка. Выполняется в приложении P-CAD 2006 PCB



С целью ознакомления с главными этапами работы в среде P-CAD 2006, получения необходимых сведений об интерфейсе основных ее приложений рассмотрим проект PCAD, представленный в виде принципиальной схемы (Schematic), и процесс трассировки ее в приложении PCB



Запустим приложение P-CAD 2006 Schematic, выполнив команду меню **Пуск/Программы/P-CAD 2006/Schematic** (двойным щелчком левой кнопки мыши):



Далее появляется внешний вид редактора (рис. 1).

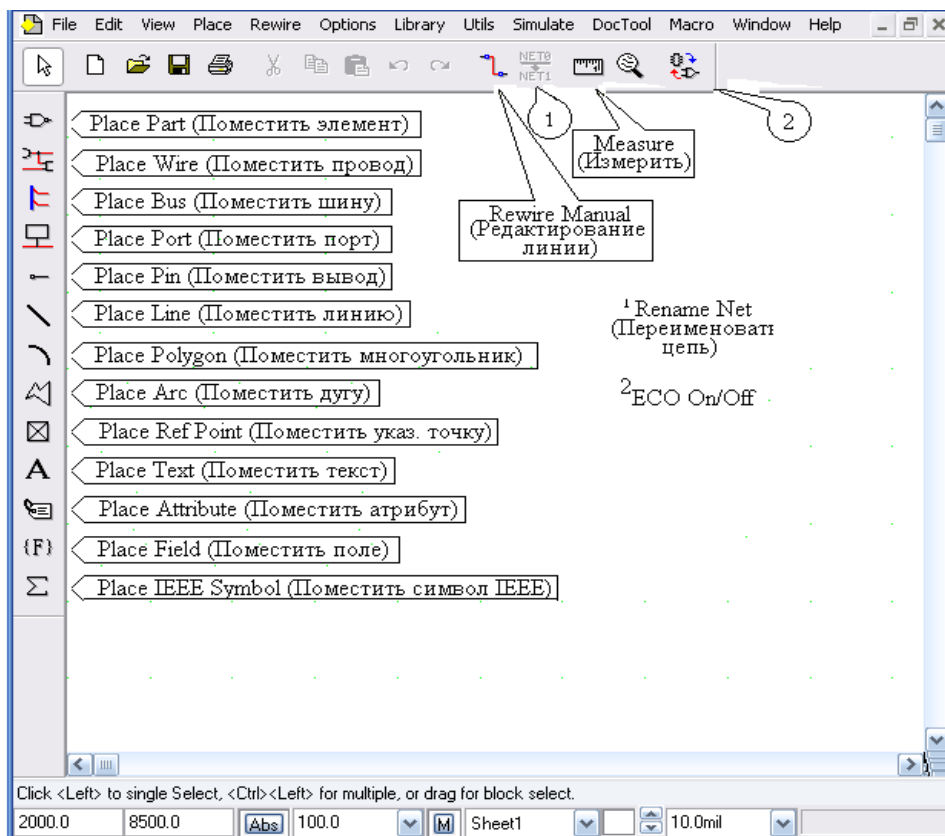
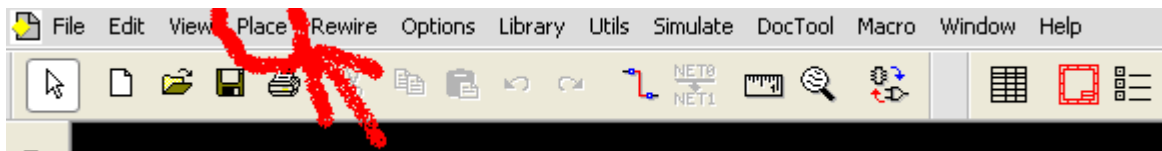
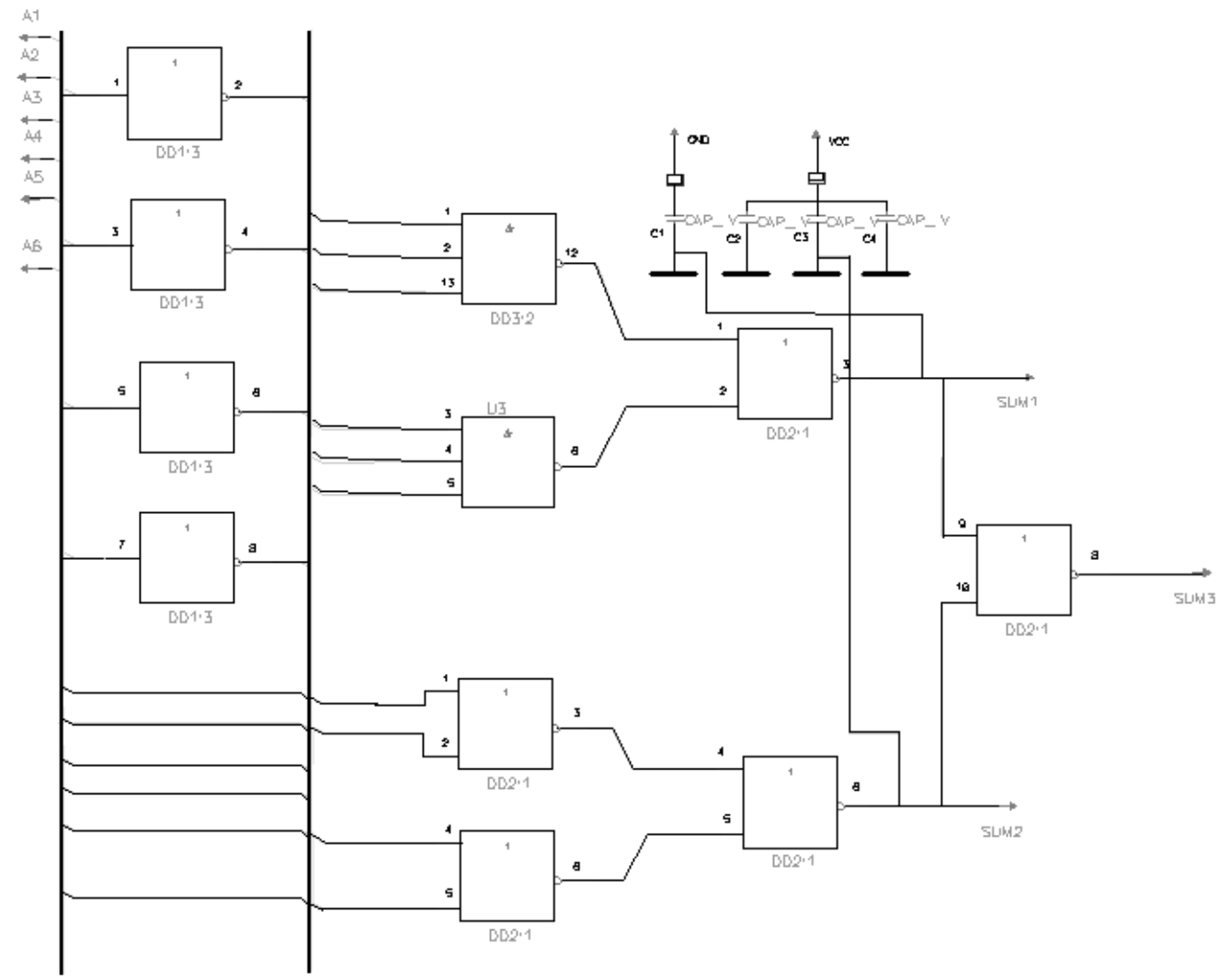


Рис. 1. Внешний вид редактора P-CAD 2006 Schematic

Откроется окно Windows с пустым документом. Приложение P-CAD 2006 Schematic представляет собой обычное MDI-приложение с традиционными пунктами меню, быстрыми кнопками и инструментальными панелями. Назначение кнопок инструментальной панели подробно пояснено на рисунке и сводится к выбору размещаемого на схеме элемента. Для просмотра же всей схемы, отдельных ее элементов и получения информации о конкретных размерах на принципиальной схеме необходимо воспользоваться режимами масштабирования и измерения.

Рассмотрим структуру типовой принципиальной схемы P-CAD, объединяющей все основные элементы, доступные с инструментальной панели либо пункта главного меню **Place** (рис. 2).





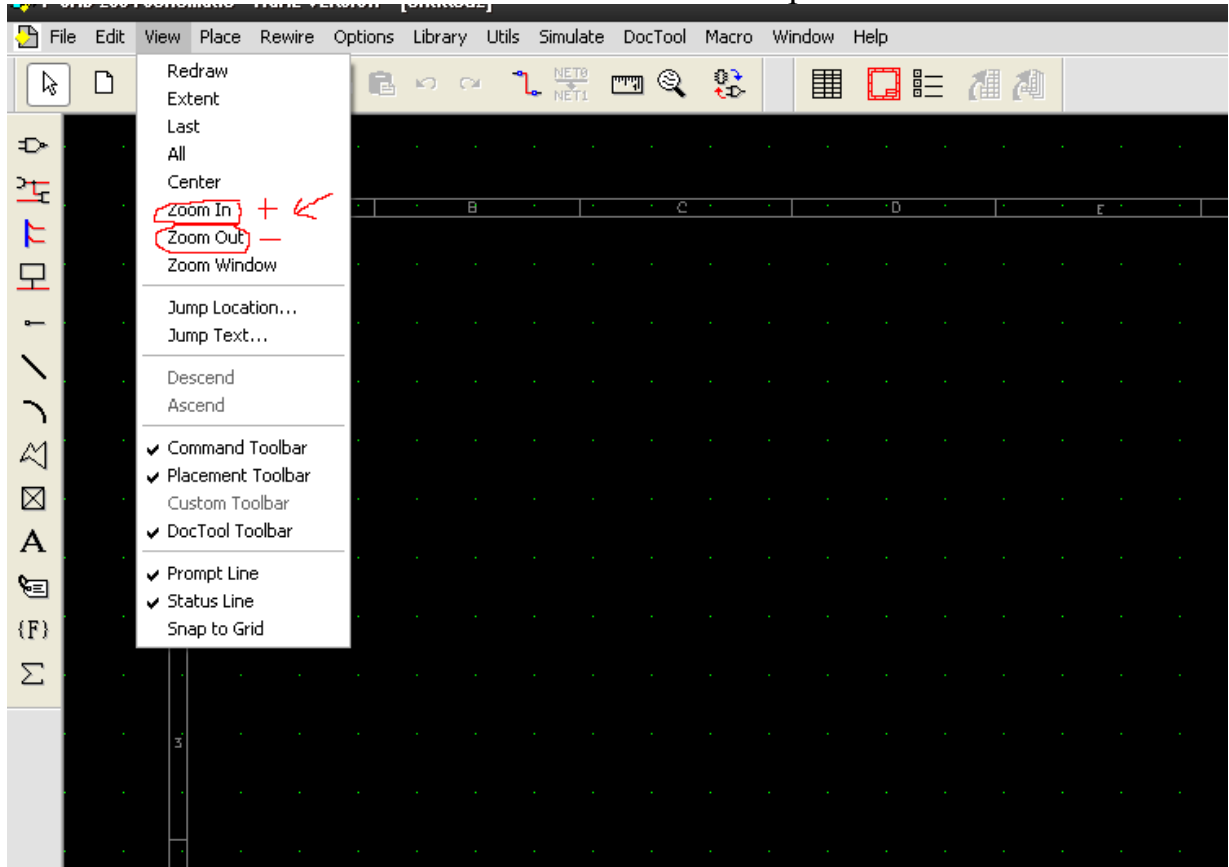
**Рис. 2.** Принципиальная схема в терминах P-CAD 2006

К дополнительной информации, которая позволяет уточнить принципиальную схему до монтажного чертежа, можно отнести цепь питания с включенными в нее емкостями, сглаживающими высокочастотные помехи, специфическую (учитывающую номер цифрового элемента в конкретном исполнении и номер логического ключа в нем) нумерацию элементов и др. В целом же принципиальная схема имеет привычное для проектировщика представление и может быть приведена к соответствующему графическому стандарту путем настроек рисования.

Отображение достаточно сложных схем в рабочей области экрана целиком возможно приведет к скрытию небольших деталей. Поэтому в программе P-CAD 2006 Schematic необходимо пользоваться инструментами масштаба, а в некоторых случаях – измерения. Для укрупнения какой-либо части чертежа удобно воспользоваться кнопкой масштабирования (см. рис. 1) на панели быстрых кнопок приложения.

Включив соответствующей кнопкой режим изменения масштаба (это кнопки «+» и «-» на правой клавиатуре), выделим рамкой интересующую

область, которая займет все рабочее пространство чертежа. Обратное изменение (уменьшение, увеличение) масштаба возможно по выбору пункта меню **View/Zoom Out** или **Zoom In** и нажатия в рабочей области:



Особый интерес представляет инструмент **Measure** (см. рис. 1). При работе с принципиальной схемой его необходимость вовсе не очевидна, однако в других приложениях P-CAD 2006, например **Pattern Editor** или PCB, он может оказаться актуален.

Для измерения расстояния между двумя точками (расстояние отображается в выбранных для проекта единицах: миллидюймах, миллиметрах или дюймах\*) включим режим измерения кнопкой **Measure**. Задержав левую кнопку мыши нажатой в первой точке, проведем курсор во вторую точку рабочего пространства. В строке состояния появятся горизонтальные и вертикальные размеры измерения (рис. 3).

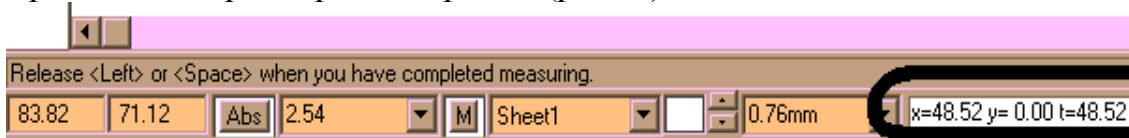


Рис. 3. Инструмент Measure

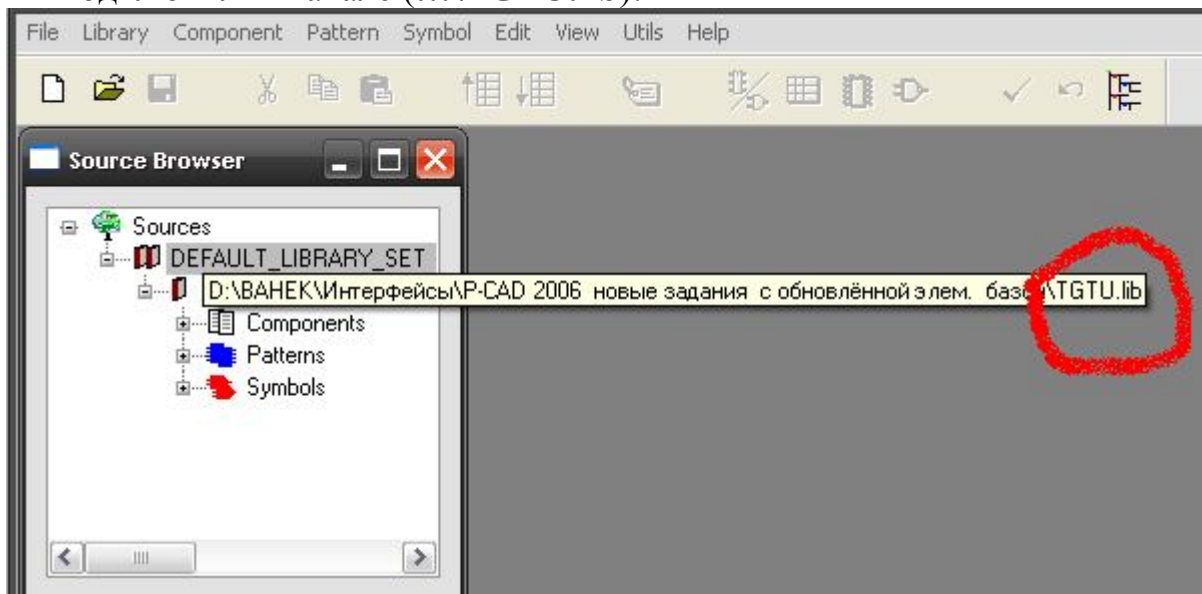
\* Один дюйм (inch) равен приблизительно 25,4 мм. Дюймы как единица измерения широко используются в электронике, им кратны расстояния между выводами типовых корпусов (DIP, SOIC), которые составляют 2,54; 7,62 и т.д. миллиметров.

Теперь для получения информации о библиотечных элементах (компонентах), из которых состоит схема устройства, откроем редактор библиотек P-CAD 2006 Library Executive, выполнив команду

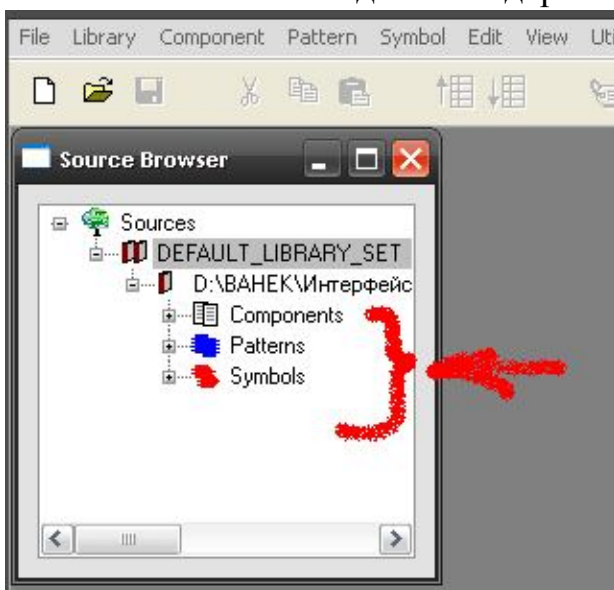


**Пуск/Программы/P-CAD 2006/Library Executive**. Откроется главное окно приложения, содержащее **Source Browser** (просмотрщик источников).

В окне окажется открытой вкладка **Sources**, развернув которую нажатием на «+», можно перейти на следующий уровень дерева ресурсов, содержащий вкладку **DEFAULT\_LIBRARY\_SET**. Этот узел уже содержит в себе вкладку, показывающую путь к используемой библиотеке, которую мы подключили вначале (...\**TGTU.lib**):



Если же такая вкладка не содержится, ее можно добавить, нажав правой кнопкой мыши на вкладке



**DEFAULT\_LIBRARY\_SET**. В открывшемся всплывающем меню выбрать пункт **Add Library** и указать путь к библиотеке **TGTU.lib**, находящейся на диске в папке **Библиотеки**. В результате станет доступной вкладка библиотеки. Развернув ее, получим три новых пункта, включенных в библиотеку: вкладки **Components**, **Patterns** и **Symbols**.



Компонент P-CAD объединяет в себе как графический символ, так и узор (рисунок на плате). Для просмотра компонентов развернем вкладку **Components**. Двойной щелчок по названию любого компонента приведет к открытию окна **Component Information** (рис. 4), содержащего всю информацию о компоненте.

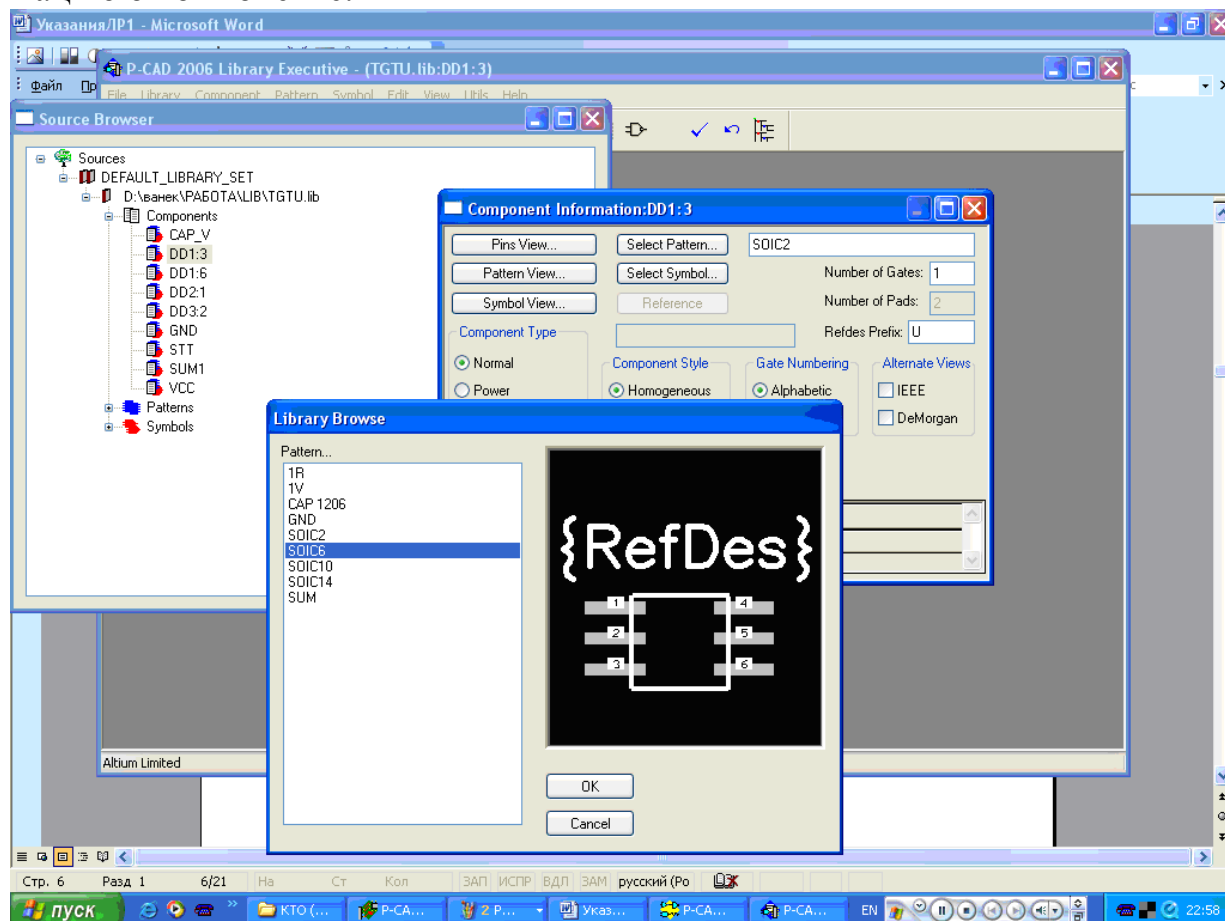


Рис. 4. Component Information

Для просмотра символического изображения либо рисунка элемента следует нажать на кнопку **Pattern View** и **Symbol View** окна **Component Information** соответственно. Особое внимание следует обратить на поле **Number of Gates** окна **Component Information**. Поле показывает, сколько однотипных элементов (ключей, **Gates**) содержат в себе корпус, узор (**Pattern**), которые можно видеть в окне **Pattern View**.

Если обратиться к рис. 2, можно выделить составляющие в нумерации элементов вида SOIC. Здесь в каждом корпусе (радиодетали) определенно-го типа, например, SOIC 10, количество элементов соответствует числу электрических выводов на Schematic.

Следующим (в общем случае – заключительным) этапом будет создание монтажа печатной платы.

Для получения последнего воспользуемся приложением **PCB** (меню



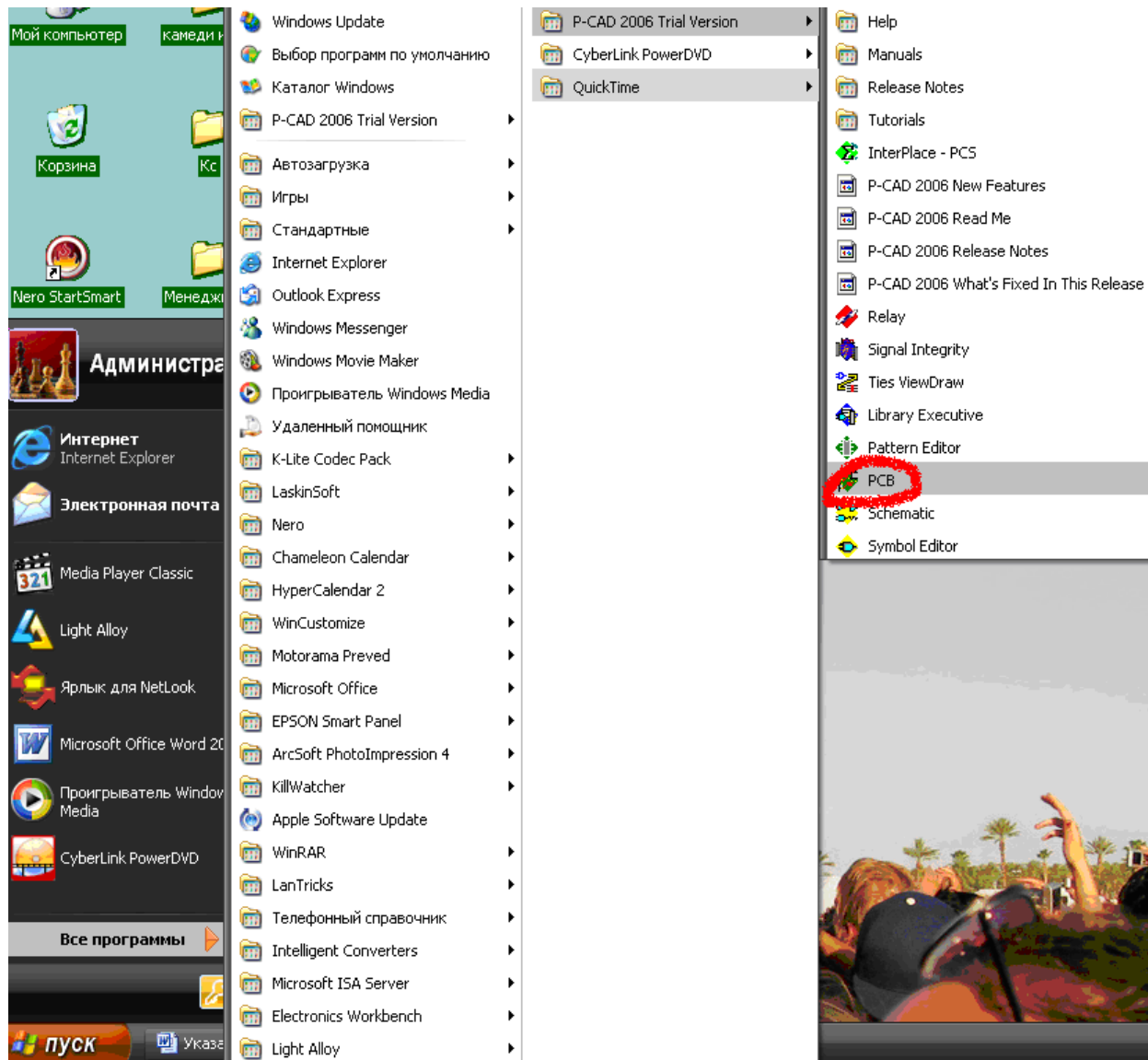
**Пуск/Программы/P-CAD 2006/PCB)**

Программа PCB не может работать непосредственно с форматом принципиальных схем P-CAD (\*.sch), поэтому преобразуем информацию проекта в список соединений, т.е. когда мы нарисовали схему в P-CAD 2006 Schematic, то в P-CAD 2006 Schematic выполним команду **Utils/Generate Netlist** (на панели инструментов). Появится окно (рис. 5).



**Рис. 5.** Генерация списка соединений

Оставив предложенные по умолчанию параметры (либо заменив путь к файлу), выполним перевод файла в формат \*.net. Далее программа P-CAD 2006 Schematic может не потребоваться, и ее можно закрыть, запустив P-CAD 2006 PCB (**Пуск/Программы/P-CAD 2006 PCB**):



Вид главного окна P-CAD 2006 PCB приведен на рис. 6.

С помощью инструментальной панели, продублированной пунктами меню **Place**, можно вручную разместить все контактные площадки, переходные отверстия, связи и рисунок, поясняющий монтаж (шелкография), однако такая задача не ставится перед разработчиком. Реально на чертеже печатной платы возникает необходимость разместить лишь особые области (запрещенные для трассировки, области сплошной заливки и др.).

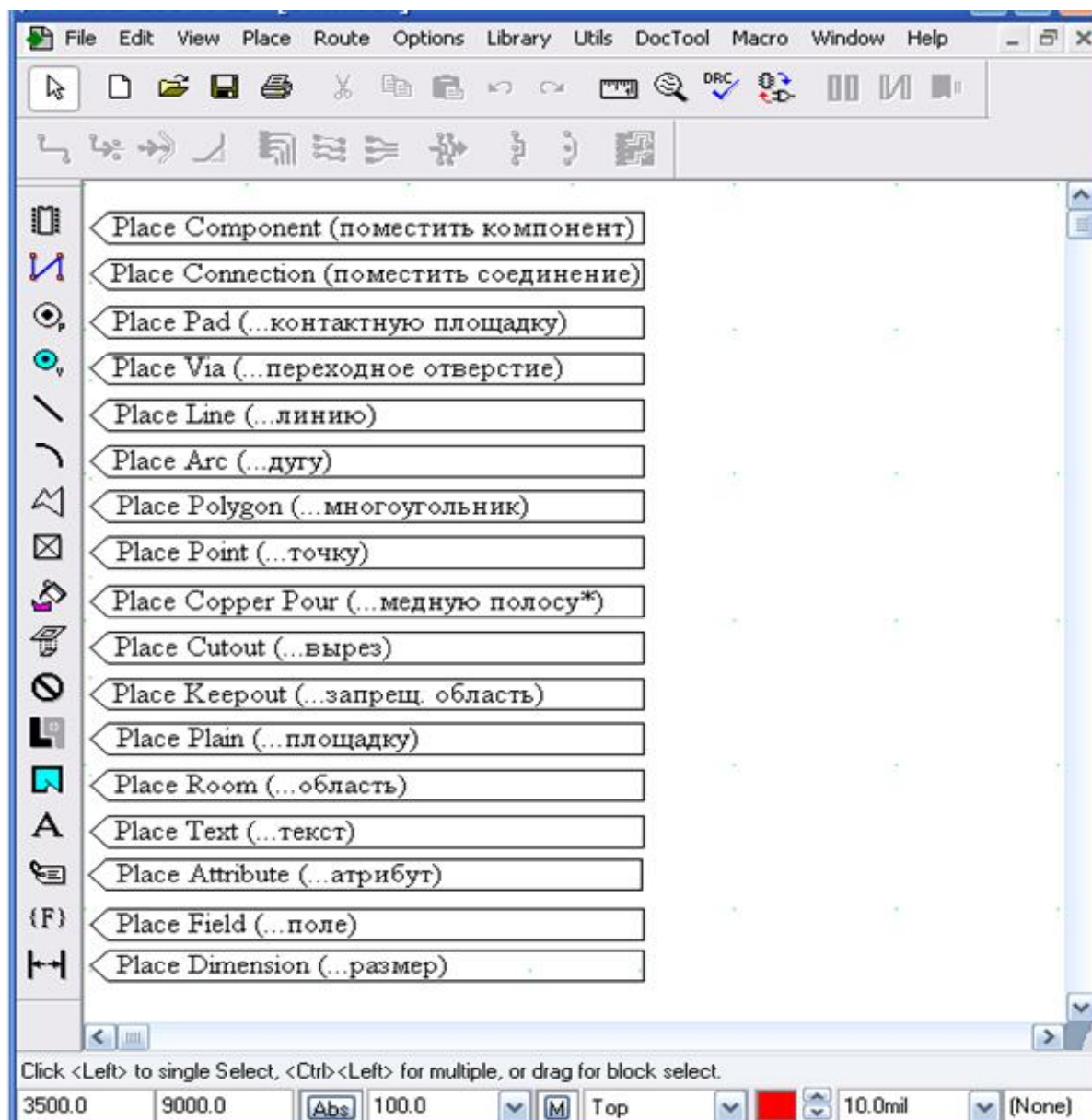
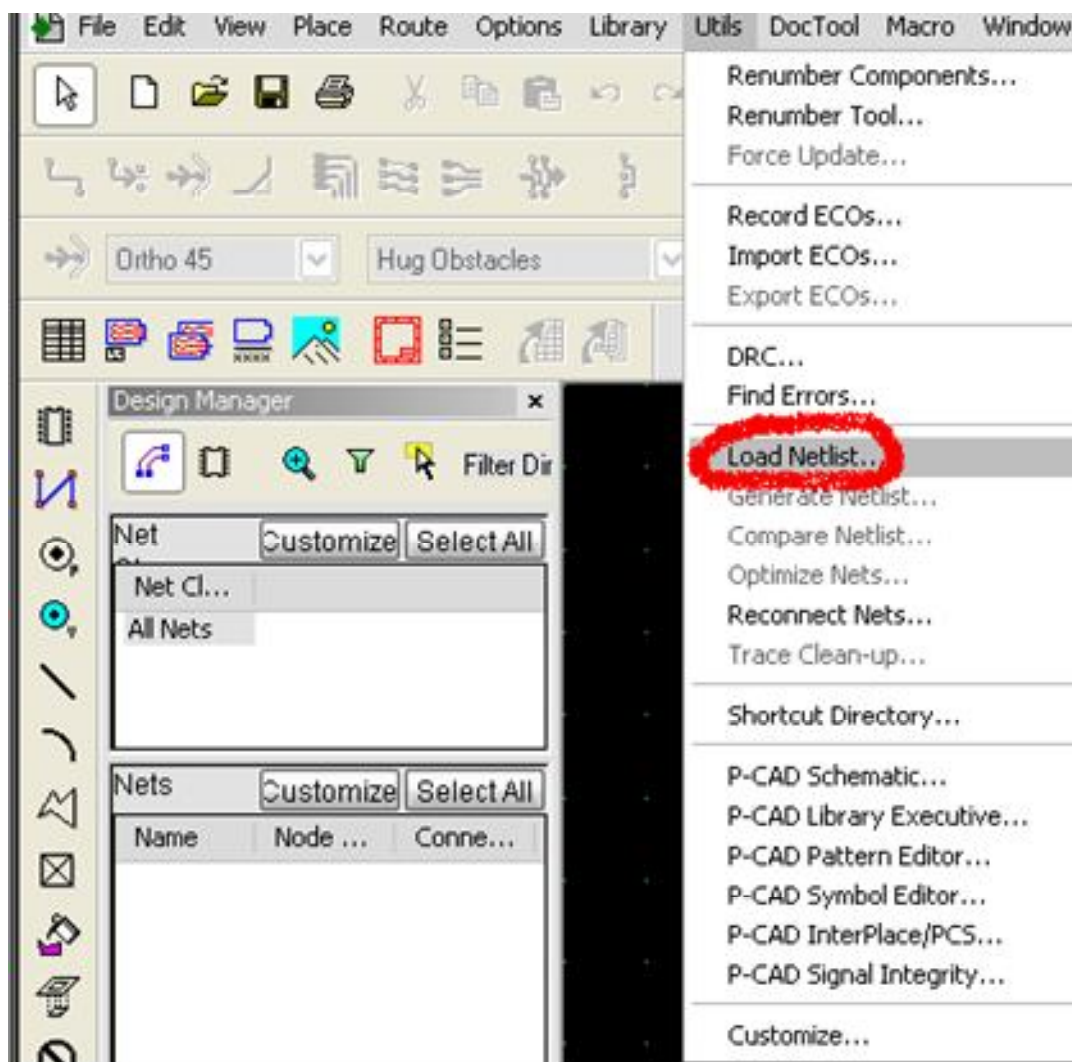


Рис. 6. Главное окно P-CAD 2006 PCB\*

Далее необходимо загрузить файл соединений, созданный ранее в P-CAD 2006 Schematic. Заходим в P-CAD 2006 PCB командой **Utils/Load Netlist**:

---

\*На печатных платах часто оставляют области нестравленной фольги, например на границе платы.



Вызовем окно, в котором требуется лишь указать имя файла списка соединений (он сделан в P-CAD 2006 Schematic, рис. 5), нажатию кнопки **Netlist Filename**. Формат списка соединений, указанный в поле формата, будет изменен автоматически на значение P-CAD 2006 ASCII. Не задавая дополнительных параметров, произведем загрузку списка (подтверждение). Рабочую область приложения займет предварительный чертеж печатной платы (рис. 7).

Обратите особое внимание на соединения, соответствующие электрическим цепям (отображены синими линиями).

Они располагаются в произвольном порядке со множеством пересечений. Основной задачей, решаемой на окончательном этапе проектирования печатной платы в P-CAD 2006 PCB, является задача их трассировки, или квазиоптимального размещения с соблюдением множества определенных пользователем условий.

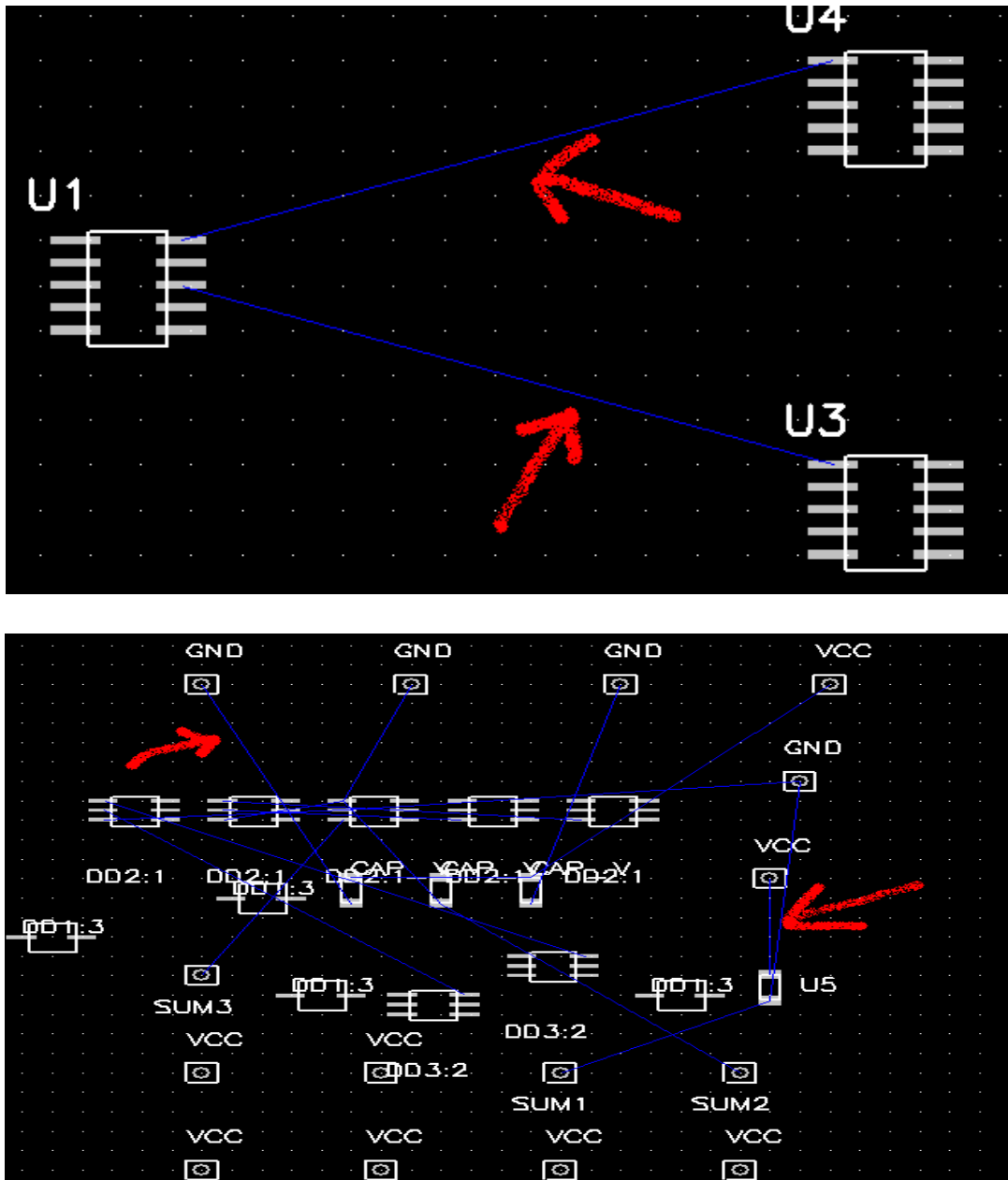


Рис. 7. Рабочее поле с размещенными элементами

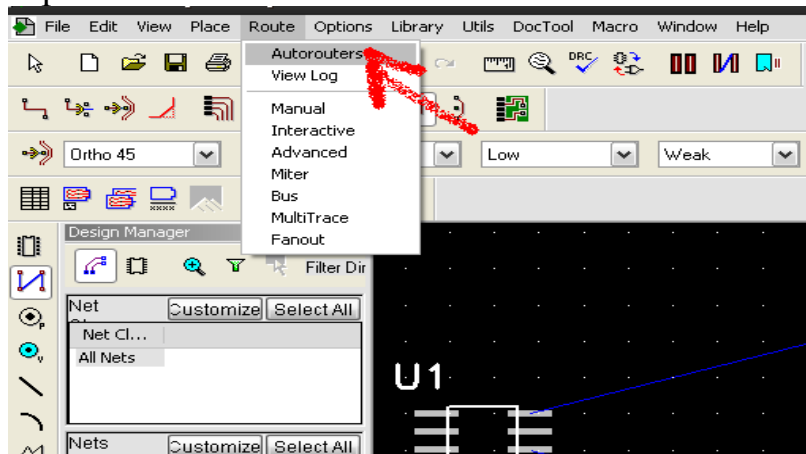
Нетрудно заметить, что полученное размещение неудобно для трассировки (т.е. проведения непересекающихся проводников). Обычная последовательность действий в таком случае имеет вид: первоначально пользователь задает границы печатной платы, запрещенные области и прочие параметры. Затем производится автоматическое расположение элементов с учетом особенностей схемотехнического проектирования\*. В целях обеспечения условий, пригодных для трассировки, разнесем элементы вручную в пределах рабочего пространства. Эта процедура в P-CAD 2006 PCB,

\*Для детальной настройки, например задания части элементов фиксированного положения, разрешая авторазмещение остальных, наложения штрафов на области, используется программа SPECCTRA.

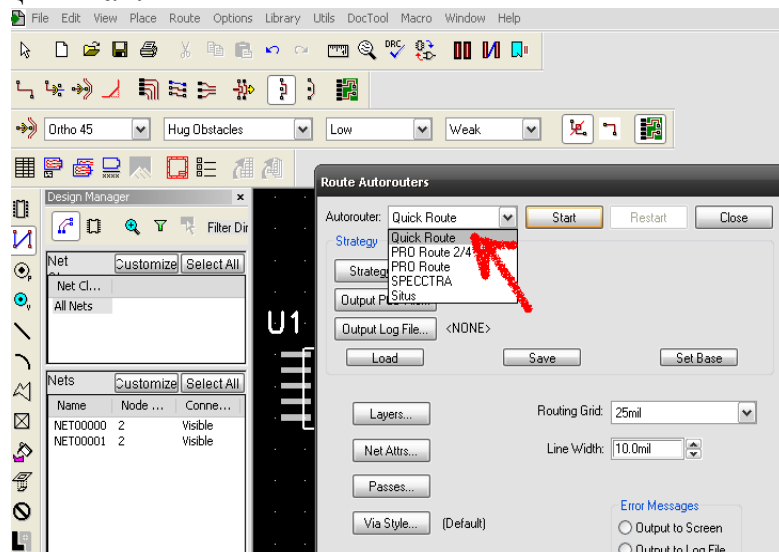
имеющем традиционный Windows-интерфейс, серьезных затруднений для пользователя Windows-приложений вызвать не должна.

Для перемещения элемент должен быть выделен рамкой либо нажатием в области элемента (под которым здесь понимается контактная площадка, радиодеталь либо многовыводной элемент). Выделенный элемент будет подсвечен желтым и обведен пунктирной рамкой. Используя выбор при нажатом **Left Ctrl** либо выделение рамкой можно выбрать группу элементов. Затем элементы могут быть перемещены, причем перемещение производится с шагом сетки, который для достижения желаемого эффекта можно изменить (в данной работе такая необходимость отсутствует). Элемент также может быть развернут на угол, кратный  $90^\circ$ , нажатием кнопки **R** на клавиатуре. Возможным перемещениям в PCB препятствует лишь вывод элемента (или группы) за пределы пространства печатной платы, при этом будет выдана ошибка **Item(s) fall outside of workspace**. Разместив и развернув элементы, можно приступить собственно к трассировке.

Поскольку цель работы – не только получение монтажа реального устройства, можно удовлетвориться результатами трассировки встроенного трассировщика P-CAD 2006 PCB Quick Route. Последний вызывается следующим образом:



Следующий шаг:



В P-CAD 2006 PCB выбрать команду **Route/Autorouters**. В качестве трассировщика выбрать **Autoroute: Quick Route** (по умолчанию). Оставив все параметры без изменения (проверив выбор трассировщика **Quick Route**), запустим **Quick Route** кнопкой **Start**. На экран будет выведено предупреждение: **The following files will be overwritten: Untitled. Do you want to continue?** (Следующий файл будет переписан: **Untitled**. Хотите продолжить?) Ответив согласием и сохранив файл как **Untitled1**, пронаблюдаем за процессом трассировки. Внимательно рассмотрев чертеж, определим, присутствуют ли на нем незавершенные (непроложенные) связи, отображаемые, как и ранее, синим цветом.

На рис. 8, демонстрирующем результаты трассировки, обозначены основные элементы монтажного чертежа печатной платы:

1,2,3 – элементы (узлы) устройства, включающие в себя как существенные (учитываемые в проекте и переводимые на плату) участки – контактные площадки, так и дополнительную информацию в виде узора (замкнутая область) и подписей;

4,5,6 – контактные площадки (**pad**), в которые устанавливаются (монтируются) выводы радиодеталей;

7 – переходные отверстия со слоя на слой (**via**);

8,9 – линии (трассы), проложенные трассировщиком в верхнем (8) и нижнем (9) слоях.

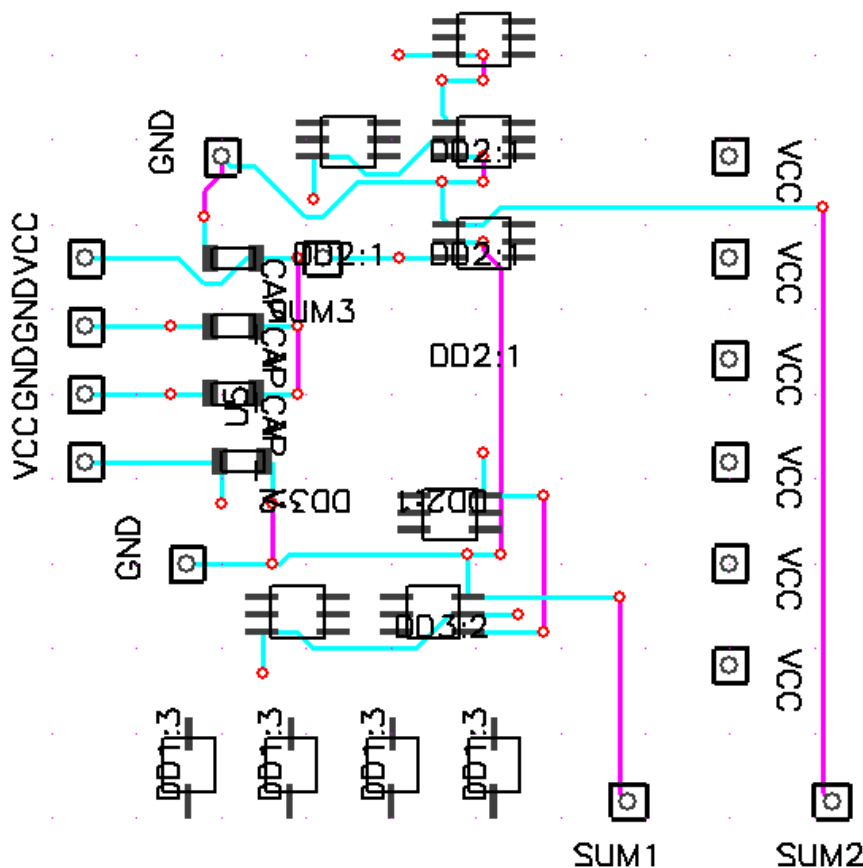


Рис. 8. МПП с трассированными цепями



Нетрудно заметить, что соединения (дорожки или трассы), проведенные в различных слоях и обозначенные по умолчанию красным (для верхнего) и зеленым (для нижнего) цветом, не имеют между собой пересечений в собственных слоях. Кроме того, трассы огибают контактные площадки (**pad**) и переходят со слоя на слой с образованием переходных отверстий (**via**). При этом трассы пересекают линии и текст, выделенные серым цветом. Этот рисунок относится к узору (шелкографии) и размещается на отдельном слое. В отдельном случае дополнительная информация, такая как обозначение элементов, может быть перенесена на плату, однако это не обязательно, поскольку функциональную нагрузку в данном случае несут на себе лишь трассы, площадки и переходные отверстия.

Для того чтобы просмотреть чертеж, не нагруженный дополнительной информацией, скроем лишние слои, вызвав меню слоев командой **Options/Layers**. Откроется меню слоев (рис. 9).

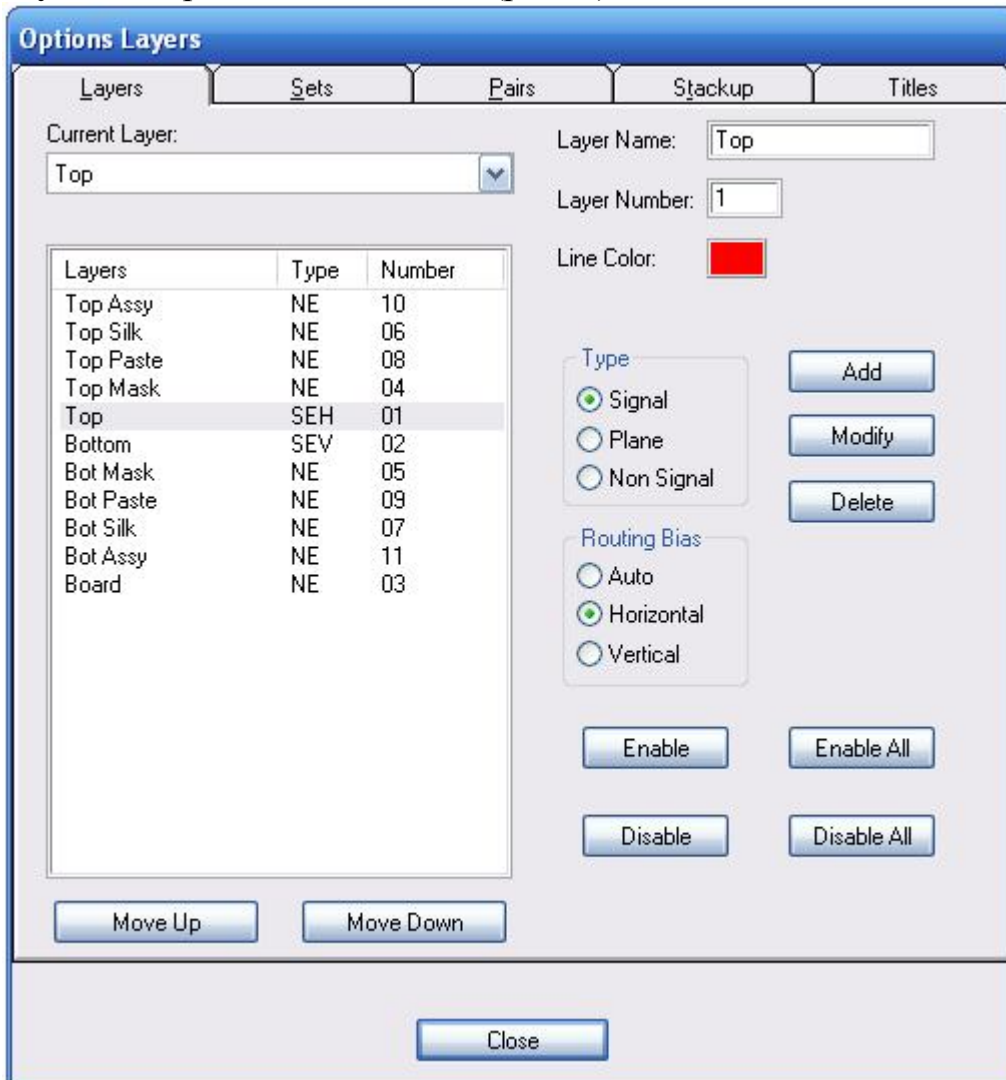


Рис. 9. Меню слоев

В нем можно задать собственный цвет для каждого слоя, настроить отображение/скрытие слоев. Нас же интересуют слои **Top**, **Top Silk**, **Bot** и **Bot Silk**. Слои **Top** и **Bot** относятся к сигнальным слоям (в этом можно убедиться, обратив внимание на группу радиокнопок слева, показывающую принадлежность слоя к тому или иному типу), содержат в себе линии и контактные площадки, расположенные в каждом слое. Переходные отверстия располагаются в обоих слоях одновременно, в то время как для контактных площадок отдельно задается свойство расположения в одном из слоев или в двух слоях одновременно.

Слои **Top Silk** и **Bot Silk** в данном случае не нужны, так как содержат узоры и подписи элементов. Их можно сделать невидимыми (недоступными) кнопкой **Enable** и видимыми кнопкой **Disable**. При этом в их обозначении символы **NE (Non signal, Enabled)** будут заменены на **ND (Non signal, Disabled)**. Для отключения слоя, выбранного **текущим** (по умолчанию – слой **Top**), необходимо предварительно сменить текущий слой. Для этого в меню слоев необходимо выполнить двойной клик по слою, который станет активным (текущим).

Обозначения **SEH** и **SEV** для слоев **Top** и **Bot** соответственно можно расшифровать как **Signal Enabled Horizontal** (трассы прокладываются преимущественно горизонтально) и **Signal Enabled Vertical**.

Результат произведенной операции приведен на рис. 10. В таком представлении чертежа печатной платы можно проверить соблюдение условий непересечения трасс в одном слое и трасс с контактными площадками. Если же трассировщик **Quick Route** при заданных по умолчанию установках (ширина дорожек и зазоров, размеры контактных площадок, геометрия проводников, размещение элементов) не может провести некоторые трассы, то соответствующие им связи останутся на рисунке в виде тонких линий синего цвета, т.е. в таком виде, в котором были представлены до трассировки.

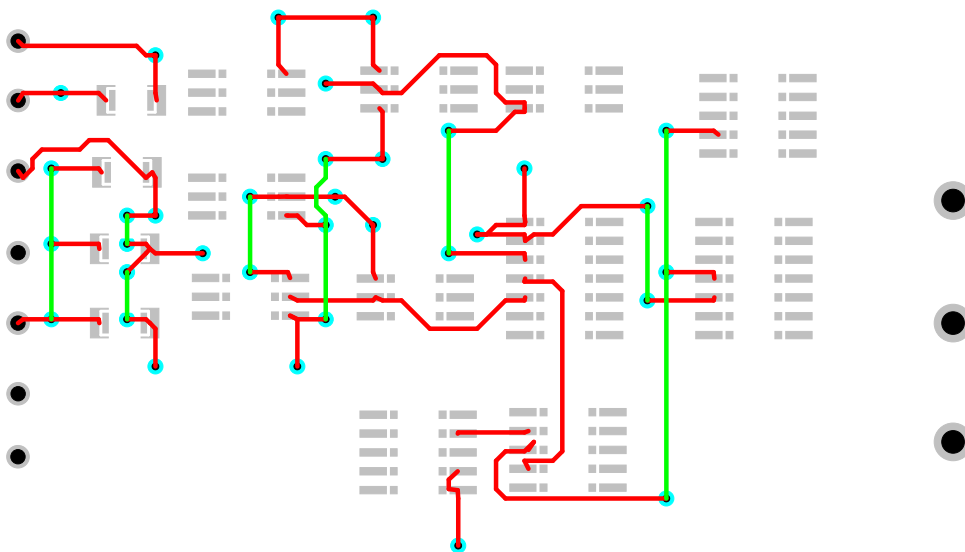


Рис. 10. Сигнальные слои МПП

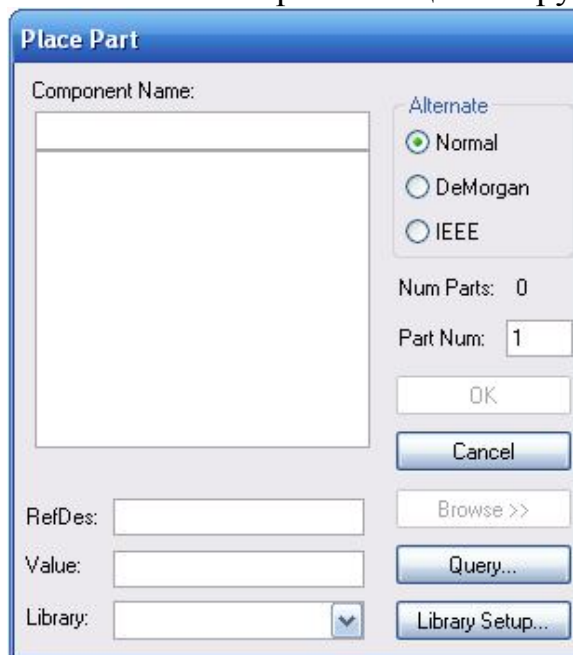
В таком случае необходимо возобновить трассировку, изменив расположение элементов так, чтобы создать для трассировки более благоприятные условия. Закроем рабочее окно чертежа P-CAD 2006 PCB и повторим последовательность действий по загрузке списка соединений в новом окне, после чего разместим элементы с учетом вышесказанного и произведем трассировку повторно.

### Выполнение работы

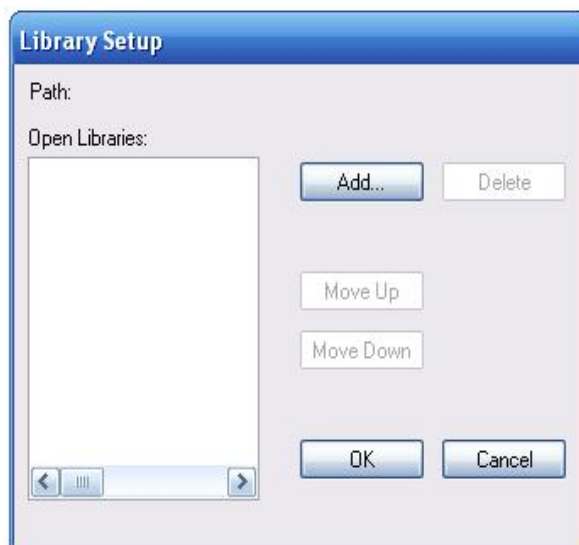
Запустим приложение P-CAD 2006 Schematic, выполнив команду меню **Пуск/Программы/P-CAD 2006/Schematic**.

В появившемся окне рисуем схему, данную в задании.

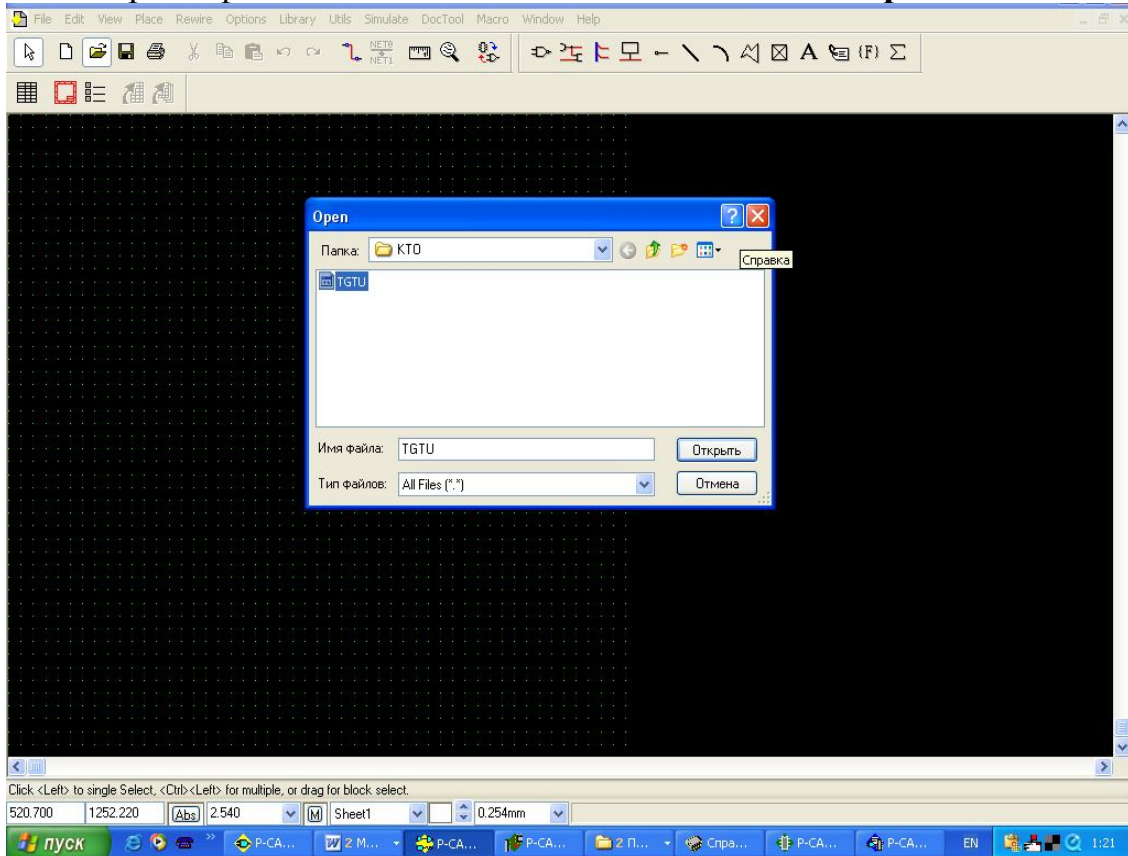
Элементы схемы вставляются при помощи инструмента **Place Part**:



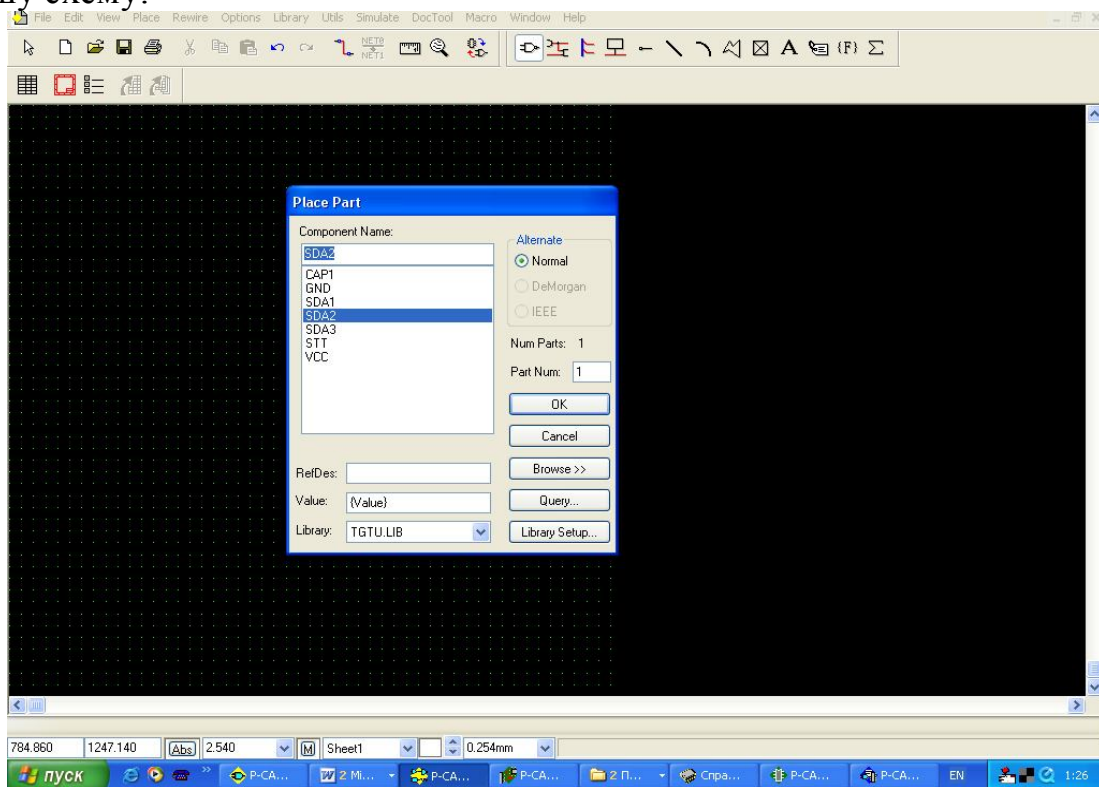
Нажимаем **Library Setup** для того, чтобы мы могли брать элементы из библиотеки **TGTU.lib**. Появится окно. Нажимаем на **Add**:



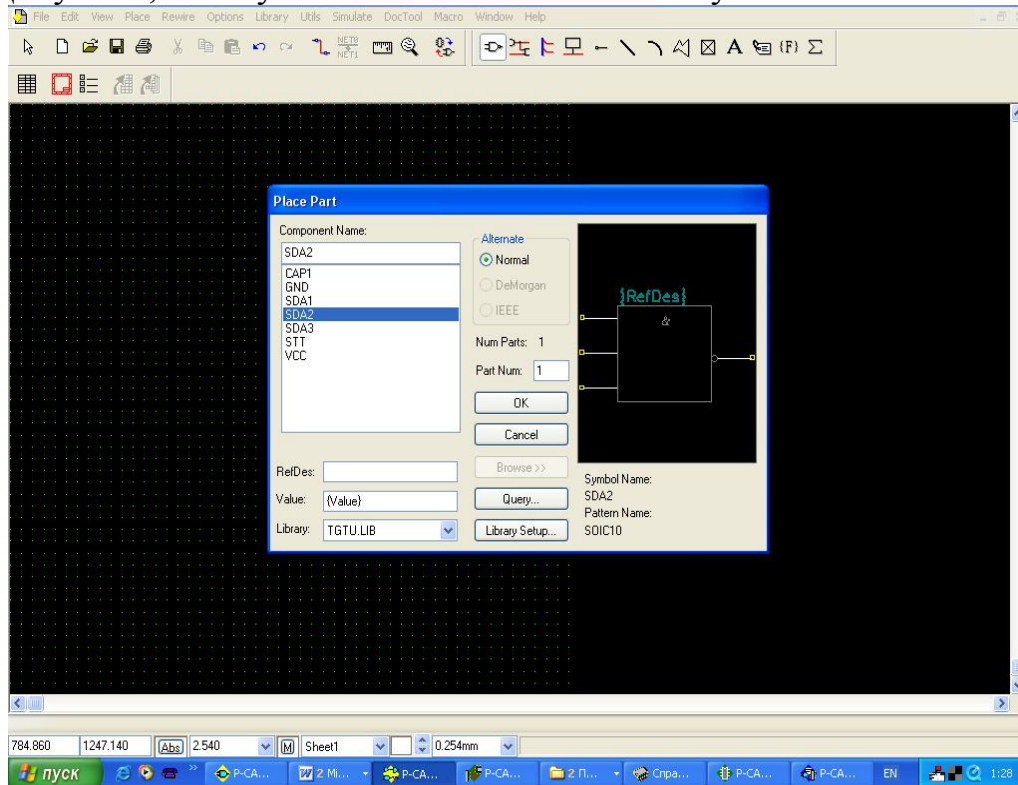
## Выбираем файл библиотеки TGTU и нажимаем Открыть:



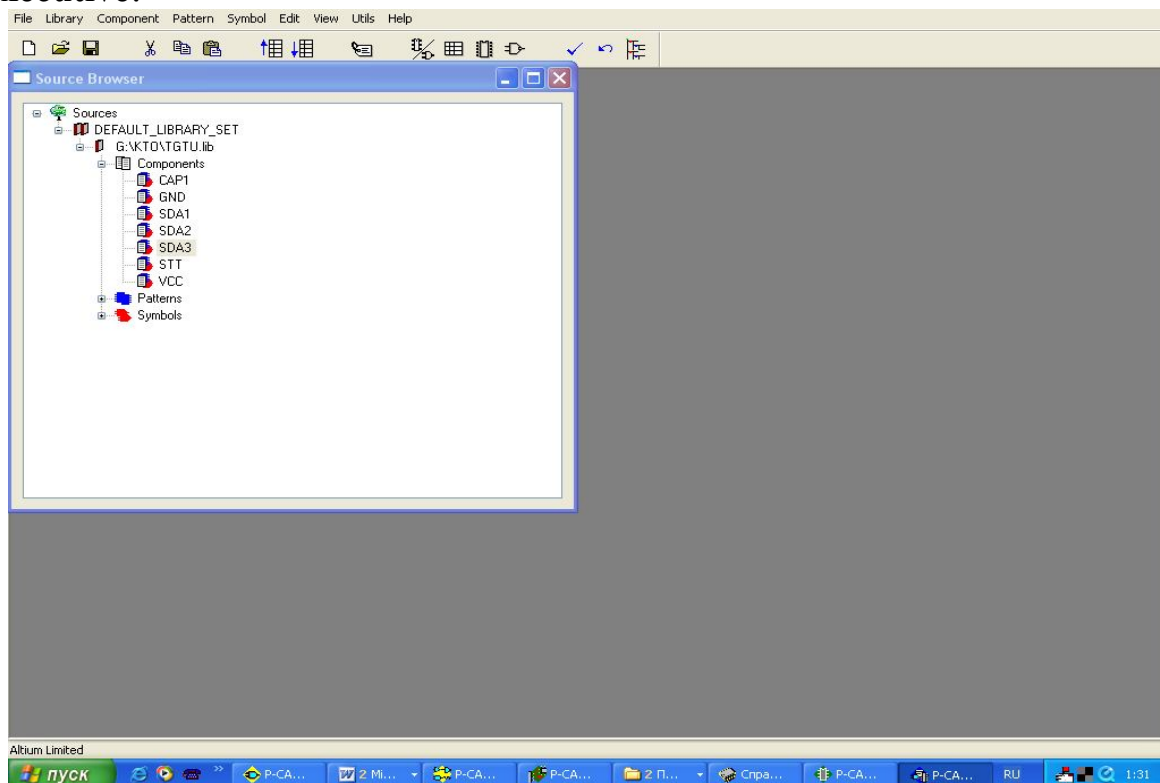
В окне появится список элементов, которые можно интегрировать в нашу схему:



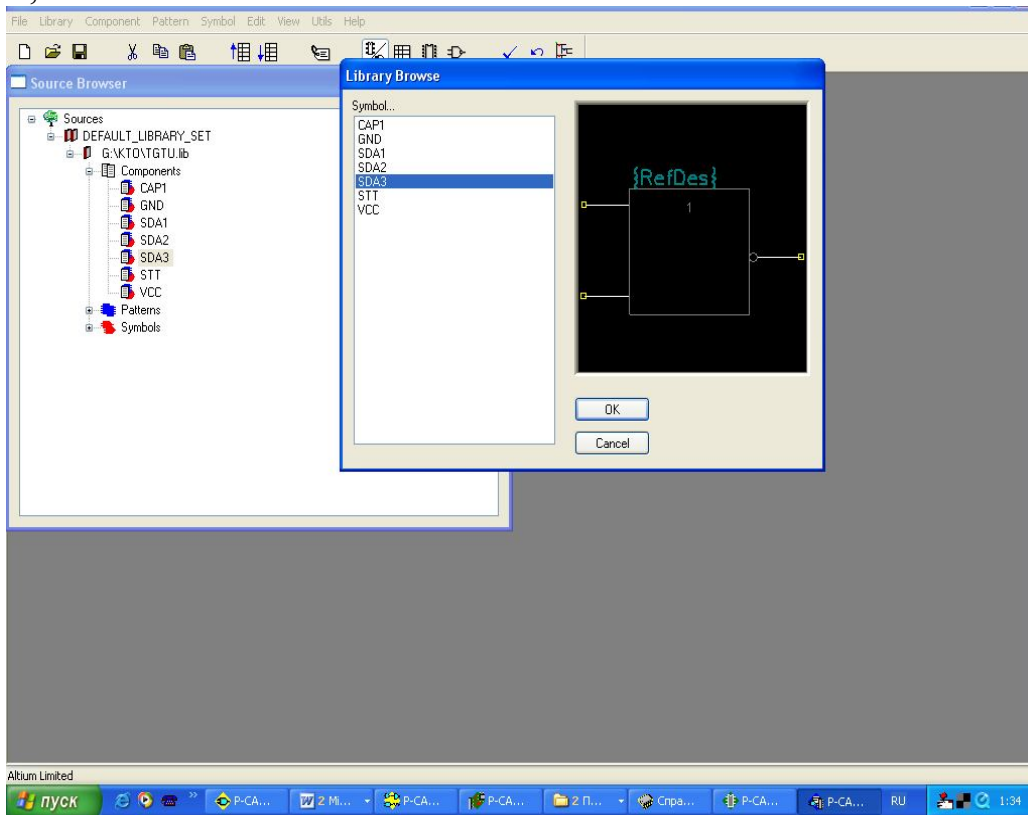
Допустим, нам нужно поместить на монтажную область элемент:



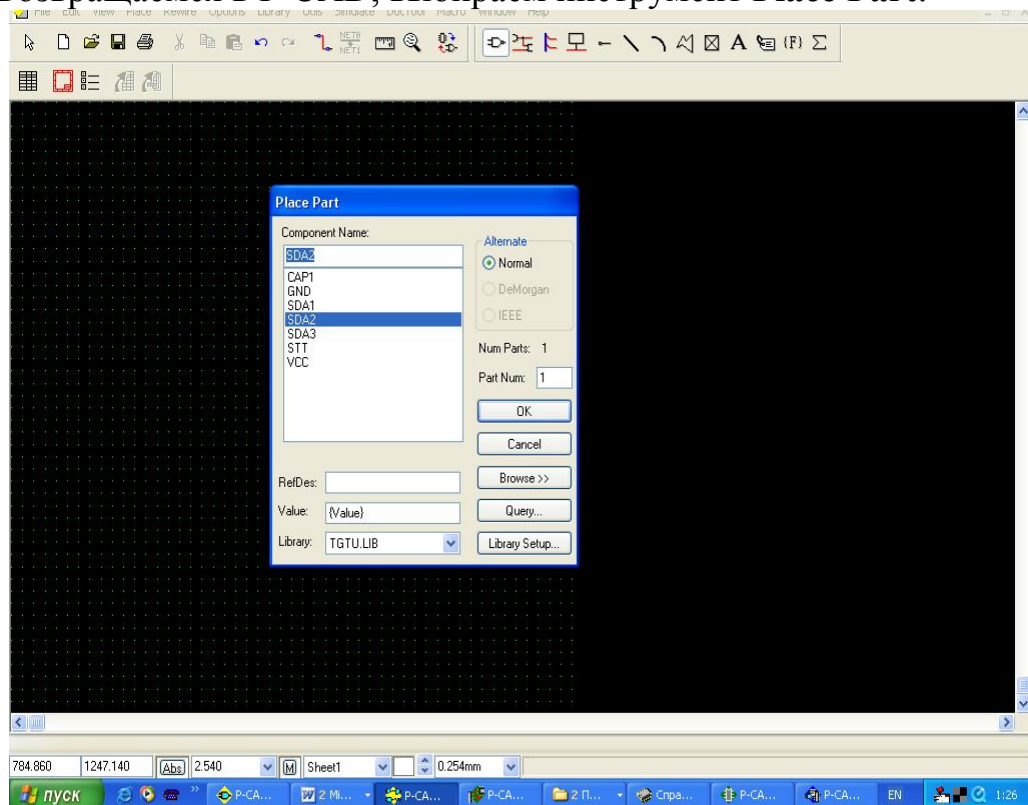
Чтобы его найти запускаем приложение **Utils/P-CAD library executive**:



Нажимая на «+», открываем дерево библиотек и вкладку **Symbols**, двойным нажатием на названии ищем нужный элемент, при поиске определяем, что это элемент **SDA3**:

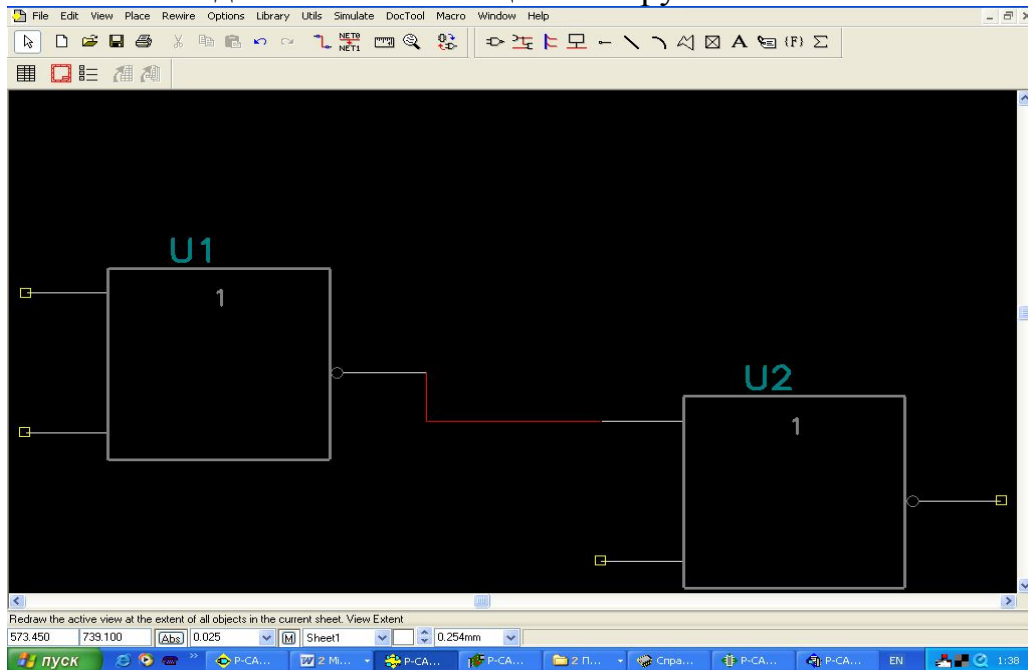


Возвращаемся в P-CAD, выбираем инструмент **Place Part**:

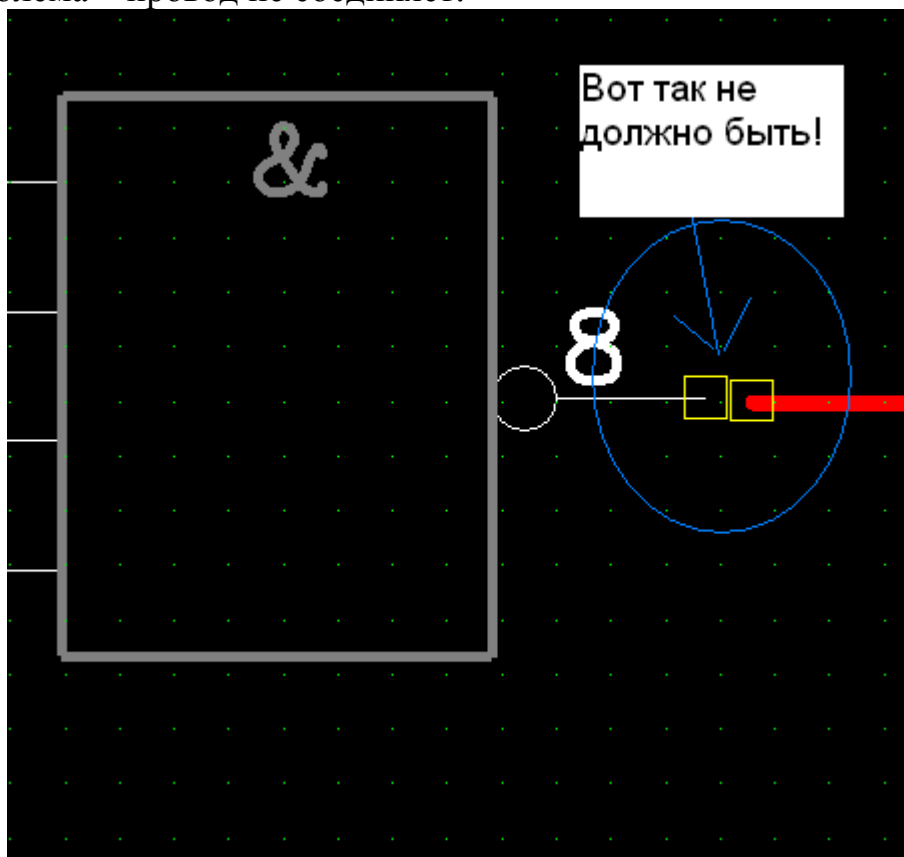


Находим наш элемент под названием **SDA3**, поместив его на монтажную область.

Элементы соединяются с помощью инструмента **Place Wire**:



**ВНИМАНИЕ!** При соединении элементов проводами может возникнуть проблема – провод не соединяет:



Для соединения сделаем несколько операций.

В P-CAD 2006 Schematic нажимаем **Options Grids**:



В поле **Grids** spacing ставим цифру **5** и нажимаем **Add** и **OK**, после этого сетка уменьшилась, и теперь соединять провод с элементами намного проще, главное, чтобы не было двух квадратов. Соединение может быть таким:



Удобнее соединять элементы в увеличенном масштабе, для этого лучше воспользоваться клавишами «+» и «-» в правой части клавиатуры (**Num keys**).

Когда схема будет готова, смотри рис. 7.

Примечание. При выполнении команды **Utils/Load Netlist** в P-CAD 2006 PCB может появиться ошибка, означающая, что не подключена ни одна библиотека, тогда в P-CAD 2006 PCB нажимаем **Library/Setup/Add** и добавляем нашу библиотеку **TGTU.lib**.



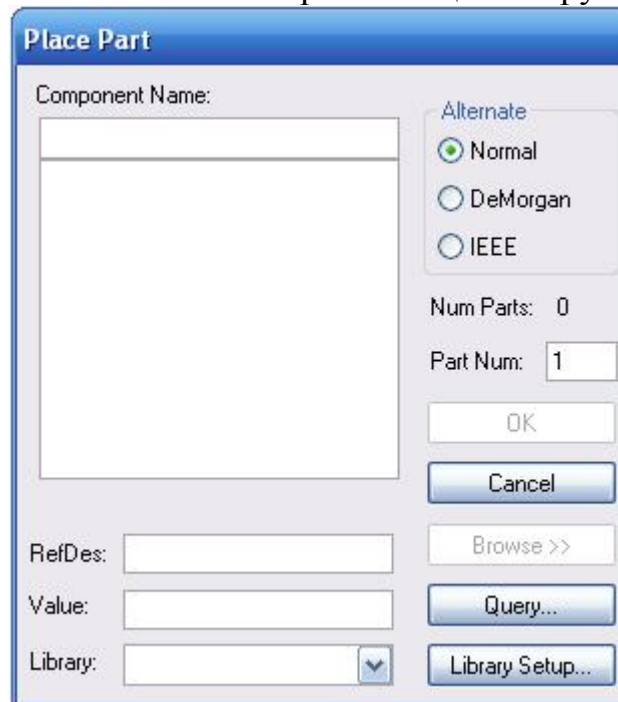
## Лабораторная работа № 2

### Формирование электрической схемы с помощью библиотек P-CAD 2006 Schematic

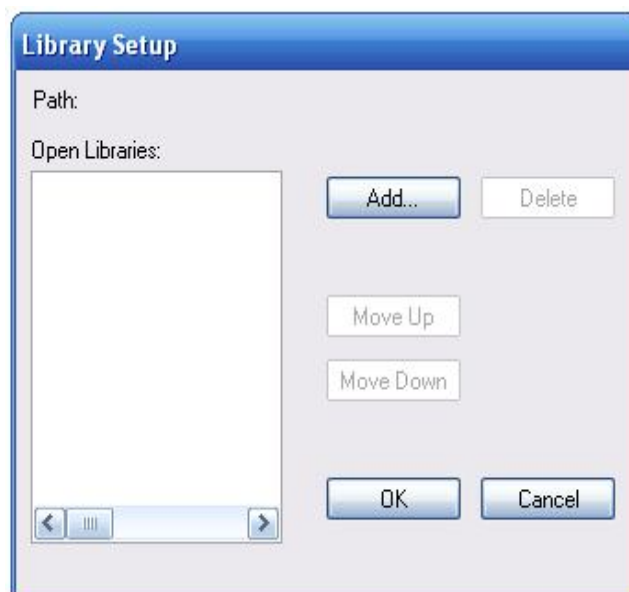
Запустим приложение P-CAD 2006 Schematic, выполнив команду меню **Пуск/Программы/P-CAD 2006/Schematic**.

В появившемся окне рисуем схему, данную в задании.

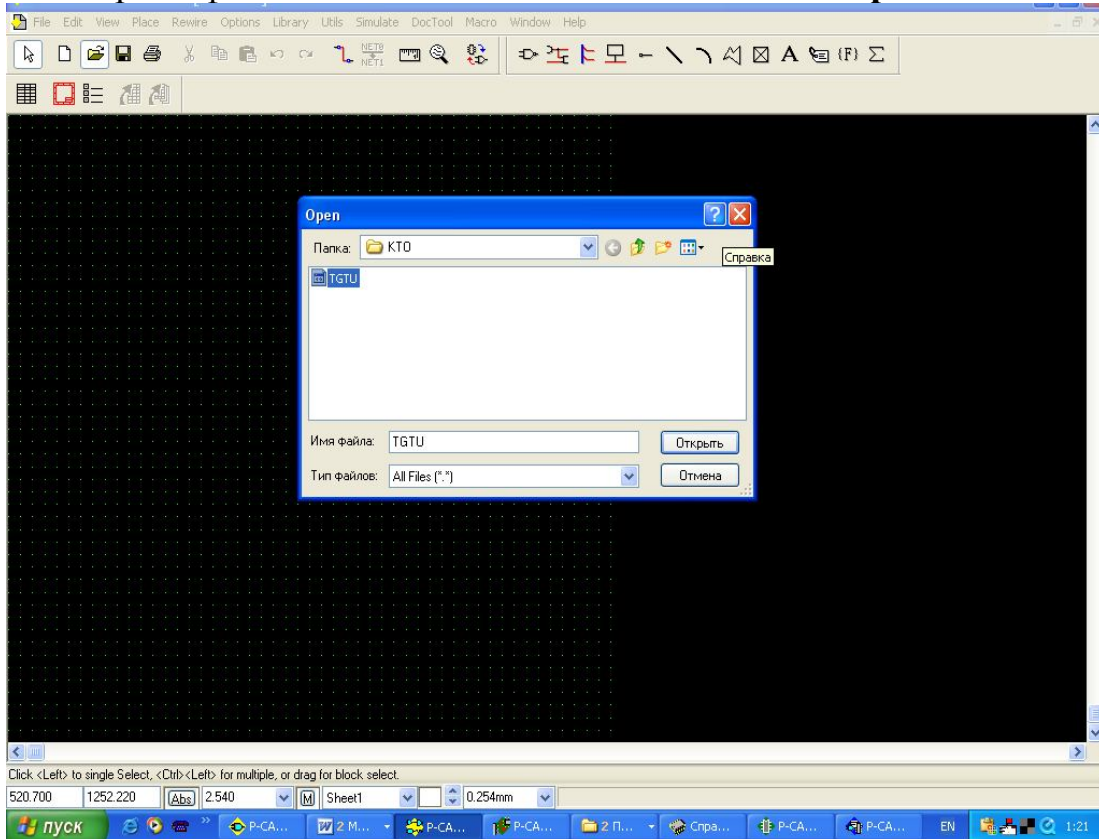
Элементы схемы вставляются при помощи инструмента **Place Part**:



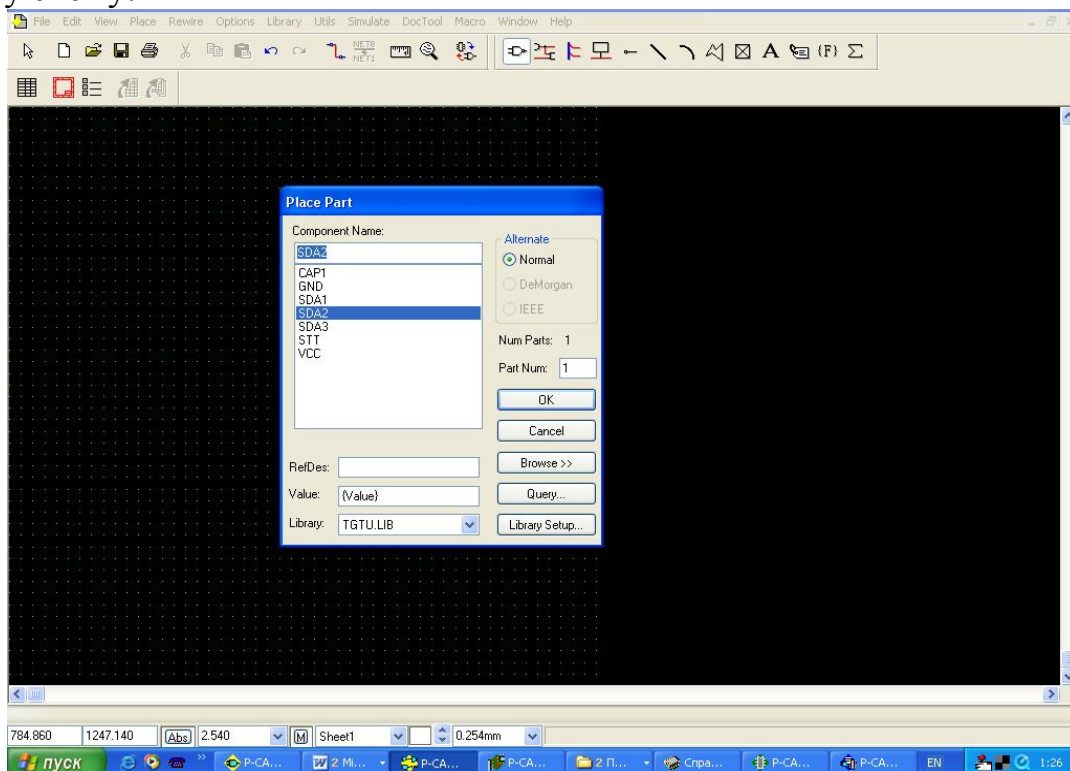
Нажимаем **Library Setup** для того, чтобы мы могли брать элементы из библиотеки **TGTU.lib**. Появится окно. Нажимаем на **Add**:



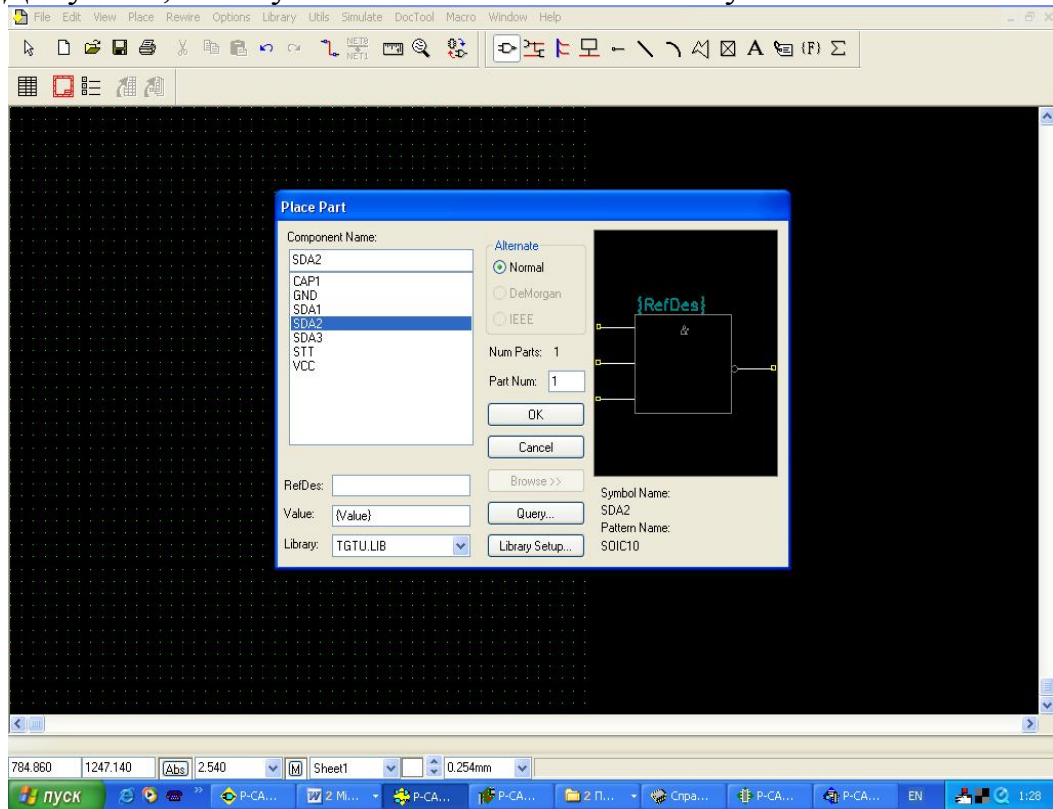
## Выбираем файл библиотеки TGTU и нажимаем Открыть:



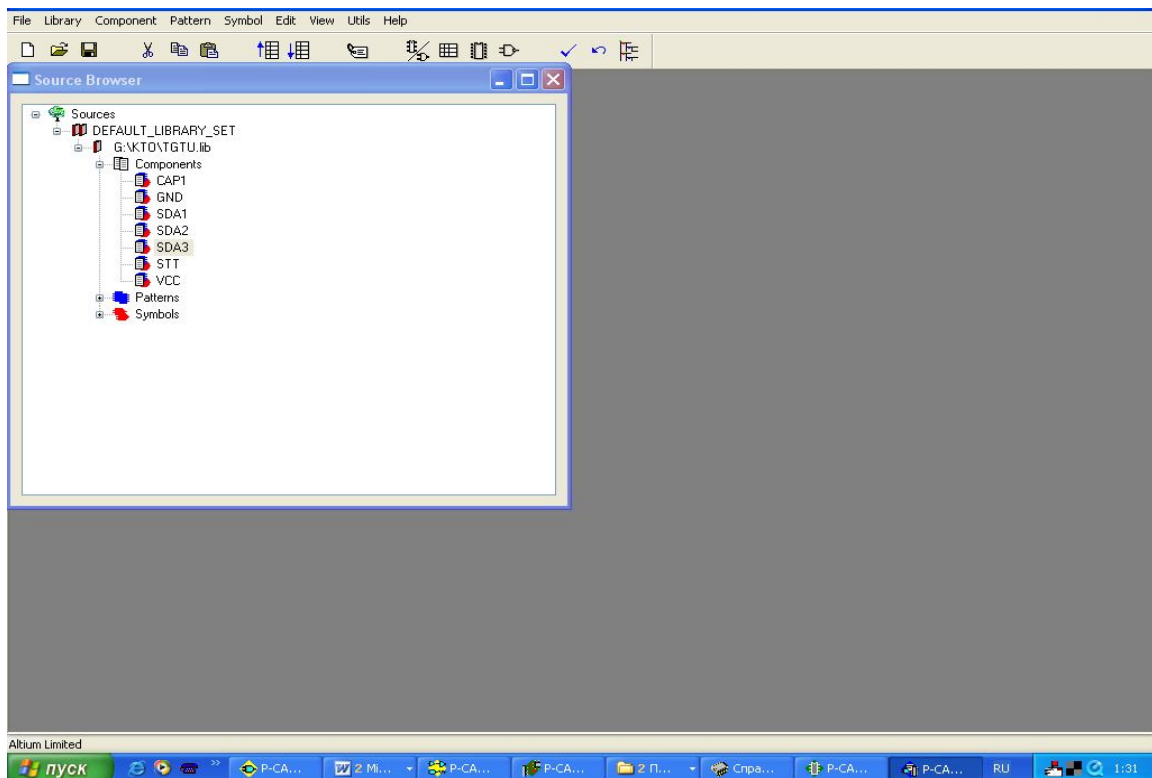
В окне появится список элементов, которые можно интегрировать в нашу схему:



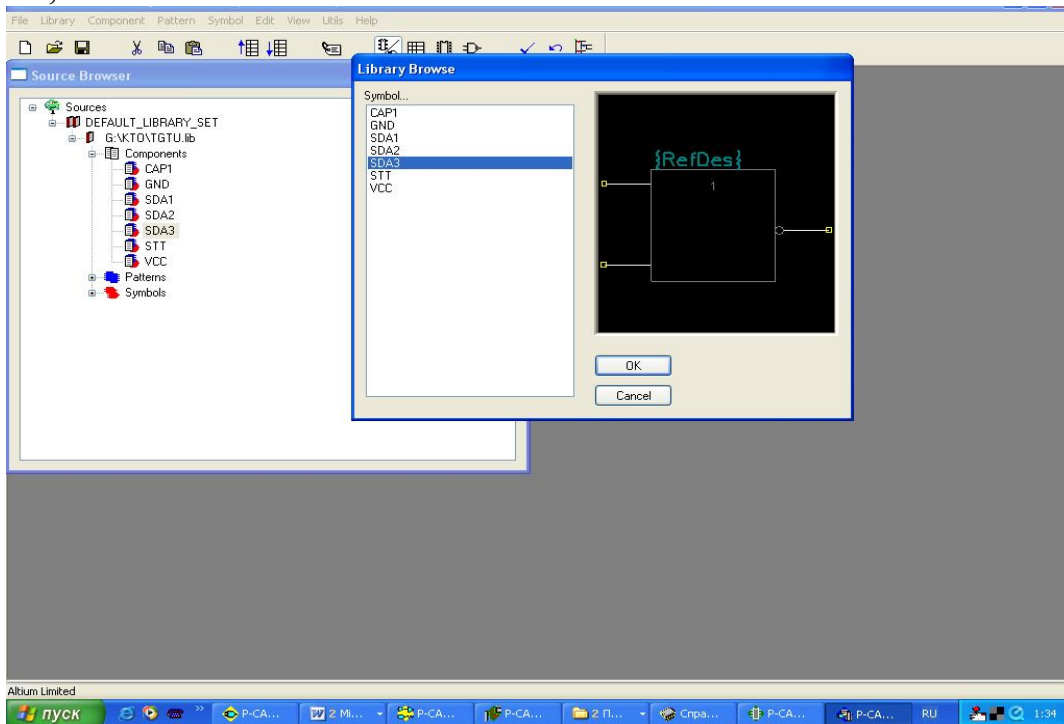
Допустим, нам нужно поместить на монтажную область элемент:



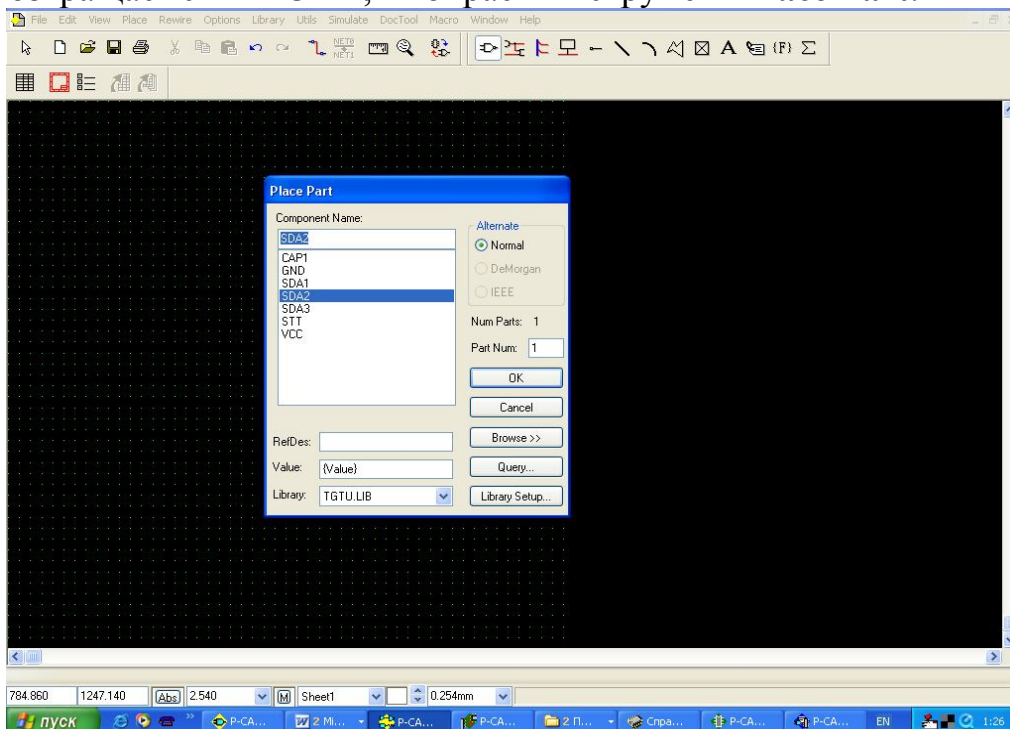
Чтобы его найти, запускаем приложение **Utils/P-CAD library executive**:



Нажимая на «+», открываем дерево библиотек и вкладку **Symbols**, двойным нажатием на названии ищем нужный элемент, при поиске определяем, что это элемент **SDA3**:

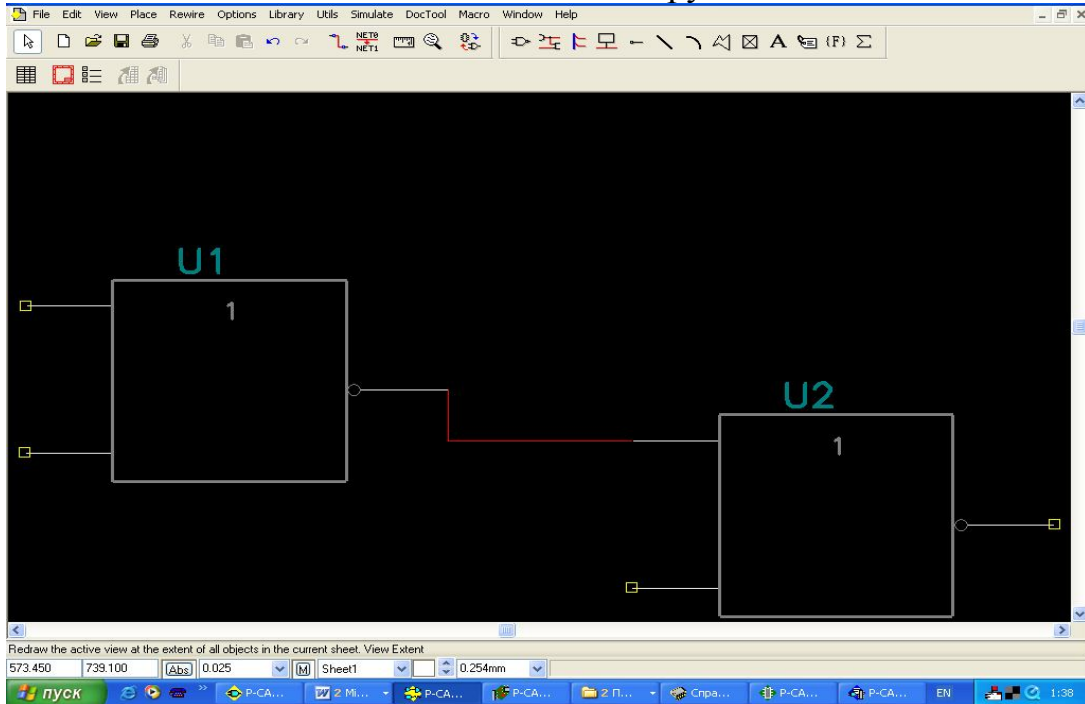


Возвращаемся в P-CAD, выбираем инструмент **Place Part**:

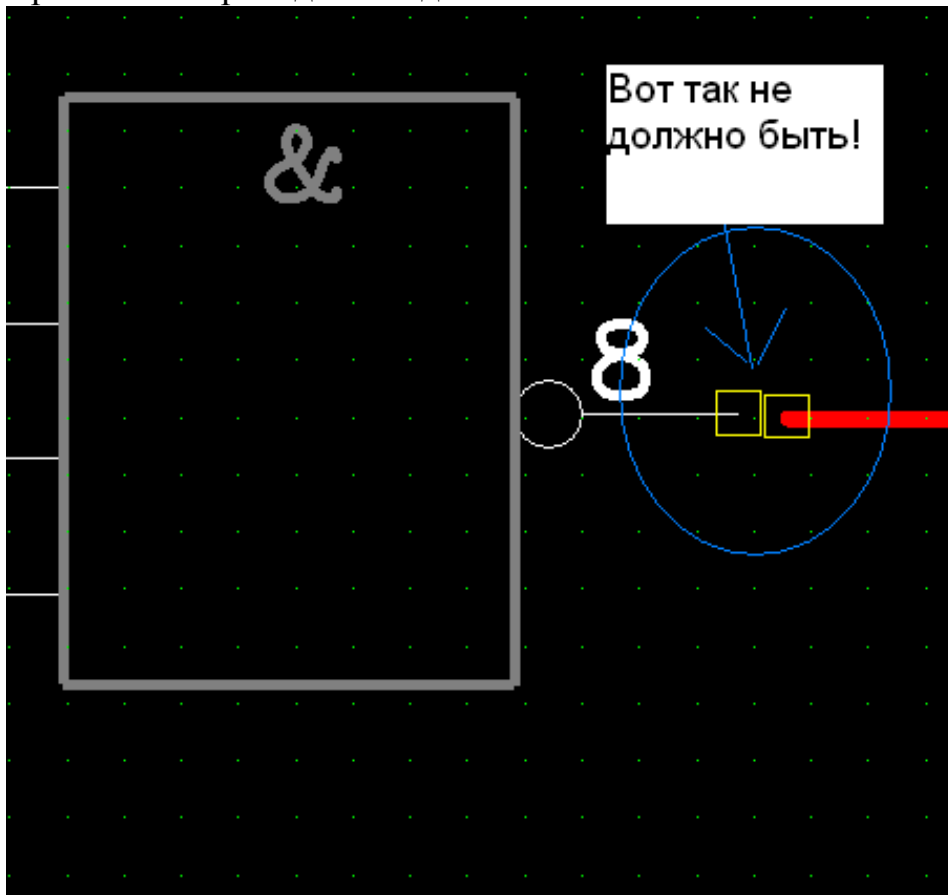


Находим наш элемент под названием **SDA3**, поместив его на монтажную область.

## Элементы соединяются с помощью инструмента Place Wire:

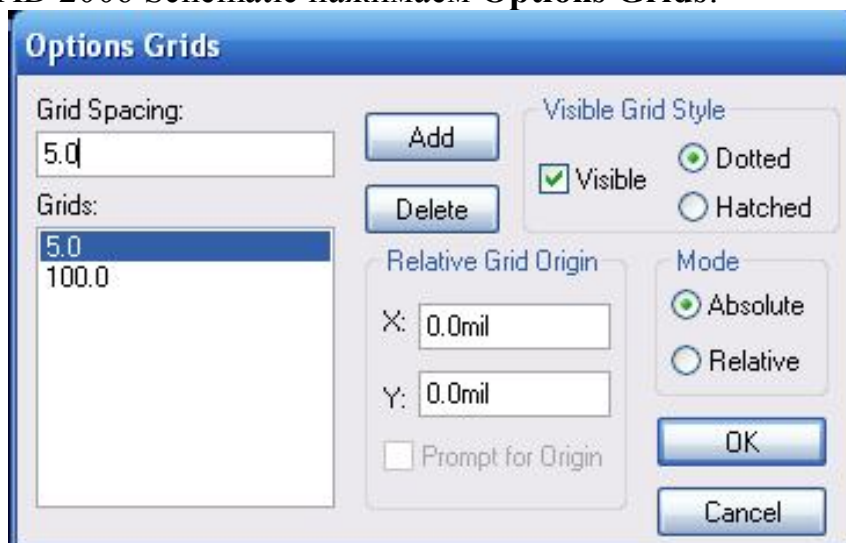


**ВНИМАНИЕ!** При соединении элементов проводами может возникнуть проблема – провод не соединяется:



Для соединения сделаем несколько операций.

В P-CAD 2006 Schematic нажимаем **Options Grids**:



В поле **Grids** spacing ставим цифру **5** и нажимаем **Add** и **OK**, после этого сетка уменьшилась, и теперь соединять провод с элементами намного проще, главное, чтобы не было двух квадратов. Соединение может быть таким:



Удобнее соединять элементы в увеличенном масштабе, для этого лучше воспользоваться клавишами «+» и «-» в правой части клавиатуры (**Num keys**).

Когда схема будет готова, смотри рис. 7.

Примечание. При открытии выполнении команды **Utils/Load Netlist** в P-CAD 2006 PCB, может появиться ошибка, означающая, что не подключена ни одна библиотека, тогда в P-CAD 2006 PCB нажимаем **Library/Setup/Add** и добавляем нашу библиотеку **TGTU.lib**.

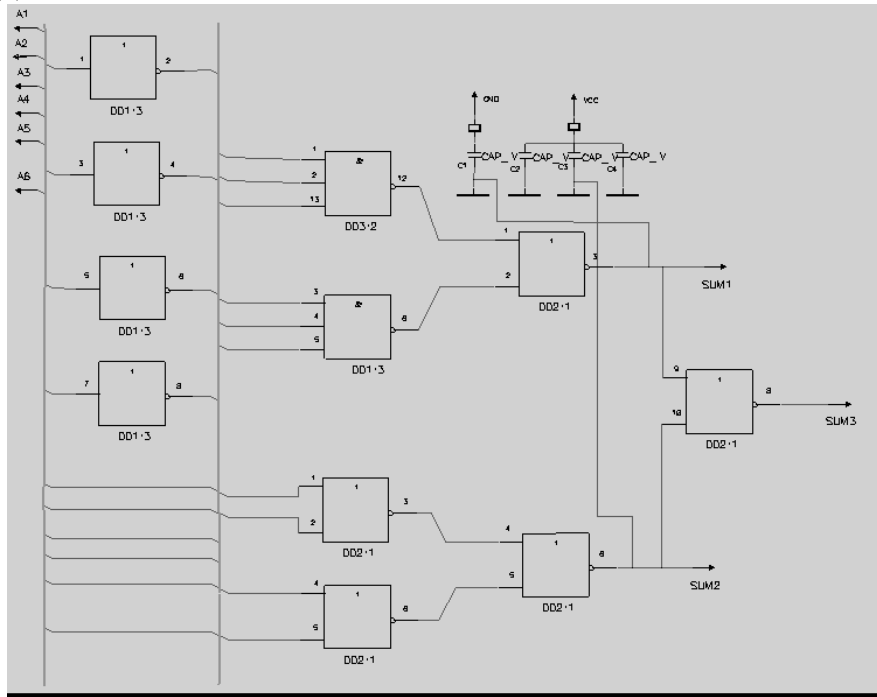
## Варианты заданий к лабораторной работе № 2

### Вариант 1

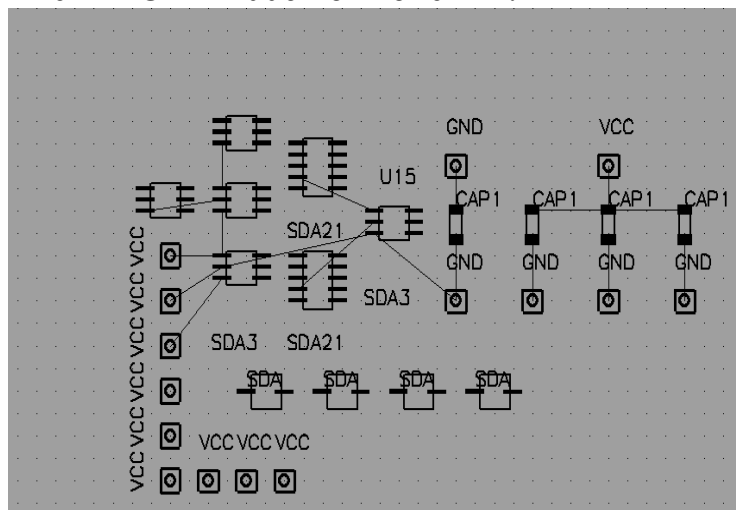
#### Задание

Ознакомьтесь с пакетом P-CAD. Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:



Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:



#### Вопросы к работе

1. Определить по чертежу печатной платы в программе P-CAD PCB, к каким выводам элемента **U15** подводятся «земля» и «питание». Нумерация выводов элемента с параллельным их размещением (здесь – **SOIC-корпус**) производится так: расположив элемент и увеличив изображение (клавиша

«+» и курсор на элементе), определим первый вывод как верхний левый вывод, последний же вывод окажется нижним правым.

2. В каком из четырех рассмотренных слоев печатной платы (P-CAD PCB) размещаются узоры элементов и подписи к ним?

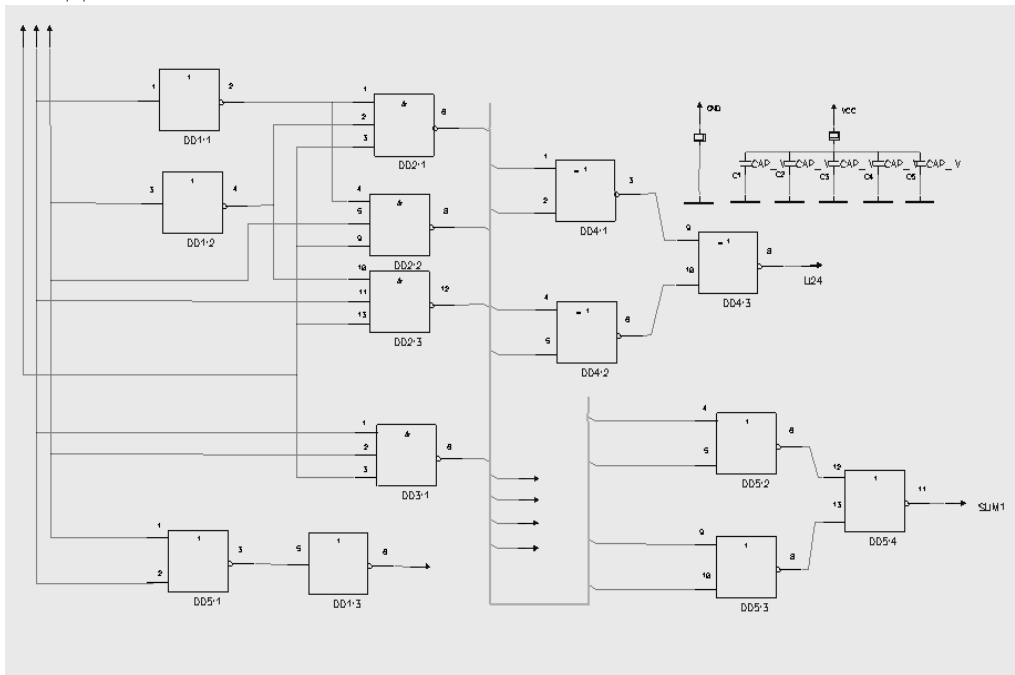
3. Какие линии может и какие не должна пересекать проложенная Quick Route-трасса?

## Вариант 2

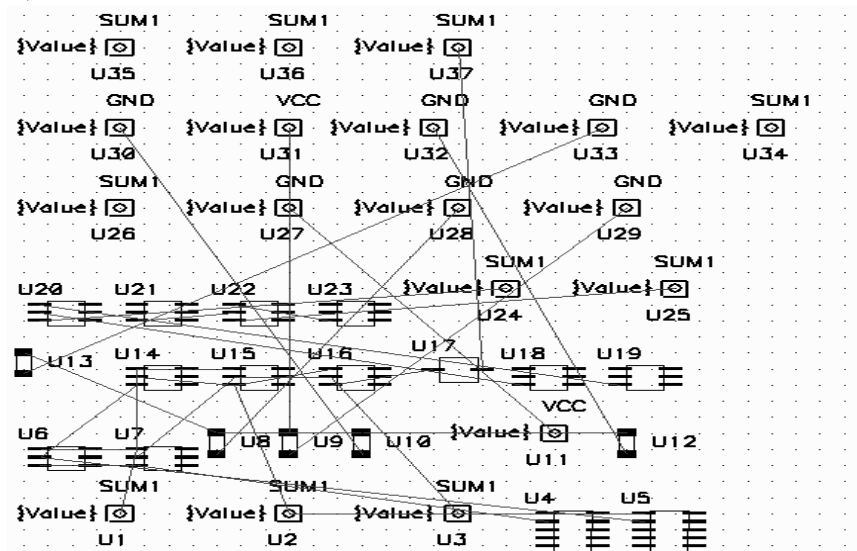
### Задание

Ознакомьтесь с пакетом P-CAD. Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:



Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:





### Вопросы к работе

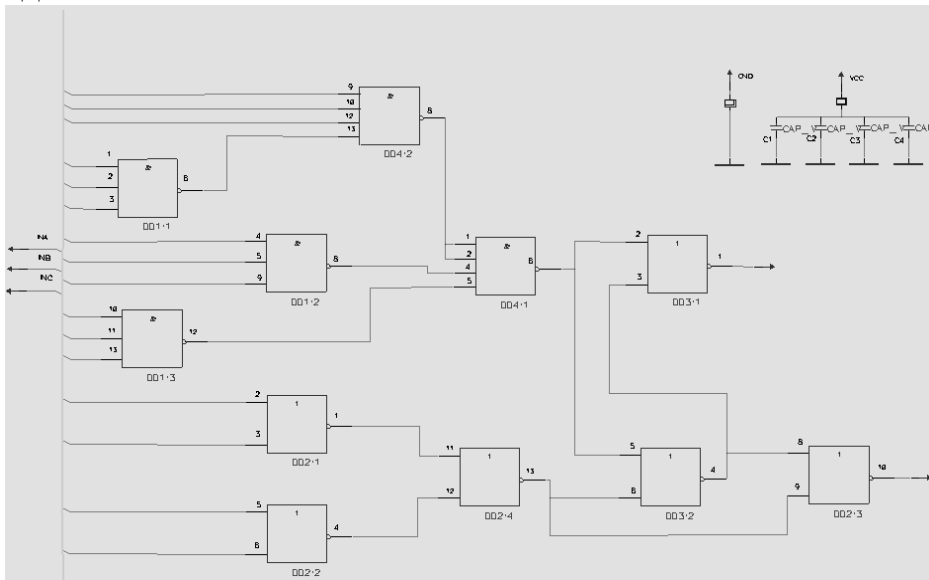
1. В чем заключается принципиальное отличие в отображении контактных площадок (**pad**) и переходных отверстий (**via**) в P-CAD PCB?
2. Какие элементы должны обязательно присутствовать на готовом чертеже печатной платы?
3. Какое программное средство может использоваться совместно с P-CAD для трассировки печатных плат и какие дополнительные возможности оно предоставляет?

### Вариант 3

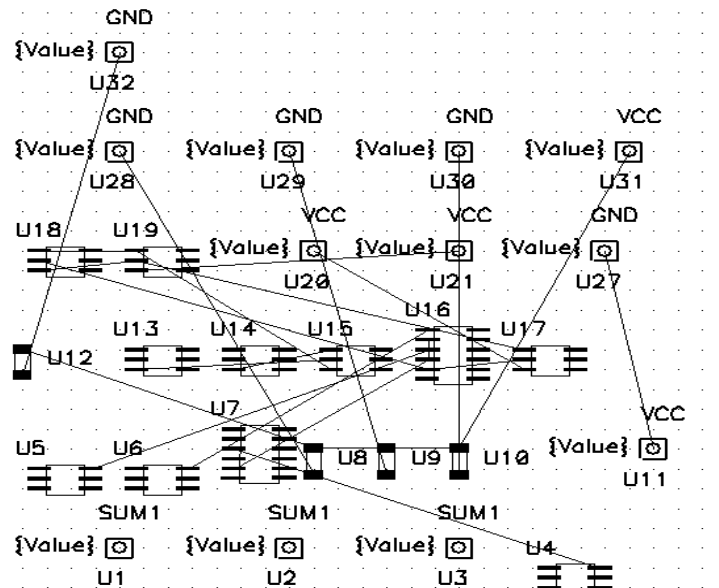
#### Задание

Ознакомиться с пакетом P-CAD. Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:



Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:



### Вопросы к работе

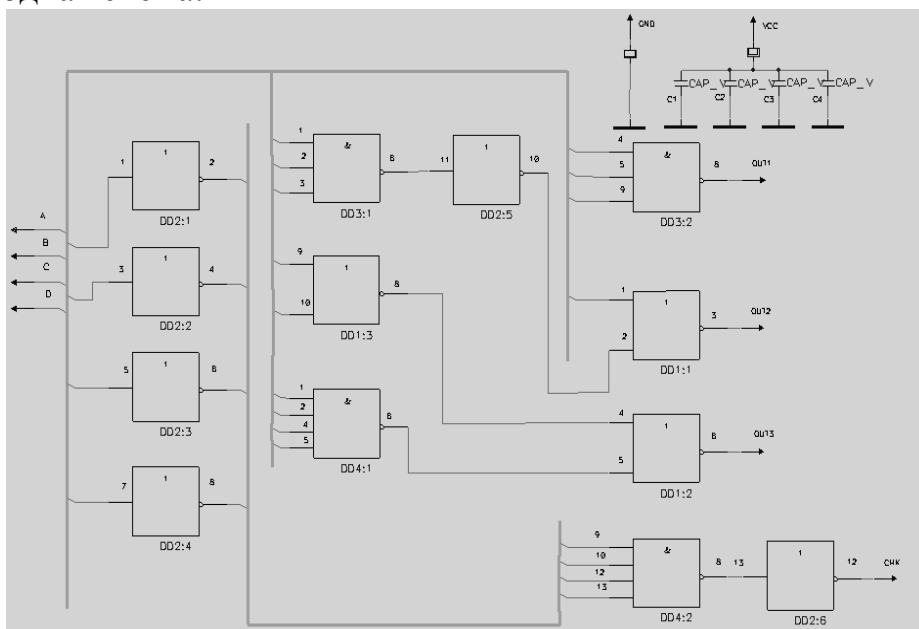
1. В каком из четырех рассмотренных слоев печатной платы (P-CAD PCB) размещаются узоры элементов и подписи к ним?
2. Что обозначает маркировка элемента **DD1:3** и какой марке радиодетали соответствует этот элемент, изображенный на принципиальной схеме (рис. 2)?
3. В чем заключается принципиальное отличие в отображении контактных площадок (**pad**) и переходных отверстий (**via**) в P-CAD PCB?

### Вариант 4

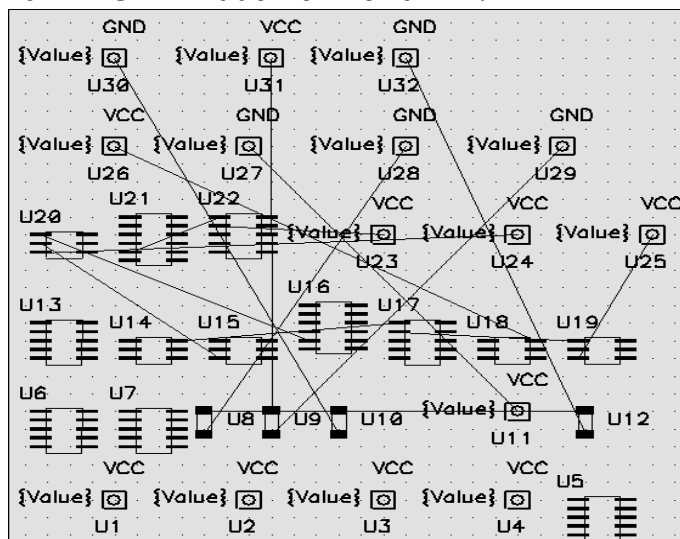
#### Задание

Ознакомьтесь с пакетом P-CAD. Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:

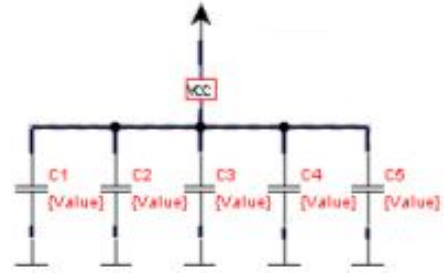


Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:



### Вопросы к работе

1. Как преобразуется цепь питания (в терминах принципиальной электрической схемы), если убрать из нее сглаживающие емкости C1-C6?



2. Какие элементы должны обязательно присутствовать на готовом чертеже печатной платы?

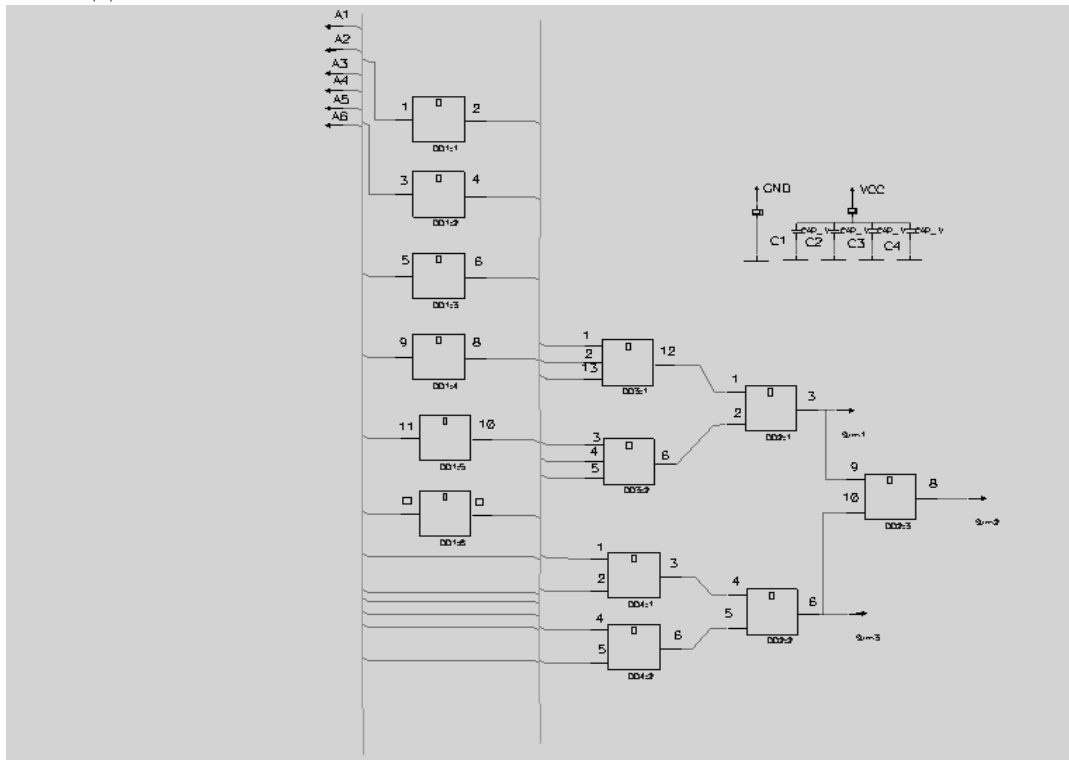
3. Что обозначает маркировка элемента **DD1:3** и какой марке радиодетали соответствует этот элемент, изображенный на принципиальной схеме?

### Вариант 5

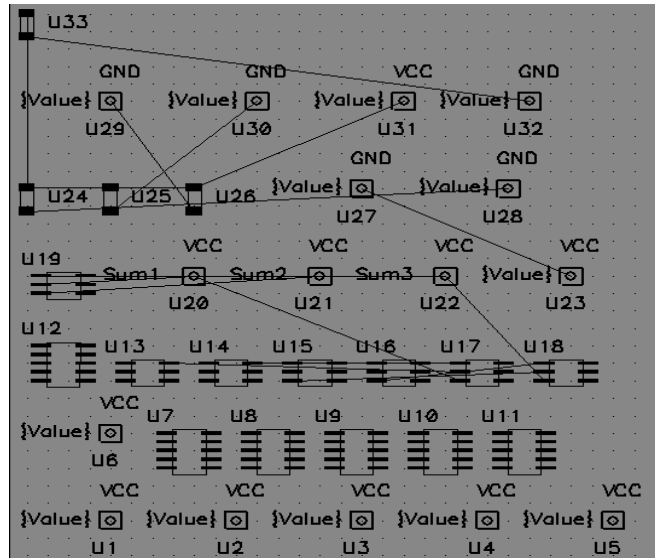
#### Задание

Ознакомиться с пакетом P-CAD . Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:



Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:



### Вопросы к работе

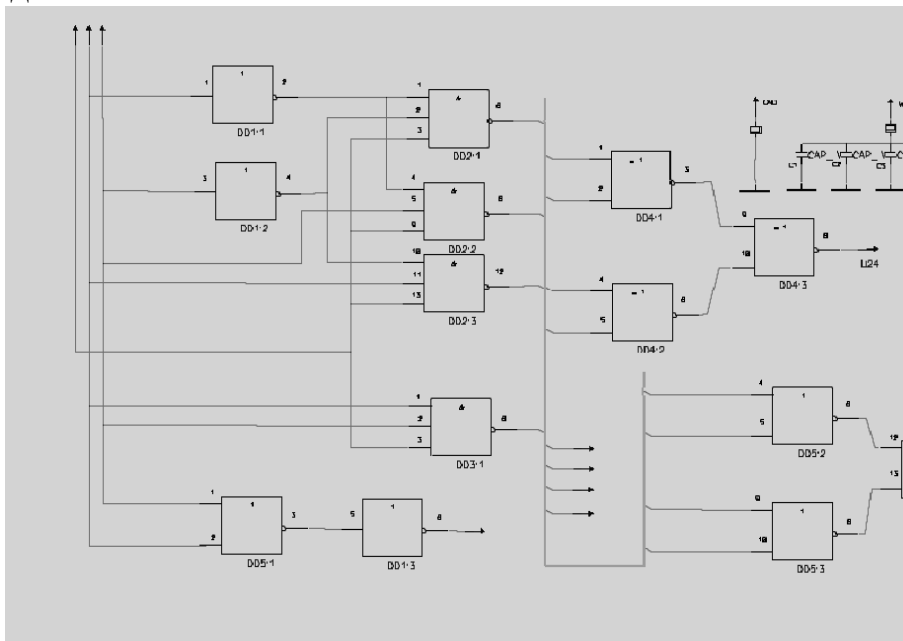
1. В каком из четырех рассмотренных слоев печатной платы (P-CAD PCB) размещаются узоры элементов и подписи к ним?
2. Какие линии может и какие не должна пересекать проложенная Quick Route трасса?
3. Какие объекты включает в себя библиотечный элемент (компонент в терминах P-CAD) и какие подсистемы используются для редактирования компонентов и библиотек в P-CAD?

### Вариант 6

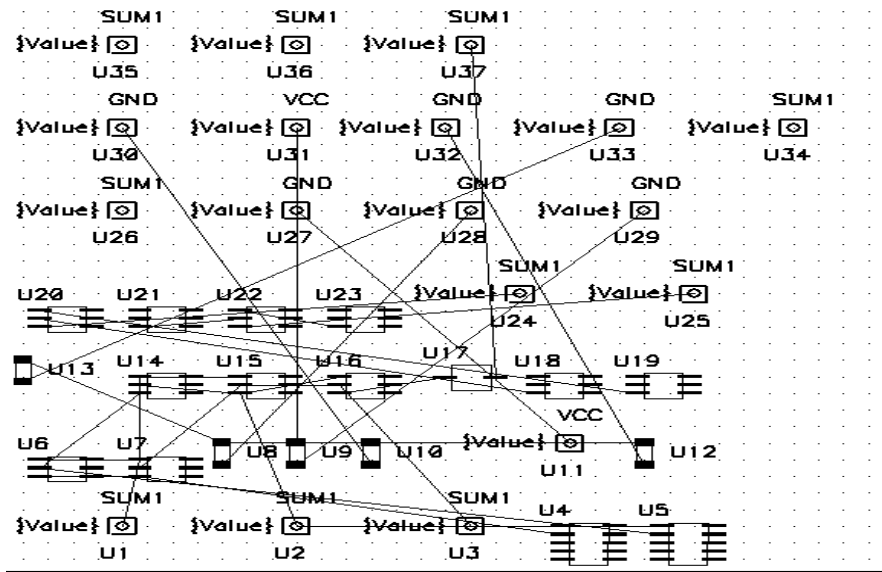
#### Задание

Ознакомьтесь с пакетом P-CAD. Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:



Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:



### Вопросы к работе

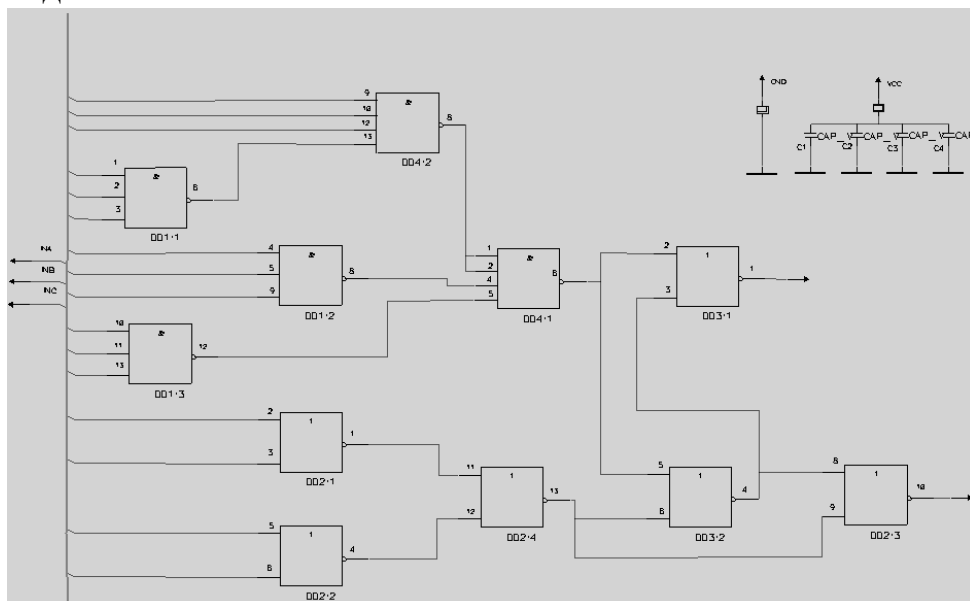
1. Какое программное средство может использоваться совместно с P-CAD для трассировки печатных плат и какие дополнительные возможности оно предоставляет?
2. Какие элементы должны обязательно присутствовать на готовом чертеже печатной платы?
3. Какие линии может и какие не должна пересекать проложенная Quick Route трасса?

### Вариант 7

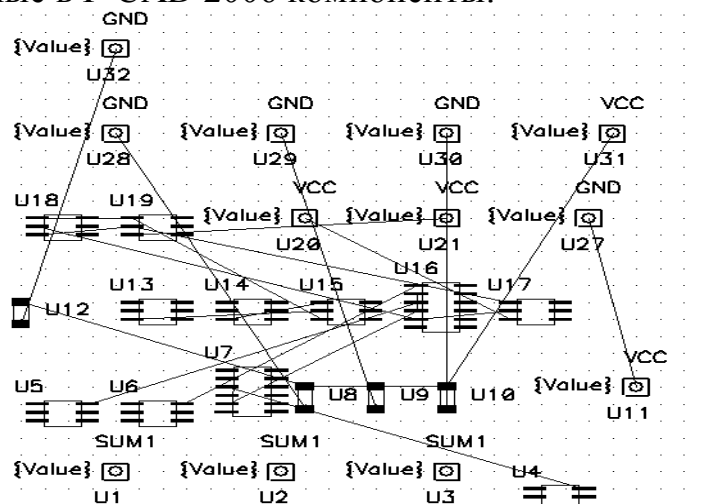
#### Задание

Ознакомьтесь с пакетом P-CAD. Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:



Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:



### Вопросы к работе

1. Определить по чертежу печатной платы в программе P-CAD PCB, к каким выводам элементов **DD1-DD5** подводятся «земля» и «питание». Нумерация выводов элемента с параллельным их размещением (здесь – **SOIC корпус**) производится так: расположив элемент и увеличив изображение (клавиша «+» и курсор на элементе), определим первый вывод как верхний левый, последний же вывод окажется нижним правым.

2. Что обозначает маркировка элемента **DD1:3** и какой марке радиодетали соответствует этот элемент, изображенный на принципиальной схеме?

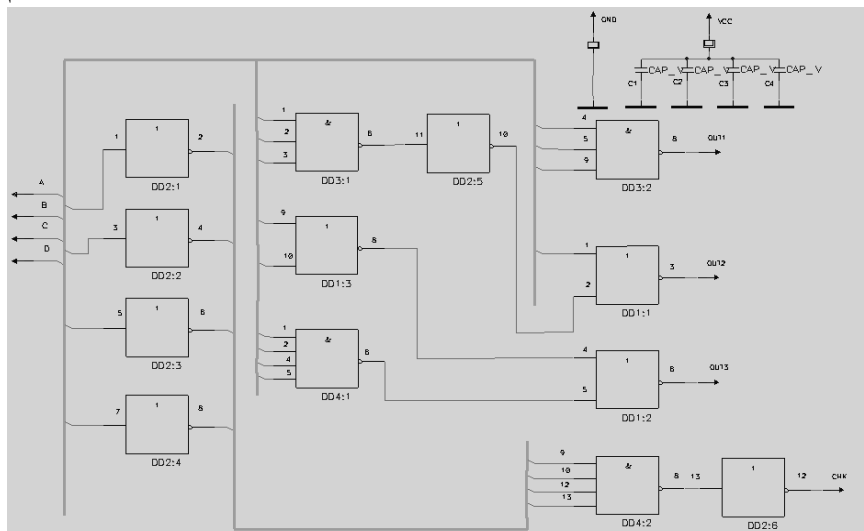
3. Определить избыточность в реализации ( $\Delta m_i$ ) для приведенной в описании схемы одноразрядного сумматора.

### Вариант 8

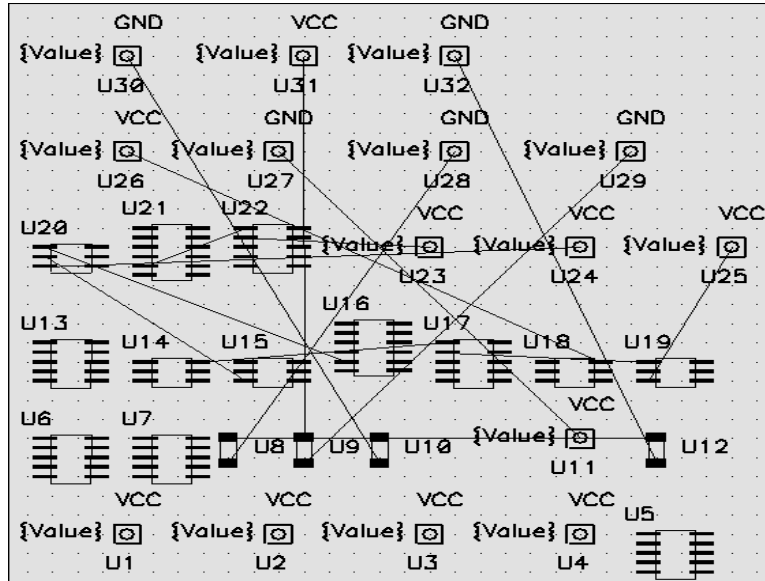
#### Задание

Ознакомиться с пакетом P-CAD. Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:



Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:



### Вопросы к работе

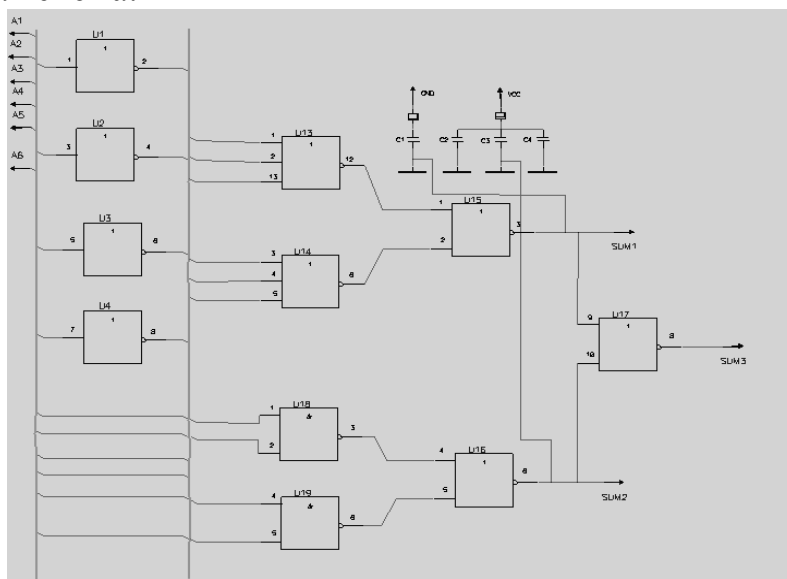
1. Какие объекты включает в себя библиотечный элемент (компонент в терминах P-CAD) и какие подсистемы используются для редактирования компонентов и библиотек в P-CAD?
2. В чем заключается принципиальное отличие в отображении контактных площадок (**pad**) и переходных отверстий (**via**) в P-CAD PCB?
3. В каком из четырех рассмотренных слоев печатной платы (P-CAD PCB) размещаются узоры элементов и подписи к ним?

### Вариант 9

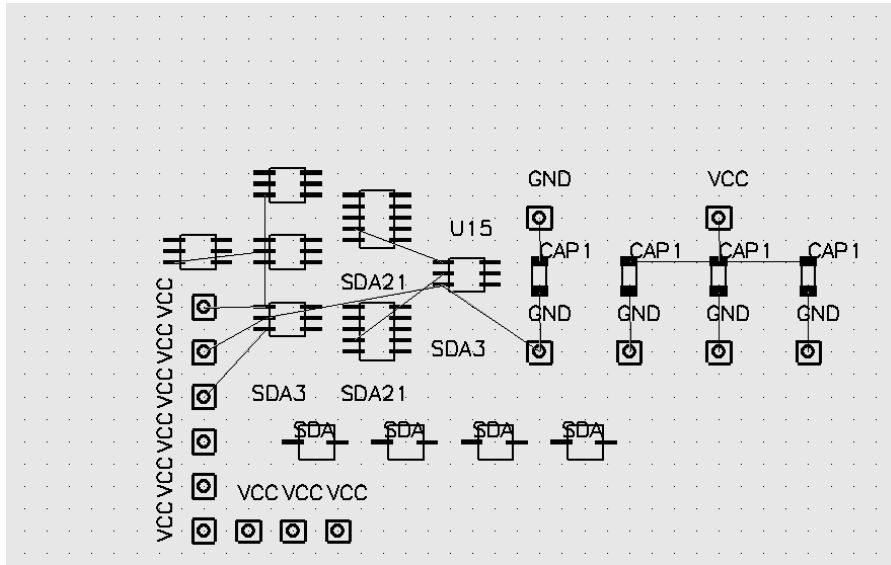
#### Задание

Ознакомьтесь с пакетом P-CAD. Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:



Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:



### Вопросы к работе

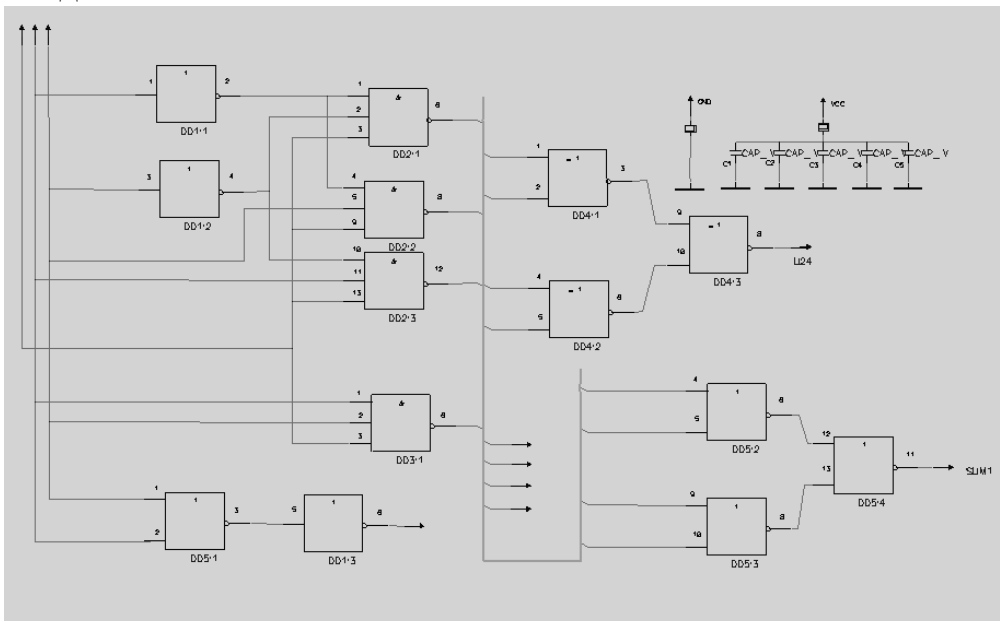
1. Определить избыточность в реализации ( $\Delta m_i$ ) для приведенной в описании схемы одноразрядного сумматора.
2. Какие элементы должны обязательно присутствовать на готовом чертеже печатной платы?
3. Какие линии может и какие не должна пересекать проложенная Quick Route трасса?

### Вариант 10

#### Задание

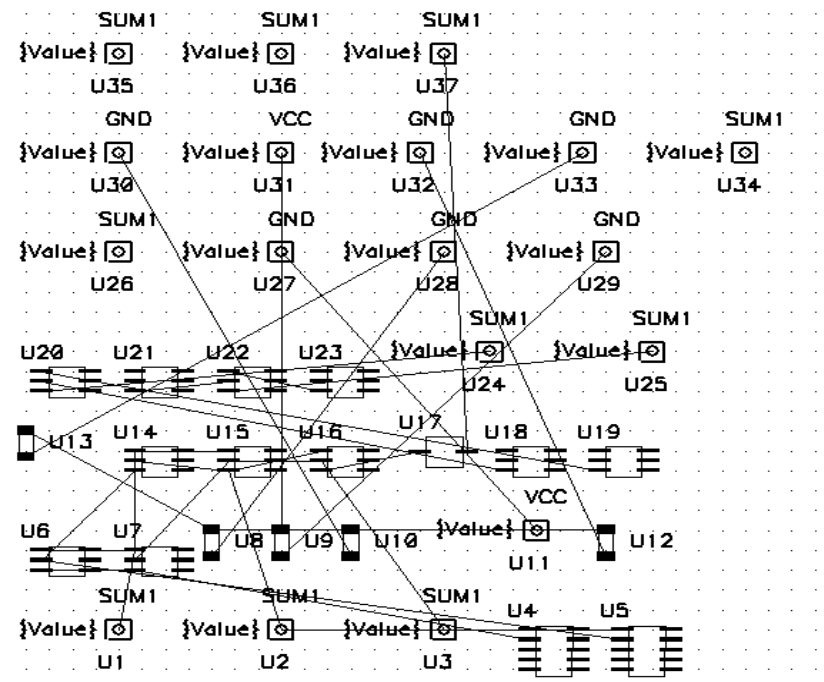
Ознакомьтесь с пакетом P-CAD. Воспроизвести последовательность действий для получения монтажа МПП на основе принципиальной схемы.

Исходная схема:





Размещенные в P-CAD 2006 компоненты:



### Вопросы к работе

1. Какие объекты включает в себя библиотечный элемент (компонент в терминах P-CAD) и какие подсистемы используются для редактирования компонентов и библиотек в P-CAD?
2. Какие линии может и какие не должна пересекать проложенная Quick Route трасса?
3. Что обозначает маркировка элемента **DD1:3** и какой марке радиодетали соответствует этот элемент, изображенный на принципиальной схеме?

### Лабораторная работа № 3

#### Создание библиотечных элементов в среде P-CAD v.2006

Любое устройство представлено в пакете P-CAD v.2006 в виде композиции библиотечных элементов, представляющих конкретное исполнение определенных радиодеталей, и системы связей между ними, образующих в конечном итоге цепи (**nets**). Для такого подхода необходимо наличие широкого спектра библиотечных элементов при разработке проекта. Одной из предпосылок, обеспечившей широкую популярность данной среды компьютерного проектирования, послужила заложенная в ее основе функциональная гибкость, которая позволяет, с одной стороны, использовать P-CAD для построения чертежей устройств с учетом принятых в соответствующем стандарте норм и правил. С другой стороны, проектировщик получает возможность создавать готовые проекты, не заботясь об их

конкретном элементном составе, в который включаются модули, построенные непосредственно на этапе разработки. Для такой процедуры практически не требуется серьезного навыка работы в среде P-CAD 2006, однако некоторые типовые принципы операции необходимо все же усвоить. После этого процесс пополнения элементного базиса не вызовет затруднений и возможно потребует лишь обращения к справочному руководству.

Рассмотрим типовой базовый элемент схемы проектируемого устройства. Элемент (**part**) представлен в трех состояниях: условное графическое изображение, шаблон (посадочная площадка с изображением выводов и дополнительным рисунком) и информация о связях шаблона с графическим изображением элемента, включающая дополнительные указания на электрический тип выводов, условное разбиение на ключи (**gates**) и т.д. Основное знакомство с представлением элементной базы P-CAD осуществляется в лаб. раб. № 1 на стадии знакомства с приложением P-CAD 2006 Library Executive (рис. 1).

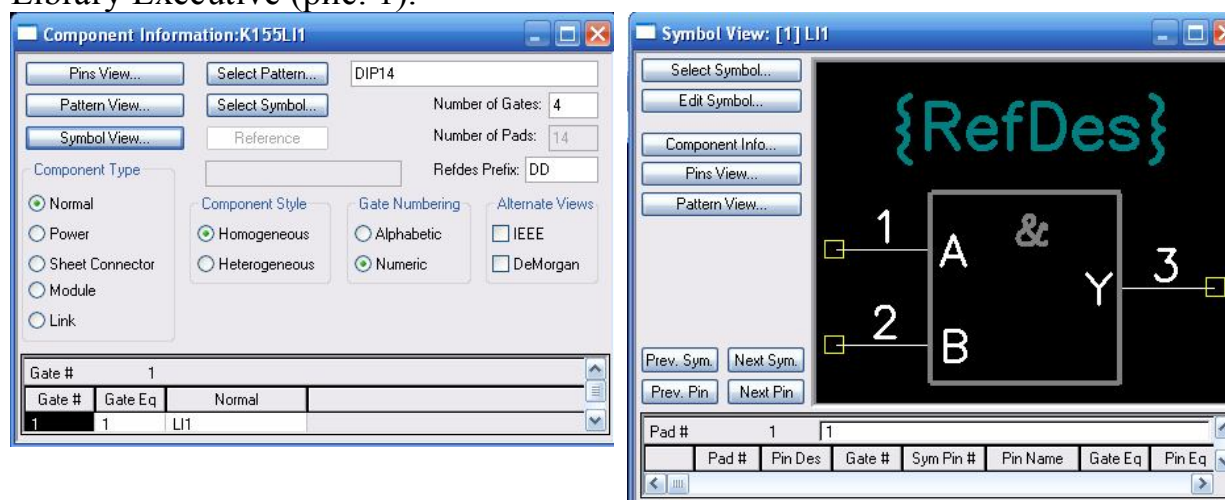
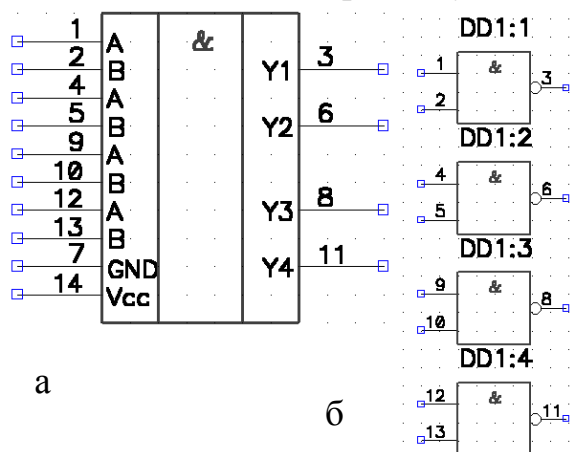


Рис. 1. P-CAD Library Executive

На стадии разработки библиотечного элемента пользователю P-CAD необходимо решить вопрос о его представлении в виде графического символа в сочетании с вопросом установления соответствия между выводами

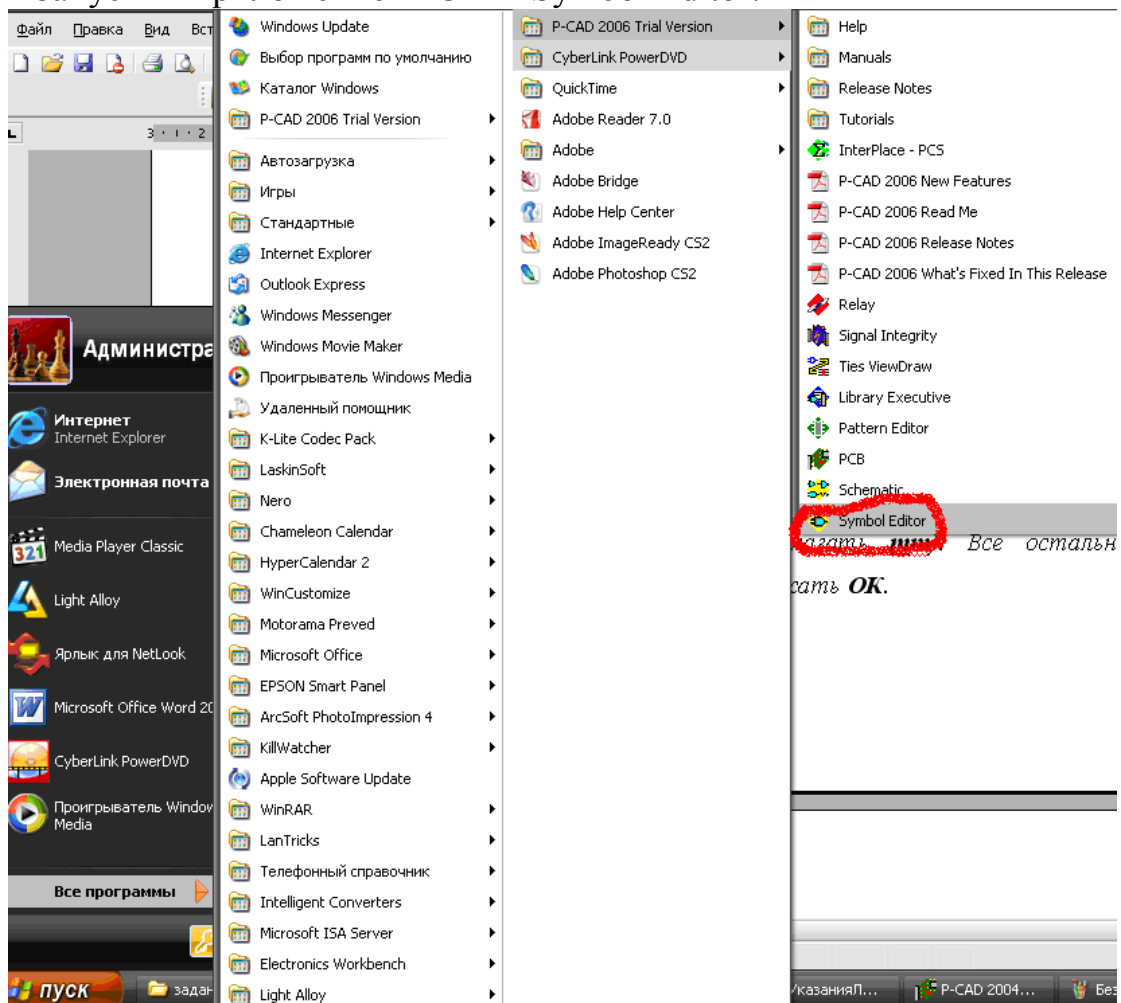


элемента. В конечном итоге, определяющим фактором здесь являются требования, представленные к принципиальной схеме устройства. В качестве примера можно представить элемент КР555ЛА3 (2И-НЕ) в виде набора логических ключей и одного цифрового устройства (радиодетали) на принципиальной схеме (рис. 2).

**Рис. 2.** Представления радиодетали

Как было отмечено выше, по принятым соглашениям необходимо выбрать единственный вариант представления элемента (радиодетали). В данном случае это рис. 2, б. Итак, первой операцией по созданию библиотечного элемента станет построение его условного графического обозначения (УГО). Выполним эту процедуру в P-CAD Schematic. Здесь необходимо отметить, что для создания достаточно простых условных изображений в P-CAD используется преимущественно приложение P-CAD Symbol Editor, включающее мастер создания УГО. Однако его можно рассматривать в качестве упрощенной версии **Schematic**, который к тому же обеспечивает большую гибкость в работе.

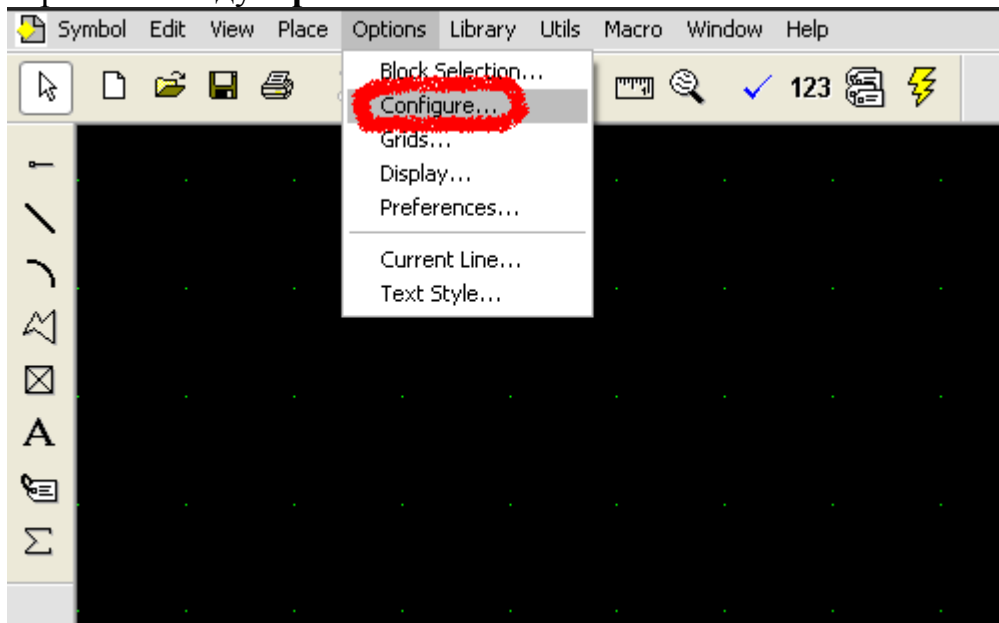
Запустим приложение P-CAD Symbol Editor:



Выполним указанную последовательность для настройки конфигурации графического редактора:

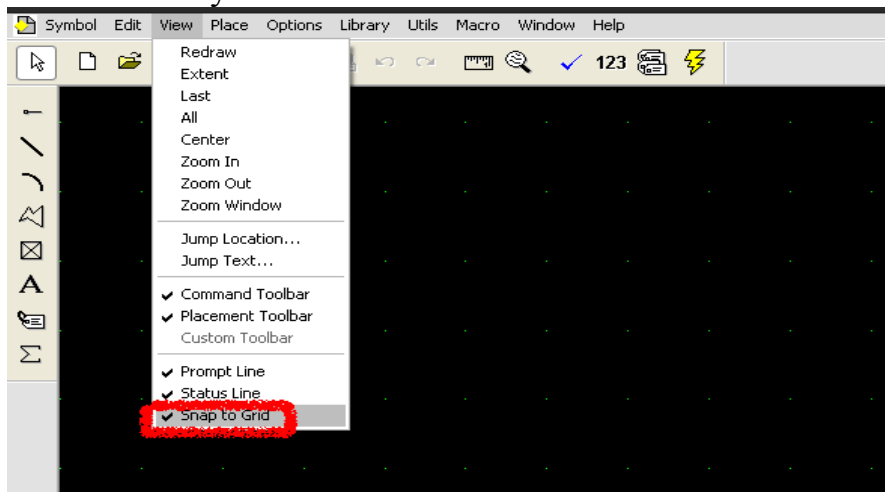
выбрать команду **Options/Configure**. В открывшемся диалоговом окне **Options Configure** установить размер рабочего поля формата **A4** (в области **Workspase Size** указать **A4**), выбрать миллиметры как основную систему единиц (в области **Units** указать **mm**). Все остальные параметры оставить без изменения. Нажать **OK**;

выбрать команду **Options/Grids**:



В открывшемся диалоговом окне **Options Grids** установить новую сетку графического редактора с шагом в 5 мм (в области **Grid Spacing** нажать на клавиатуре **5** и нажать **Add**) – в данном случае это наиболее удобный шаг сетки. В списке шагов сетки (под окном ввода) появится значение **5.00**, которое следует выделить мышью. Нажать **OK**.

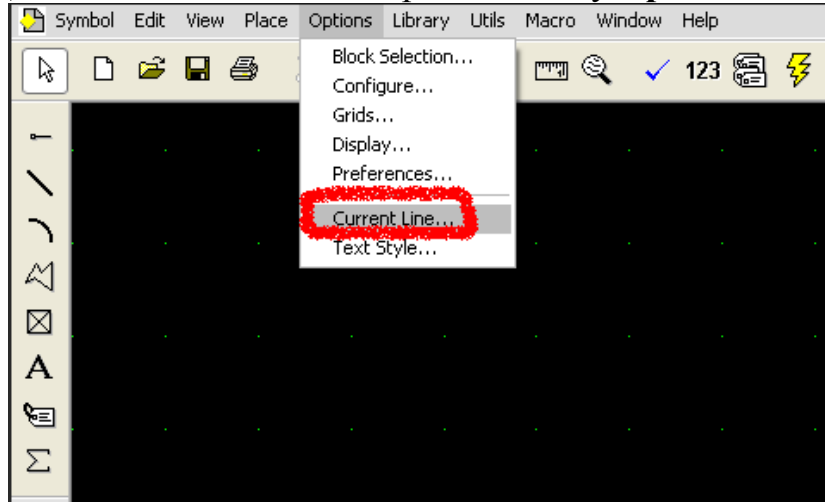
Затем можно прикрепить курсор к узлам сетки графического редактора с помощью команды **Snap to Grid** из пункта меню **View** (обратный эффект с помощью той же команды), при этом перемещение курсора будет возможным только по узлам сетки:



Теперь, когда редактор сконфигурирован, можно приступить собственно к рисованию. Изображение элемента можно начать строить непосредственно с обводки, однако при этом необходимо учесть выбранный масштаб и единицы измерения чертежа. ГОСТ на изображения принципиальных электрических схем предполагает соответствующие размеры и пропорции. Для учета их в данной работе примем длину вывода равной

5 мм, равно как и расстояния между выводами. Определив таким образом предполагаемые размеры поля элемента, начертим его с помощью инструмента **Line**.

Перед рисованием обводки необходимо задать ее стиль: сплошная тонкая линия. Для этого необходимо выбрать команду **Options/Current Line**:



В появившемся диалоговом окне **Options Current Line** устанавливаются параметры текущей линии рисования: в поле **Width** (ширина) выбрать **Thin** (тонкая линия), а в поле **Style** – **Solid** (сплошная линия). Нажать **OK** (рис. 3).

Рис. 3. Опции линии PCAD Symbol Editor

После выполнения указанной операции каждая новая создаваемая линия будет иметь указанный стиль. Построения удобнее проводить при увеличенном масштабе так, чтобы отображаемая сетка имела шаг, указанный в настройках **Grids**.

Создадим обводку, выбрав инструмент **Line** и построив замкнутую область (здесь и далее рассматривается пример построения элемента **54ALS02**). Руководствуясь размерами и приведенным изображением (рис. 4), построим область, показанную на рис. 5. Новая точка добавляется к ломаной нажатием левой кнопки мыши, завершается создание линии нажатием правой кнопки. Если в дальнейшем

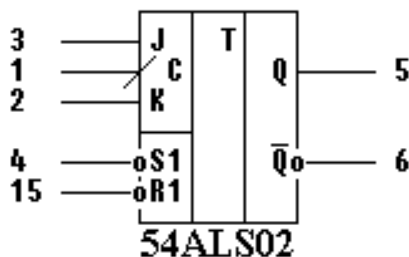


Рис. 4. Символьное изображение элемента 54ALS02

окажется, что какая-либо линия или несколько линий проведены неверно, их можно редактировать: выделять (рамкой или по одной с нажатой клавишей **Left Shift**), перетаскивать и т.д. Выделенные линии могут быть удалены (**Delete**), растянуты либо перемещены.

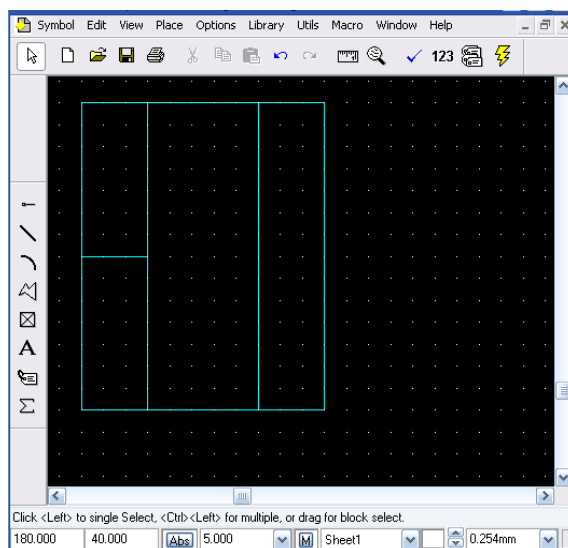
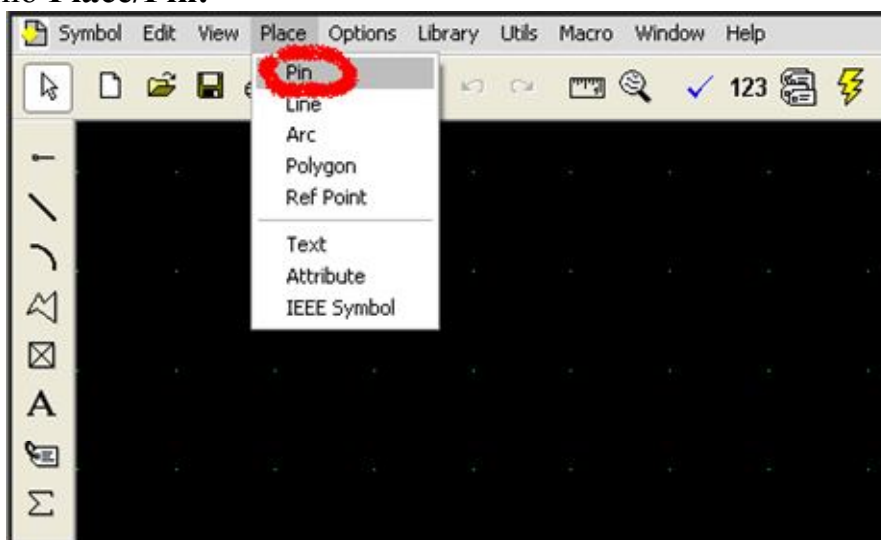



Рис. 5. Контур символического изображения элемента

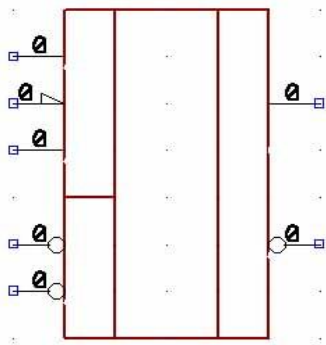
Следующим шагом будет создание выводов элемента. Выбрать команду меню **Place/Pin**:



Для ускорения работы можно использовать кнопку  на левой панели редактора. Наждем на нее левой кнопкой мыши. В открывшемся диалоговом окне **Place Pin** установить нужную длину контакта (в поле **Length** выбрать **User**, в расположенном ниже окошке ввести цифру **5**), настроить отображение номеров контактов (в поле **Display** включить метку **Pin Des** и выключить метку **Pin Name**).

Отключение метки **Pin Name** сделает невидимым символическое имя контакта, которое задается обычно в редакторе **Library Executive** и отображается в области УГО элемента напротив вывода. При включенном флаге **Pin Name** отпадает необходимость задавать подписи к выводам, иногда это может оказаться полезным (например, в случае задания различных подписей выводов для логических элементов в составе радиодетали).

Нажав **ОК**, укажем следующим нажатием положение контакта. Разместим контакты (выходы) справа. Затем, нажав и удерживая клавишу **F** для отражения контактов, разместим еще пять контактов (входов) слева. Выводы будут отражены слева направо. Теперь требуется разместить контакты с **признаками инверсии** (кружок в основании контакта) и срабатывания по фронту (наклонная черта). Это можно сделать, разместив обычные контакты и выбрав нажатием правой кнопки мыши на выделенный (в режиме выделения **Arrow**) контакт пункт меню **Properties**. Аналогичного результата можно добиться, изначально задавая параметры вывода. Для этого необходимо прервать последовательность размещения выводов текущего типа (курсор в режиме размещения имеет вид перекрестия на 45°), нажав правую кнопку мыши. Курсор снова примет форму стрелки. Тогда



по нажатию левой кнопки мыши (выбран инструмент размещения вывода) появится окно задания свойств вывода. В этом окне задается **Outside Edge – Dot** (кружок инверсии) либо **Outside Edge – Polarity Edge** (стрелка – аналог наклонной). Результат произведенных операций показан на рис. 6.

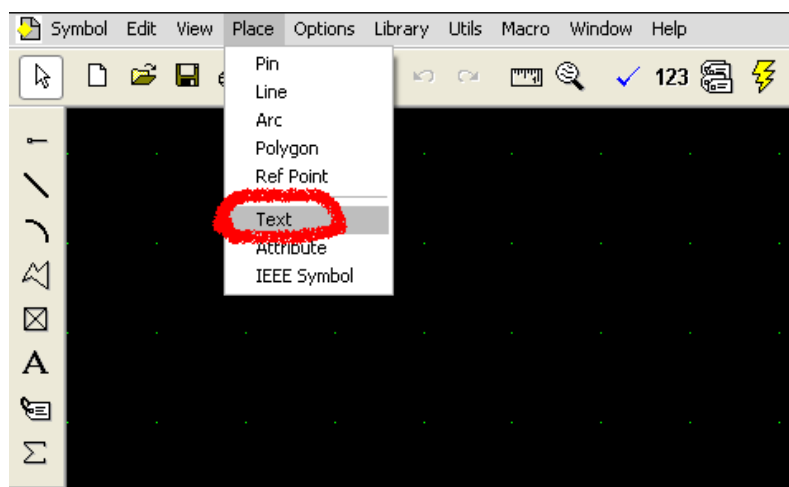
**Рис. 6.** Контур символа элемента на стадии добавления выводов

Необходимо сразу обратить внимание на нумерацию выводов. Изменить ее в нужном порядке удобней всего, используя команду меню **Utils/Renumber**. В открывшемся окне необходимо указать параметр перенумерации – номер вывода (**Pin Num**), после чего в окне останутся лишь такие параметры, как начальное значение и инкремент. Указав их как 1, нажмем **ОК** и перенумеруем выводы нажатиями в порядке **слева – направо, сверху – вниз**.

На данном этапе номера выводов необязательно должны соответствовать номерам, указанным в таблице для конкретного варианта. Другой способ перенумеровать выводы – задать их номера в окне свойств вывода (поле **Pin Number**). По выполнению перечисленных операций УГО радиодетали можно считать практически законченным. Осталось разместить символьные метки элемента так, как указано на рис. 5.

Для установки статических символьных обозначений необходимо воспользоваться командой **Place/Text**. Для ускорения работы можно ис-

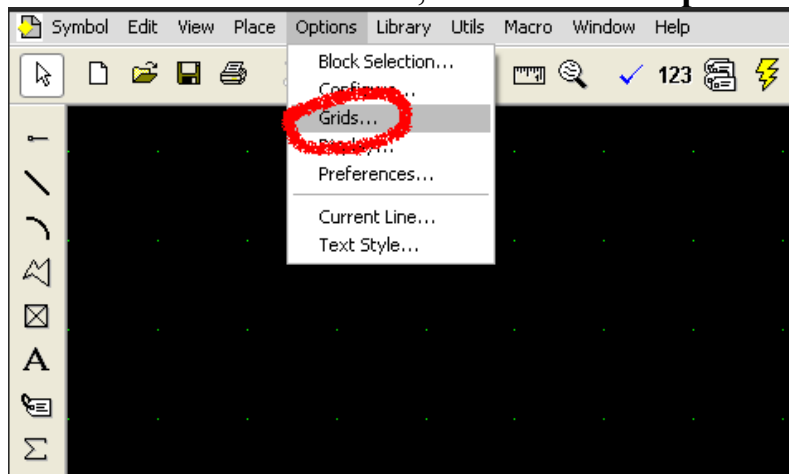
пользовать кнопку **A** на левой панели редактора. Нажать левую кнопку мыши. В открывшемся диалоговом окне **Place/Text:**



Набрать символ **J**, установить выравнивание текста по (**Justification**), выбрать стиль **PartStyle**. Нажать **OK**. Установить курсор в нужную точку и нажать **OK**. Повторить процедуру для остальных символов.

При размещении текста могут возникнуть две проблемы. Основная проблема, возникающая при размещении текста, заключается в необходимости точного размещения символов, оказывающихся вследствие привязки к сетке «выбитыми» из указанных позиций. Основным способом ее решения заключается в задании меньшего шага сетки (1 mm).

Задать меньший шаг сетки можно, вызвав меню **Options/Grids:**



В этом меню (уже использованном при настройке редактора) добавляется (кнопка **Add**) сетка с шагом **1.00 мм** и выбирается активной в списке, где уже присутствует сетка **5.00**. Впоследствии можно сделать активной сетку с шагом **5 мм**.

Другая проблема может возникнуть, когда ширина левого или правого дополнительных полей окажется недостаточной для отображения меток. В этом случае допускается расширить дополнительное поле так, чтобы его



размеры позволяли ввести метки. Для отображения специальных символов (например, символ гистерезиса триггера Шмидта) можно воспользоваться командами размещения линии и дуги. Результат произведенных операций демонстрирует рис. 7.

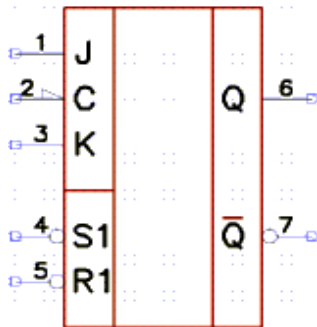
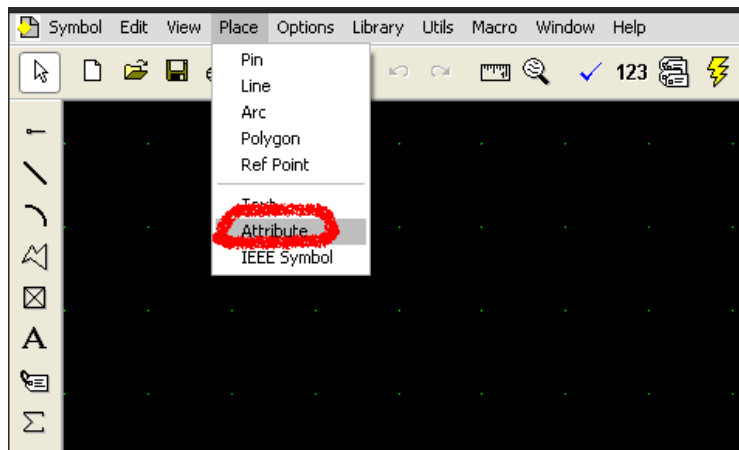



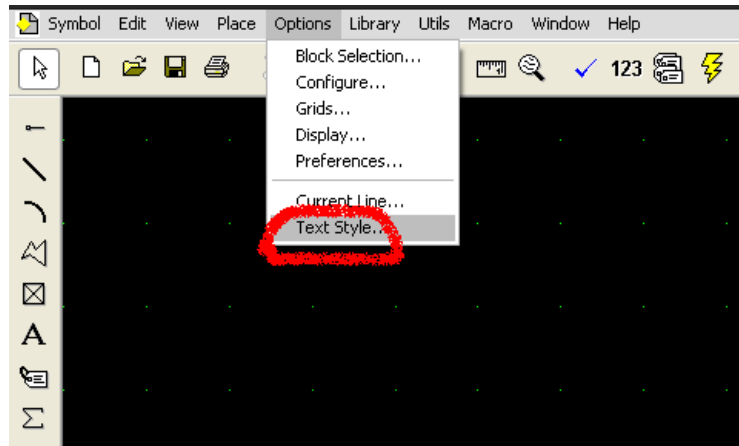
Рис. 7. Символьное изображение элемента на стадии добавления текстовых меток

Выше был описан процесс создания статических меток. Однако размещенный на схеме элемент снабжается дополнительными метками и текстовыми аргументами, отображаемыми различными способами и позволяющий идентифицировать радиодеталь и входящие в нее ключи. Ниже рассмотрен процесс задания этих параметров.

Для введения атрибутов элемента (возьмем, к примеру, место для размещения позиционного обозначения и подпись типа элемента) надо вызвать команду **Place/Attribute**:



Для ускорения работы можно использовать кнопку  на левой панели редактора. Нажать левую кнопку мыши. В открывшемся диалоговом окне **Place Attribute** выбрать в области категорий атрибута (**Attribute Category**) назначение атрибута для элемента (**Component**). В области имен атрибутов (**Name**) выбрать имя атрибута позиционного обозначения (**RefDes**). Установить стиль текста в открывающемся списке **Text Style** как **PartStyle**:



Выравнивание (**Justification**): по вертикали – низ, по горизонтали – центр (рис. 8). Нажать **ОК**.

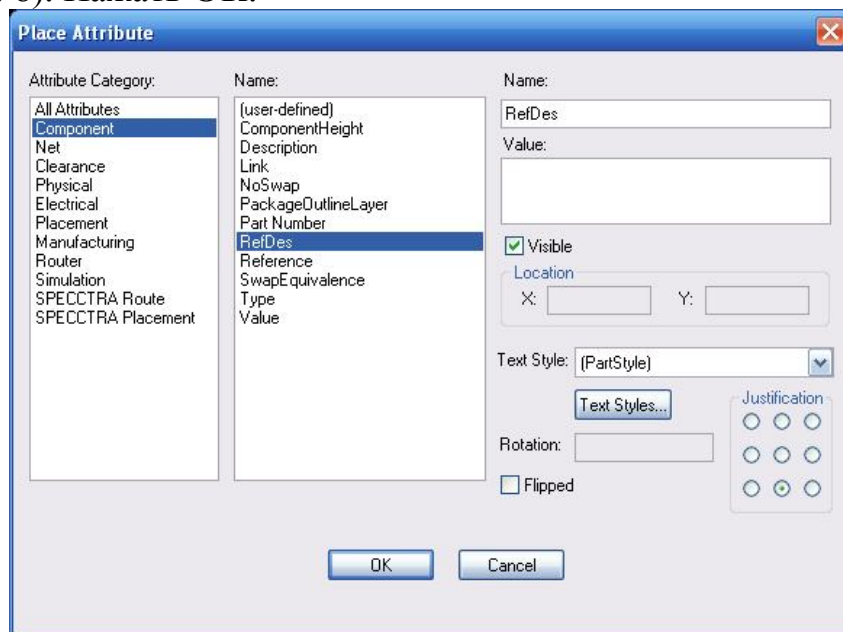


Рис. 8. Окно атрибутов символического изображения элемента

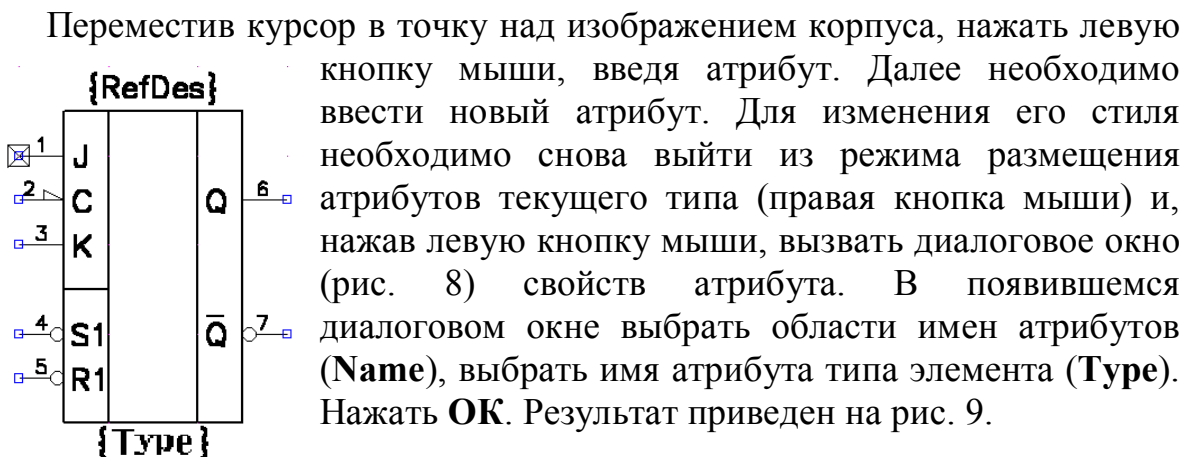

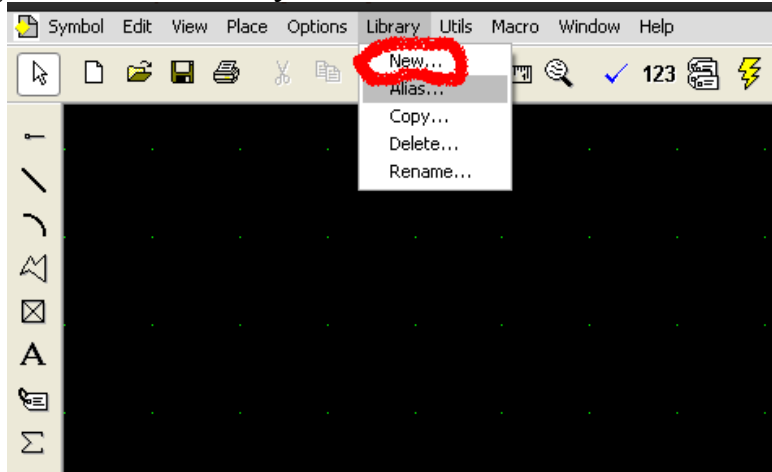


Рис. 9. Сформированное символическое изображение элемента 54ALS02

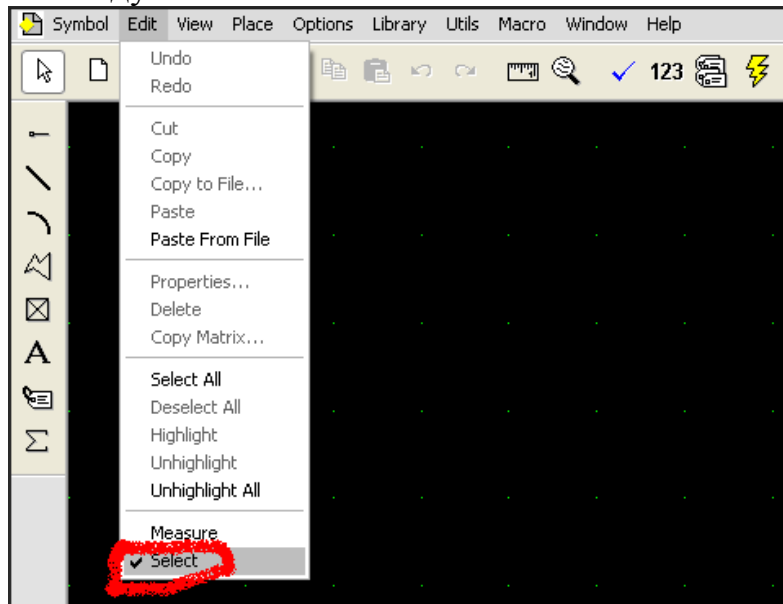
Для завершения создания УГО осталось указать точку привязки, по который будет привязываться к сетке размещаемый элемент. Для введения точки привязки элемента необходимо вызвать команду **Place/Ref Point**. Для ускорения работы можно использовать кнопку  на левой панели редактора. Переместить курсор в начало первого контакта и нажать левую кнопку (появится перечеркнутый квадрат).


Создание УГО элемента **54ALS02** завершено. Теперь необходимо сохранить символ. Для начала создадим свою библиотеку **test.lib**. В пункте меню **Library** вызвать команду **New**:



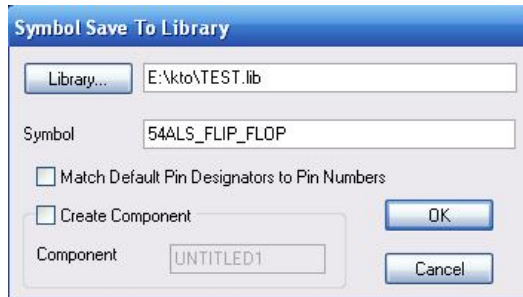
В открывшемся диалоговом окне задать имя новой библиотеки: **test.lib**. Нажать **OK**.

Вызвать команду **Edit/Select**:



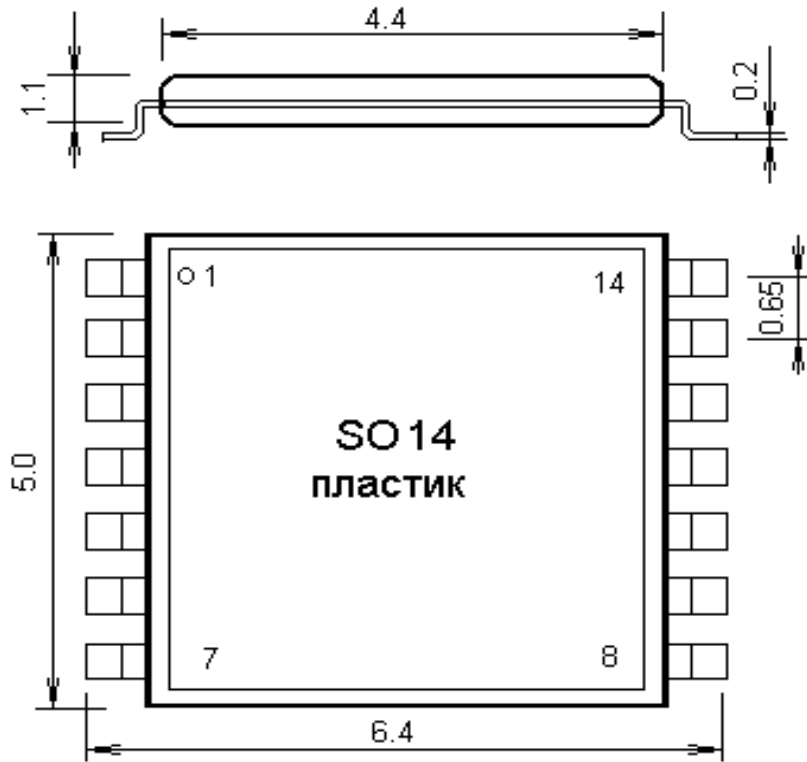
Для ускорения работы можно использовать кнопку  (на верхней панели редактора) и выделить весь созданный элемент. Вызвать команду **Symbol/Save As**. Выключить метку занесения информации в библиотеку как отдельного элемента (**Create Component**). В поле **Symbol** набрать имя элемента **54ALS\_FLIP\_FLOP** (триггер) и нажать кнопку **OK** (рис. 11).

Теперь вновь созданный символьный элемент занесен в библиотеку **test.lib**, которая может быть сохранена отдельно и подключена впоследствии для продолжения разработки элемента.



**Рис. 11.** Окно сохранения символа

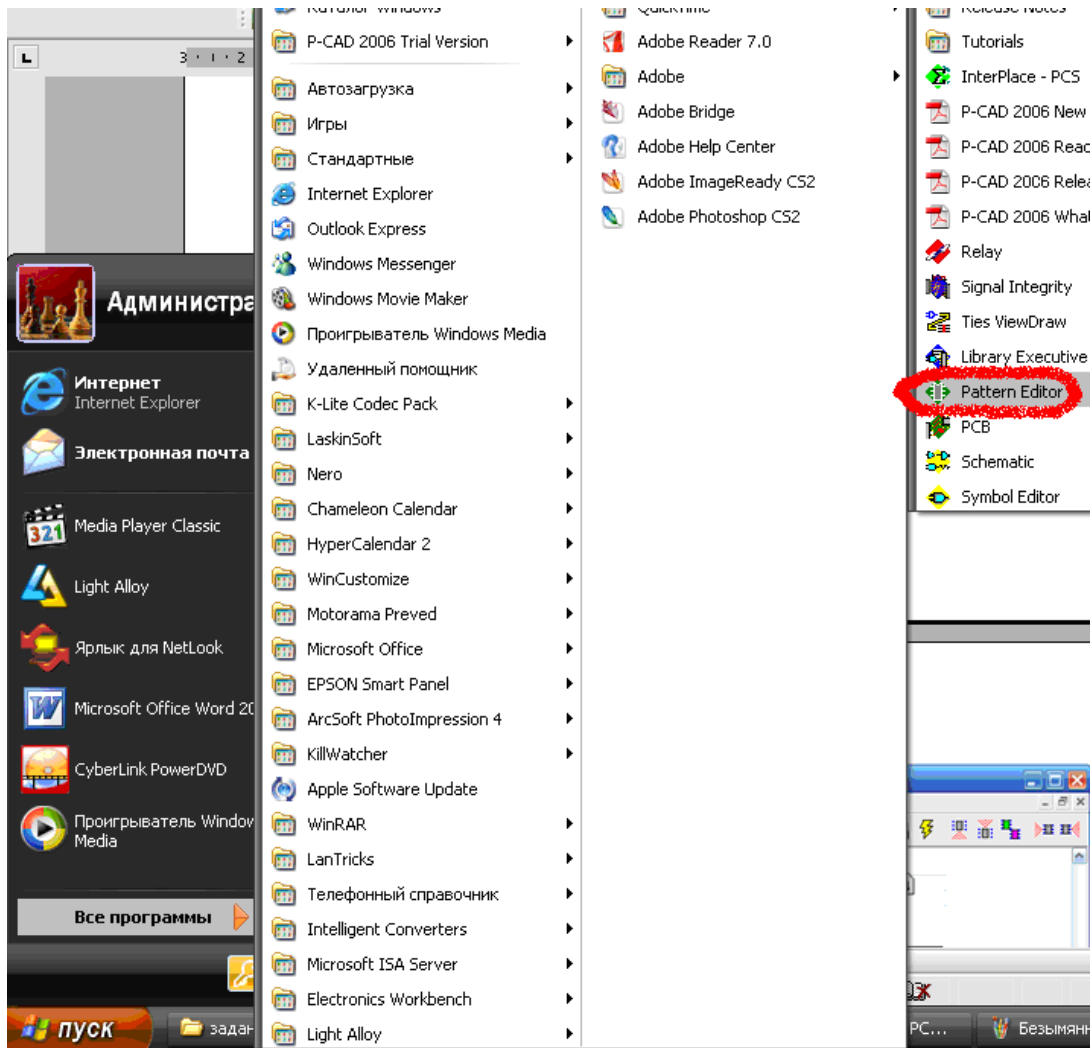
Следующим шагом будет создание посадочной площадки (**Pattern**) элемента. Конкретный вид и размеры площадки определяются исполнением радиодетали. В качестве исполнения корпуса примем пластиковый корпус с параллельным размещением выводов (**SOIC**). Именно в таком исполнении выпускается большинство современных ИМС универсального назначения. Внешний вид и размеры корпуса демонстрирует рис. 12.



**Рис. 12.** Внешний вид и посадочная площадка SOIC корпуса

Посадочная площадка, соответствующая корпусу, также приведена на рис. 12. Все, что необходимо создать в качестве реального изображения указанного в задании элемента, – это его посадочная площадка, рисунок выводов для стандартного SOIC-корпуса, имеющего произвольное (кратное двум) количество выводов. Процедура создания площадки выполняется в программе P-CAD Pattern Editor.

Запустим ее (**Пуск/Программы/P-CAD2006/Pattern Editor**):



Откроется окно с пустым документом (рис. 13).

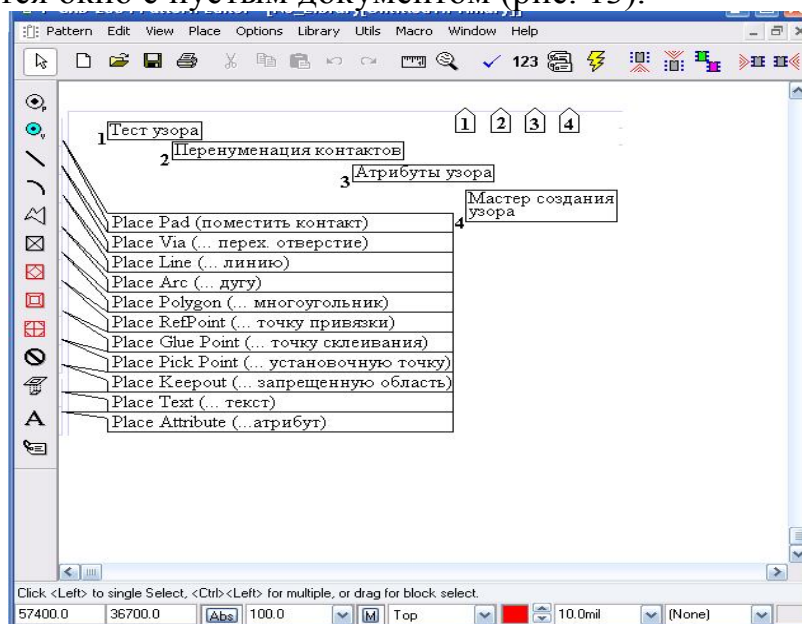
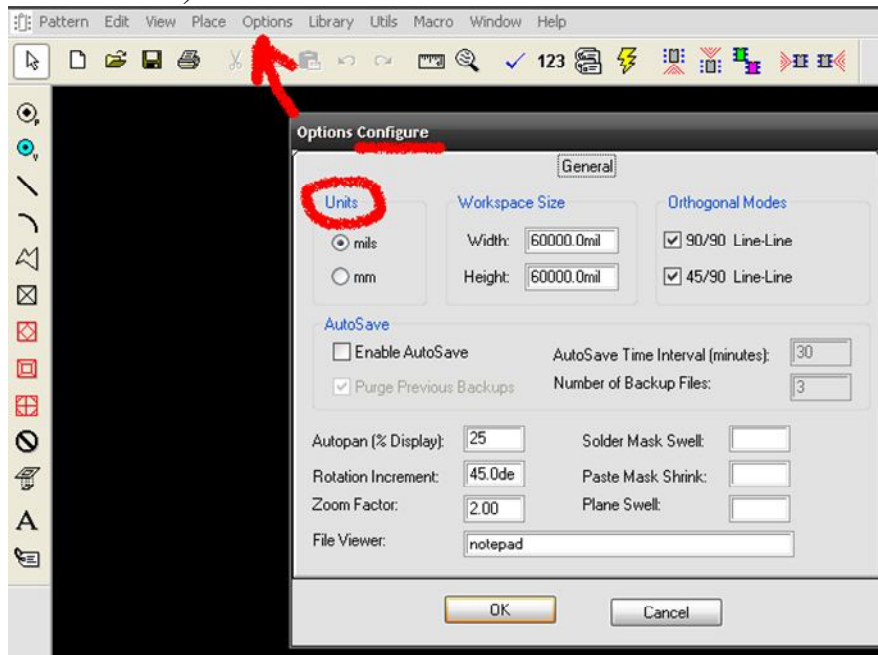


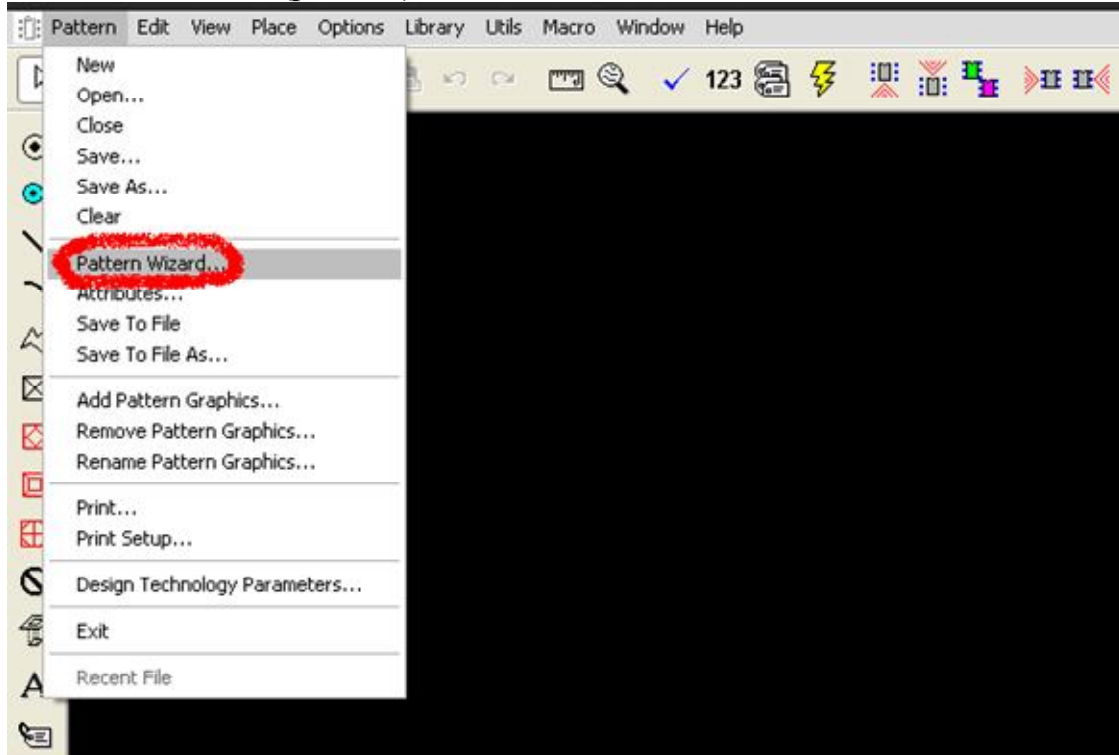
Рис. 13. Внешний вид редактора P-CAD 2006 Pattern Editor



Перед началом работы в редакторе необходимо выбрать миллиметры в качестве используемых единиц измерения (**Options/Configure**, поле **Units**, значение – *mm*):



Работу в редакторе целесообразно провести, воспользовавшись мастером создания узоров (**Pattern Wizard**), запускаемым кнопкой на инструментальной панели (рис. 13):



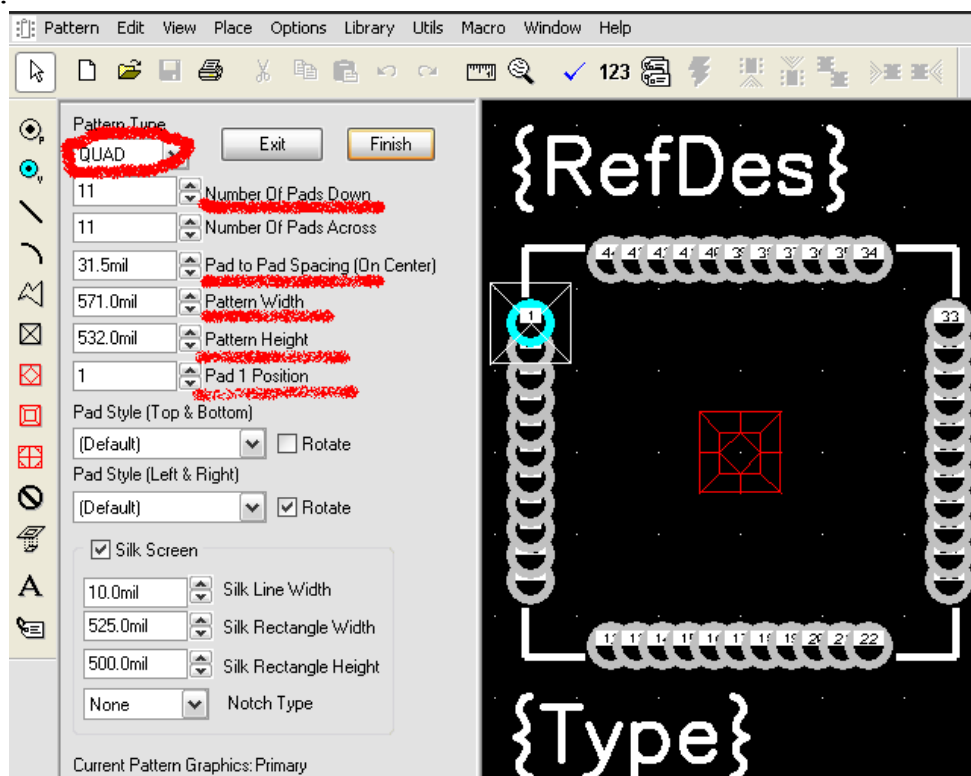
Откроется окно мастера, по заданным параметрам которого отобразится некоторый узор (рис. 14).



Рис. 14. Мастер создания посадочных площадок

Узор пока не имеет ничего общего с требуемым изображением, однако настройки несложно изменить, выполнив следующие действия.

В выпадающем списке **Pattern Type** мастера выбрать значение QUAD:



В поле **Number of Pads Down** ввести 16 (количество выводов радио-детали, включающее выводы земли и питания, указано в таблице задания).

Задать значение **Pad to pad spacing** (вертикальное расстояние между площадками) равным 2,54 mm.

Задать значение **Pattern Width** (ширина узора) равным 7,62 mm.

Задать **Pad 1 Position** - 1.

Значение **Silk Line Width** задать равным 0,25 mm.



Плавно меняя значения **Silk Rectangle Width** и **Silk Rectangle Height**, добиться соответствия размеров шелкографии (рисунка в области площадки) размерам элемента.

В поле **Notch Type** (тип ключа корпуса) выбрать **Arc** (дугу).

В результате работы мастера (по нажатию кнопки **Finish**) будет сформировано изображение площадки, представленное на рис. 15.

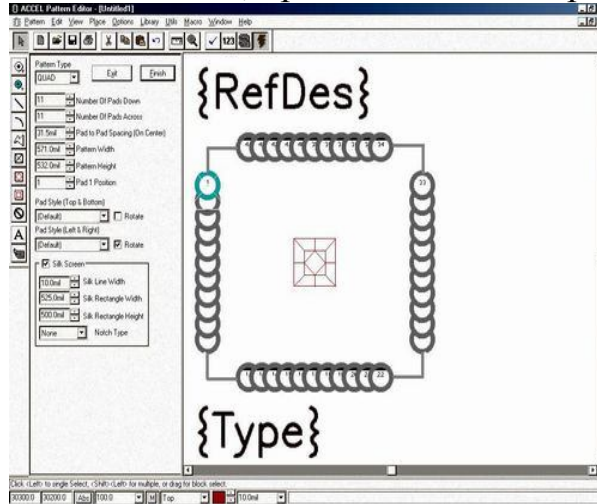
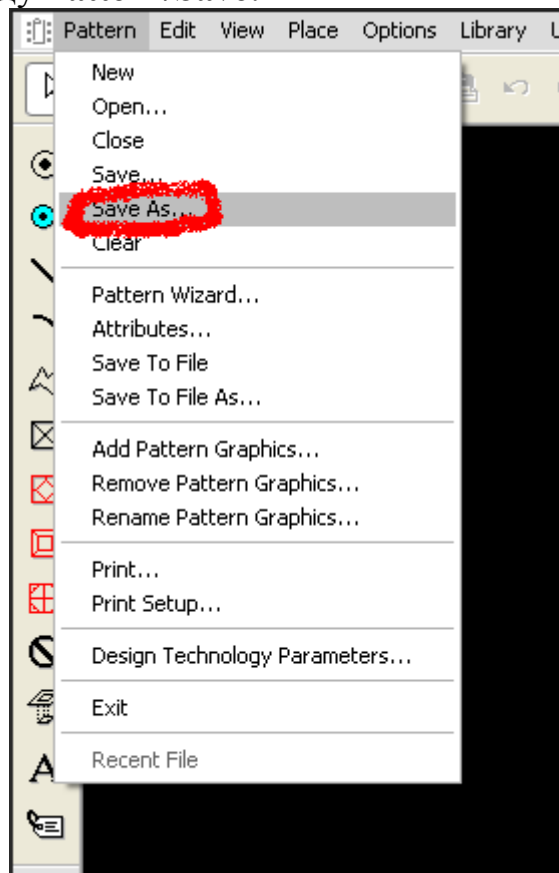


Рис. 15. Посадочная площадка элемента 54ALS02

Изображение посадочной площадки сформировано, его можно сохранить, выбрав команду **Pattern/Save**:

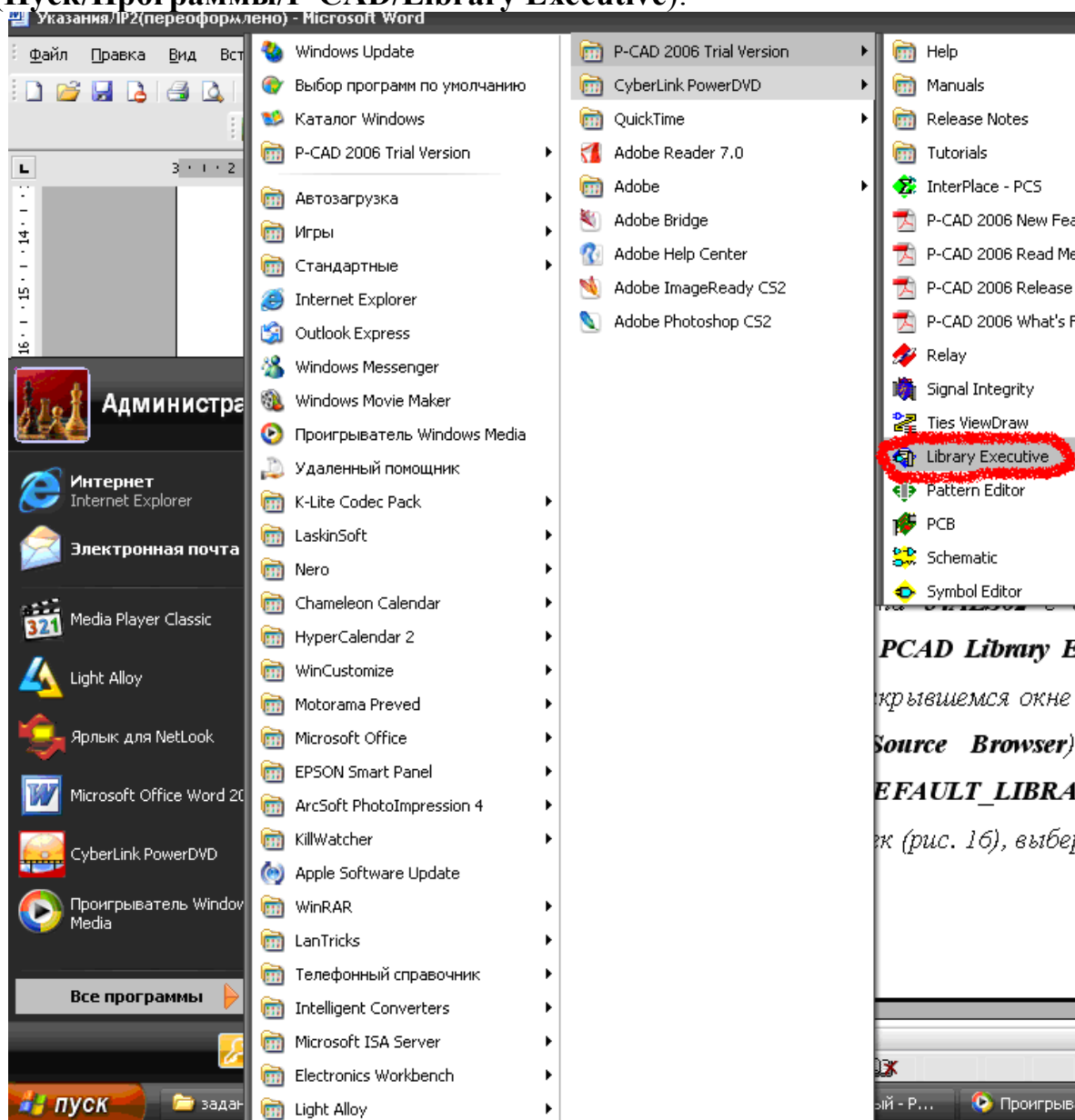


В открывшемся окне **Pattern Save To Library** указать библиотеку **test.lib**, имя площадки **SOIC** с добавлением количества выводов (например, **SOIC14**). Отключить флаг создания компонента (**Create Component**). Нажать **OK**.

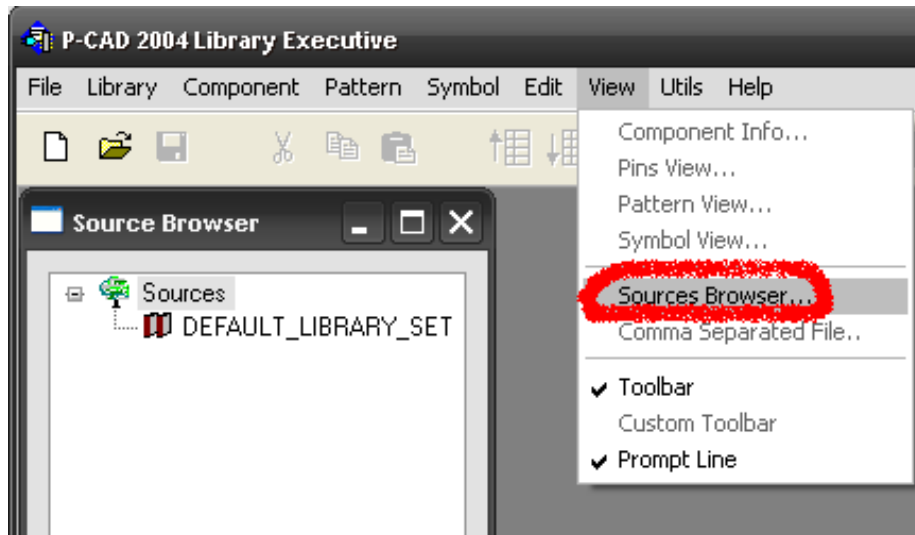
Заключительный этап – связывание условного графического обозначения с посадочной площадкой – выполняется в программе P-CAD Library Executive.

Выполним связывание символа элемента **54ALS02** с его посадочной площадкой.

Для этого запустим редактор P-CAD Library Executive (**Пуск/Программы/P-CAD/Library Executive**):



В открывшемся окне просмотрщика ресурсов (вызывается командой **View/Source Browser**) открывается (двойным щелчком) узел **Sources**, затем **DEFAULT\_LIBRARY\_SET**:



В нем присутствуют вкладки доступных библиотек (рис. 16). Выберем библиотеку **test.lib** (в случае ее отсутствия можно добавить библиотеку командой **Add Library** выпадающего меню вкладки **DEFAULT\_LIBRARY\_SET**). Создадим новый компонент, выполнив указанную последовательность действий.

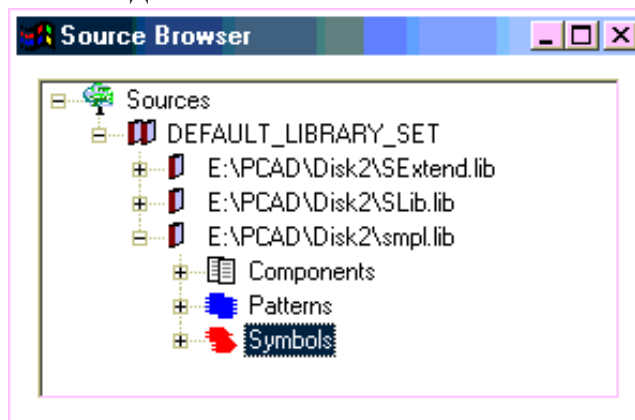
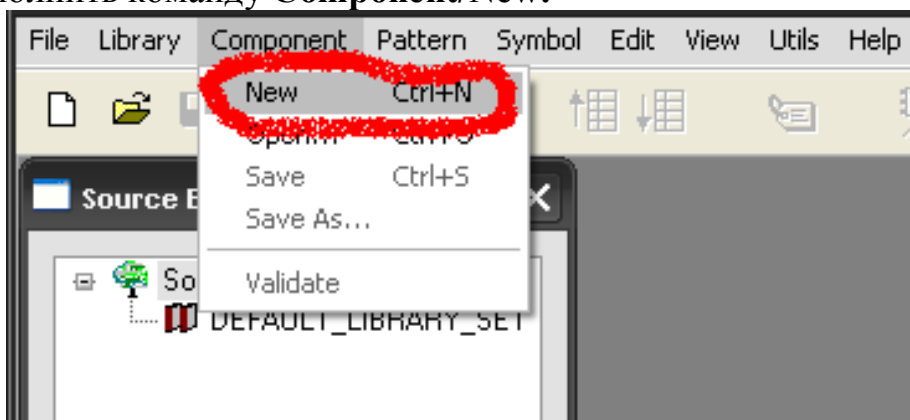
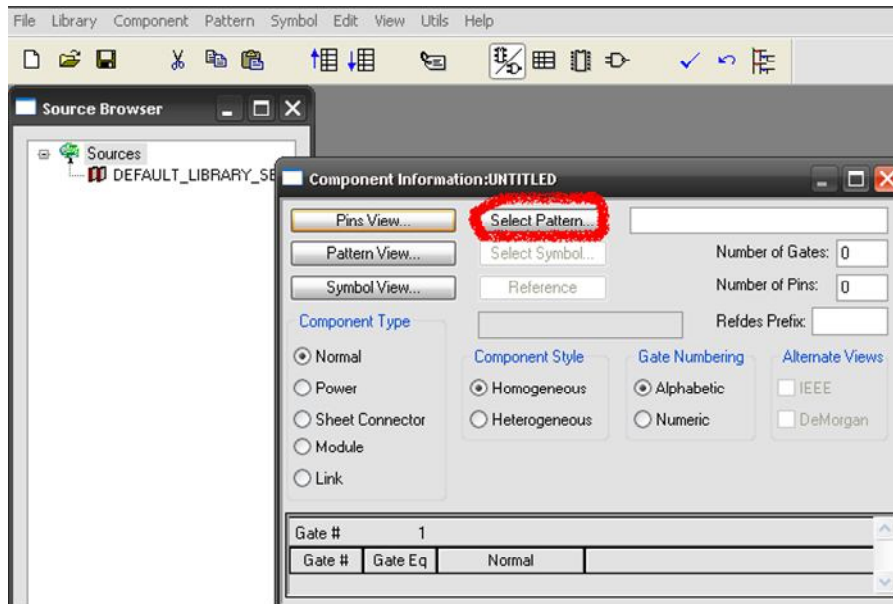


Рис. 16. Окно браузера ресурсов P-CAD 2006 Library Executive

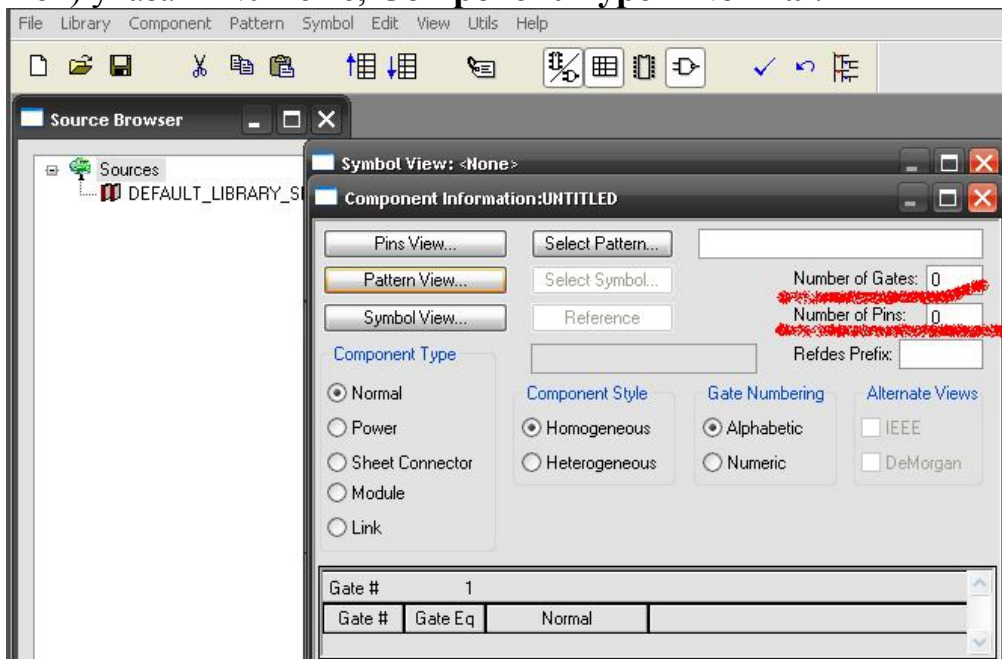
Выполнить команду **Component/New**:



В открывшемся окне выбора библиотеки указать **test.lib**. В окне **Component Information** выбрать посадочную площадку (**Select Pattern**):



Для рассматриваемого примера это **SOIC14**. Нажать **OK**. В поле **Number of Gates** указать количество логических элементов, входящих в радиодеталь (в нашем примере – **2**). В поле **Gate Numbering** (нумерация элементов) указать **Numeric**, **Component Type** – **Normal**:



В поле **Ref Des Prefix** ввести префикс **DD**. Значение **Component Style** – **Homogeneous** (в состав радиодетали входят однотипные логические элементы).

Выбрать символ элемента **Select Symbol** (в данном примере – **54ALS\_FLIP\_FLOP**). Нажать кнопку **Pins View**.

Откроется таблица, устанавливающая соответствие выводов радиодетали выводам условных изображений логических элементов, включенных в ее состав (рис. 17). Поясним колонки этой таблицы, которую необходимо заполнить вручную.

Pin Des	Gate #	Sym Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec. Type
1	1	1		0		Unknown
2	1	2		0		Unknown
3	1	3		0		Unknown
4	1	4		0		Unknown
5	1	5		0		Unknown
6	1	6		0		Unknown
7	1	7		0		Unknown
8	2	1		0		Unknown
9	2	2		0		Unknown
10	2	3		0		Unknown
11	2	4		0		Unknown
12	2	5		0		Unknown
13	2	6		0		Unknown
14	2	7		0		Unknown
15						Unknown
16						Unknown

Рис. 17. Таблица выводов элемента

**Pin Des** – номер вывода (радиодетали). Без изменений.

**Gate** – номер элемента в составе радиодетали, которому принадлежит данный вывод. Для выводов земли и питания задается значение PWR.

**Sym Pin** – номер вывода символического изображения (на принципиальной схеме этот номер будет заменен на номер вывода радиодетали).

**Pin Name** – символическое имя вывода. Задаются GND, VCC для выводов «земля» и «питание», уникальные имена для остальных выводов.

**Gate Eq** – группа эквивалентности выводов в пределах элемента радиодетали. Для выводов одного элемента задается равным 1, для выводов GND и VCC не задается (0).

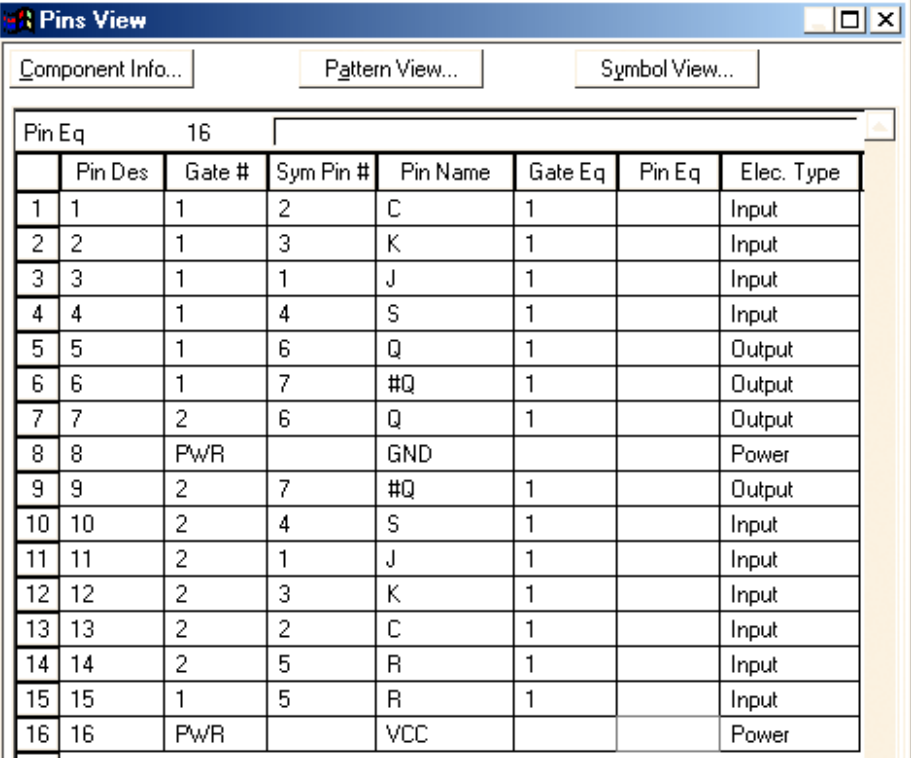
**Pin Eq** – задается для эквивалентных выводов (например, входы элемента 2И-НЕ в составе элемента K155ЛА3). В случае различной функциональной нагрузки входов/выходов указывается 0 (не отображается).

**Elec Type** – электрический тип вывода. Задаются значения **Input** (вход), **Output** (выход), **Power** (для «земля» и «питание»). Возможны другие значения.

Заполнение таблицы выводов элемента – задача нетривиальная. Определившись с соответствием выводов условного обозначения элементов в составе радиодетали ее посадочной площадки (указано в задании), необходимо указать ряд дополнительных параметров для каждого вывода.

При заполнении таблицы вначале нужно задавать значения электрического типа выводов (**Elec. Type**, см. выше). При заполнении поля эквивалентности **Pin Eq** можно оставлять его пустым (нулевым), если выводы выполняют разные функции в пределах логического элемента. Для введения значения в поле оно выделяется клавишами управления курсором либо мышью, после чего вводится число либо текст. Для задания специфиче-

ских, predeterminedенных заранее значений их тип (например, электрический тип вывода) выбирается в выпадающем списке, открываемом нажатием на кнопку справа в области редактирования (над таблицей). Ниже приводится пример заполненной таблицы для тестового элемента (54ALS\_02) – рис. 18.

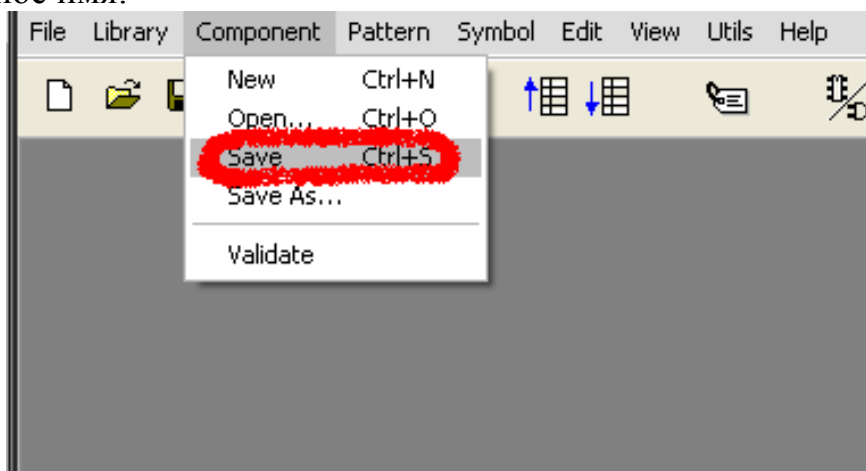


Pin Eq	Pin Des	Gate #	Sym Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec. Type
1	1	1	2	C	1		Input
2	2	1	3	K	1		Input
3	3	1	1	J	1		Input
4	4	1	4	S	1		Input
5	5	1	6	Q	1		Output
6	6	1	7	#Q	1		Output
7	7	2	6	Q	1		Output
8	8	PWR		GND			Power
9	9	2	7	#Q	1		Output
10	10	2	4	S	1		Input
11	11	2	1	J	1		Input
12	12	2	3	K	1		Input
13	13	2	2	C	1		Input
14	14	2	5	R	1		Input
15	15	1	5	R	1		Input
16	16	PWR		VCC			Power

Рис. 18. Заполненная таблица выводов элемента 54ALS02

Затем по завершении заполнения таблицы необходимо убедиться в том, что при задании связи выводов символа и посадочной площадки не было допущено никаких ошибок.

Сохраним компонент командой **Component/Save**, указав компоненту осмысленное имя:



При этом, если была допущена явная ошибка в соответствии выводов, будет выдано предупреждение. Перед сохранением компонента необходимо исправить ошибку, руководствуясь полученным предупреждением.

Закрыв программу P-CAD 2006 Library Executive, запустим P-CAD 2006 Schematic (**Пуск/Программы/P-CAD2006/Schematic**). В редакторе принципиальных схем первоначально необходимо убедиться, что библиотека **test.lib**, в которой сохранен разработанный компонент, подключена. Вызовем меню библиотек **Library/Setup** и добавим библиотеку **test.lib** в случае, если она отсутствует. Так как в **Schematic** одновременно ведется работа только с одной библиотекой, ее необходимо расположить наверху списка кнопкой **Move Up**. Разместив на схеме несколько элементов, можно проверить, соответствует ли их условное изображение (нумерация выводов, самих элементов в составе радиодетали) заданному – рис. 19.

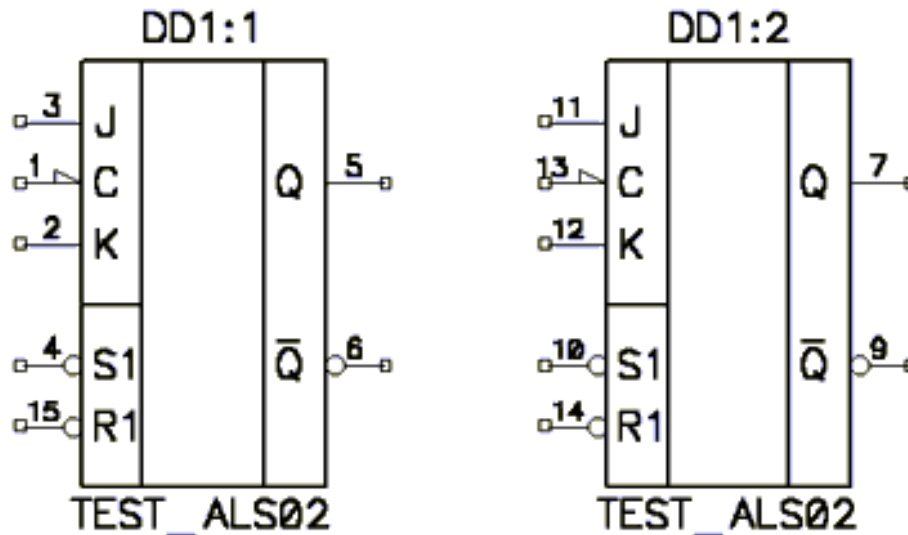
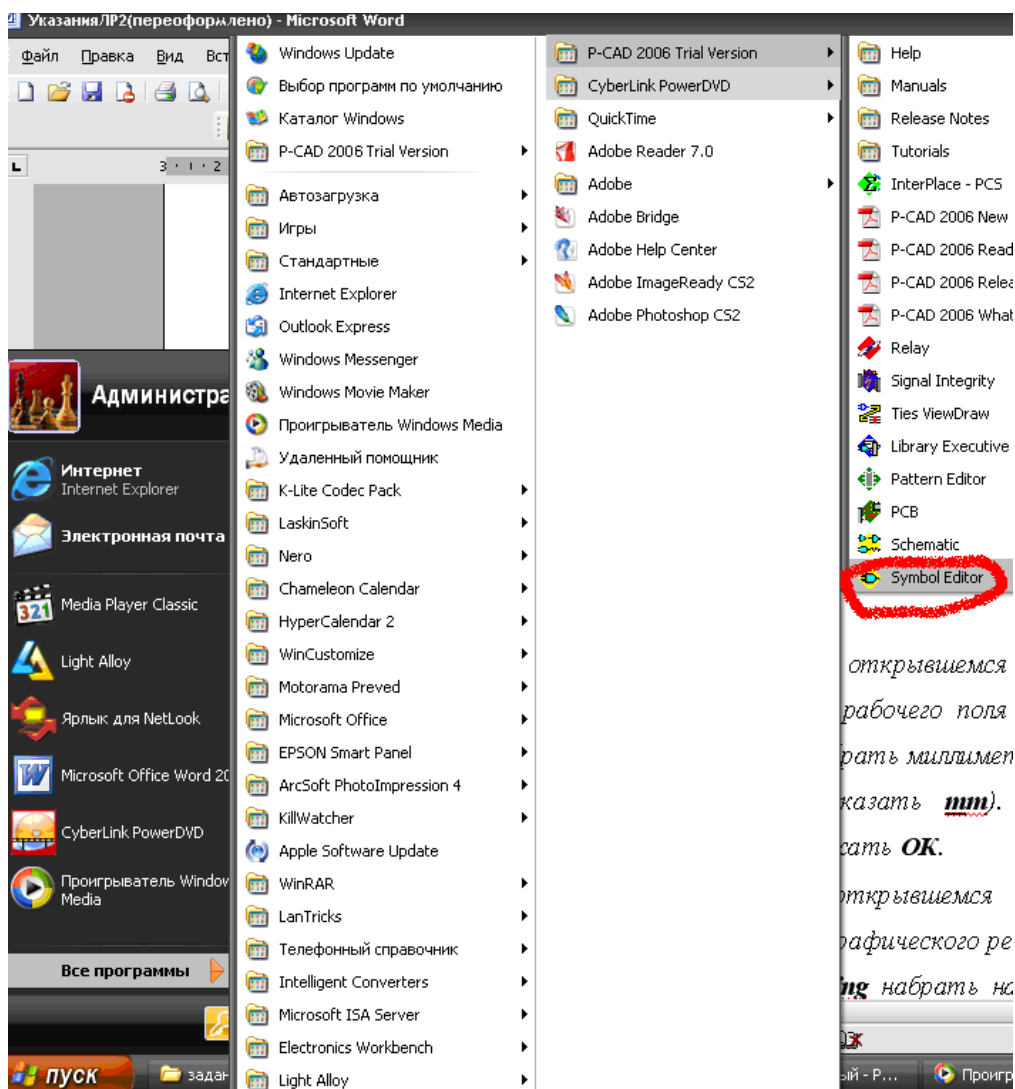


Рис. 19. Символьные изображения двух динамических JK-триггеров в составе элемента 54ALS02 (редактор PCAD2006 Schematic)

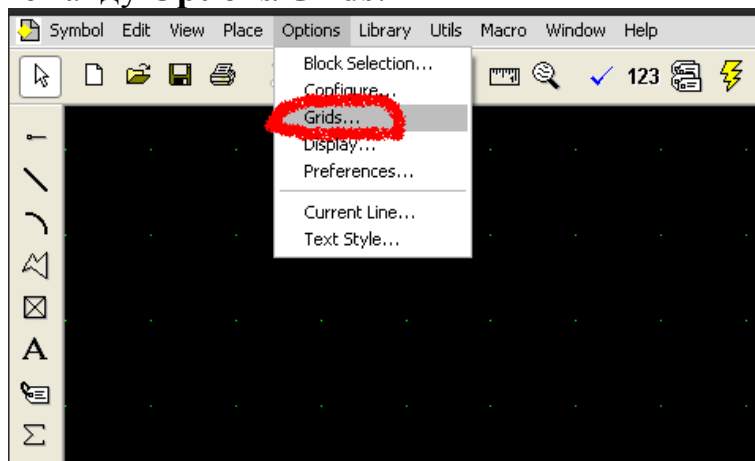
### Выполнение работы

Запускаем приложение P-CAD Symbol Editor: **Пуск/Программы/P-CAD 2006/Symbol Editor:**



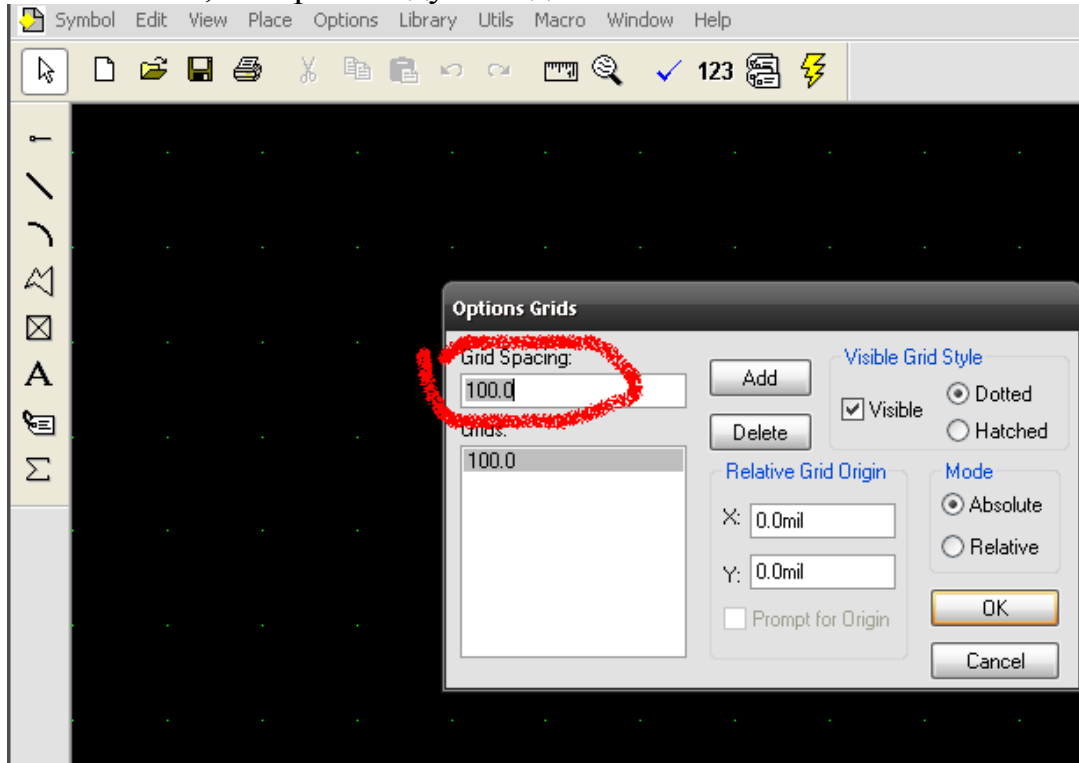
Выбрать команду **Options/Configure**. В открывшемся диалоговом окне **Options Configure** установить размер рабочего поля формата **A4** (в области **Workspace Size** указать **A4**), выбрать миллиметры как основную систему единиц (в области **Units** указать **mm**). Все остальные параметры оставить без изменения. Нажать **OK**.

Выбрать команду **Options/Grids**:





В открывшемся диалоговом окне **Options Grids** установить новую сетку графического редактора с шагом в 5 миллиметров (в области **Grid Spacing** набрать на клавиатуре **5** и нажать **Add**) – в данном случае это наиболее удобный шаг сетки. В списке шагов сетки (под окном ввода) появится значение **5.00**, которое следует выделить мышью. Нажать **OK**:

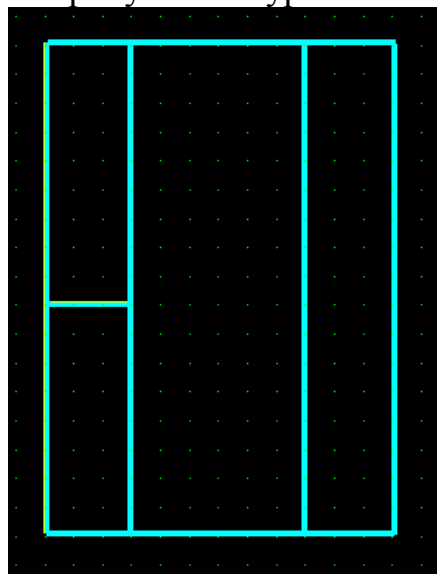


Затем можно «прикрепить» курсор к узлам сетки графического редактора с помощью команды **Snap to Grid** из пункта меню **View** (обратный эффект с помощью той же команды), при этом перемещение курсора будет возможным только по узлам сетки.

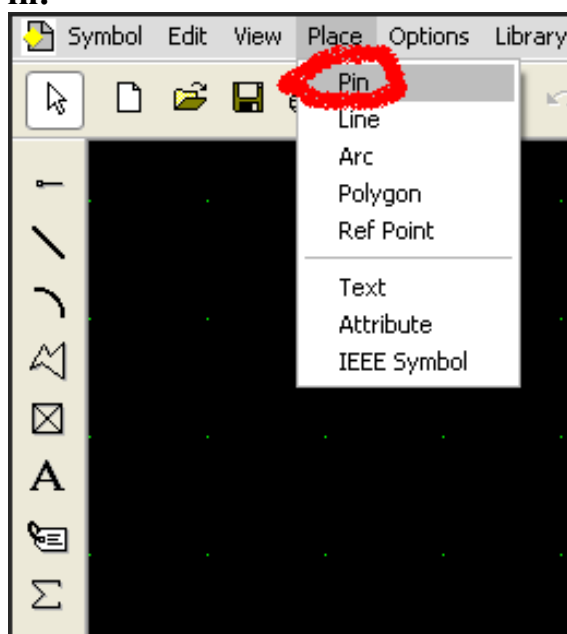
Перед рисованием обводки необходимо задать ее стиль: сплошная тонкая линия. Для этого необходимо выбрать команду **Options/Current Line**. В появившемся диалоговом окне **Options Current Line** устанавливаются параметры текущей линии рисования: в поле **Width** (ширина) выбрать **Thin** (тонкая линия), в поле **Style** – **Solid** (сплошная линия). Нажать **OK**:




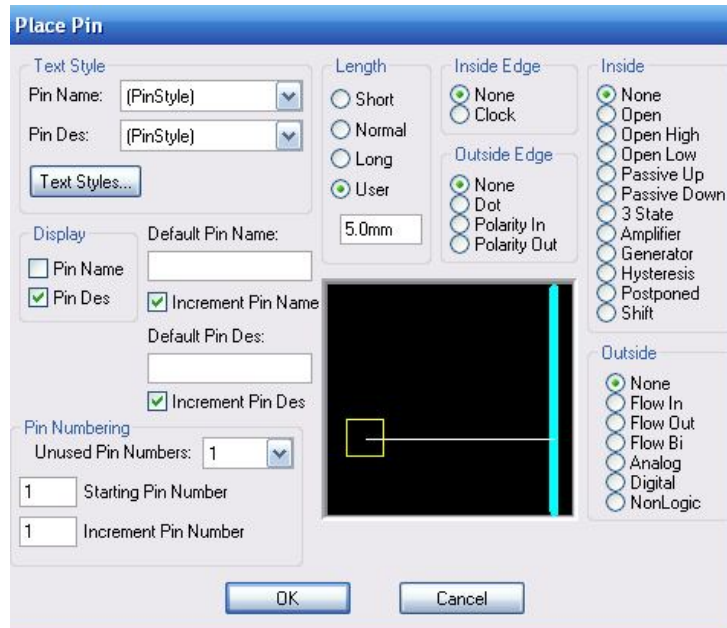
После всех настроек нарисуем контур элемента:



Следующим шагом будет создание выводов элемента. Выбрать команду меню **Place/Pin**:

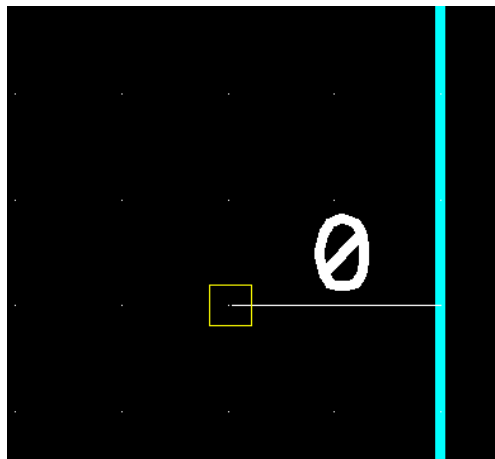


Для ускорения работы можно использовать кнопку  на левой панели редактора, нажмем левой кнопкой мыши. В открывшемся диалоговом окне **Place Pin** установить нужную длину контакта (в поле **Length** выбрать **User**, в расположенном ниже окошке ввести цифру **5**), настроить отображение номеров контактов (в поле **Display** включить метку **Pin Des** и выключить метку **Pin Name**):



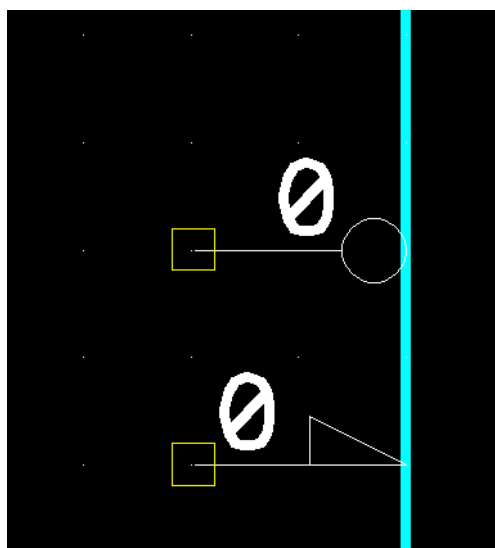
Выводы могут быть разные.

Вывод:



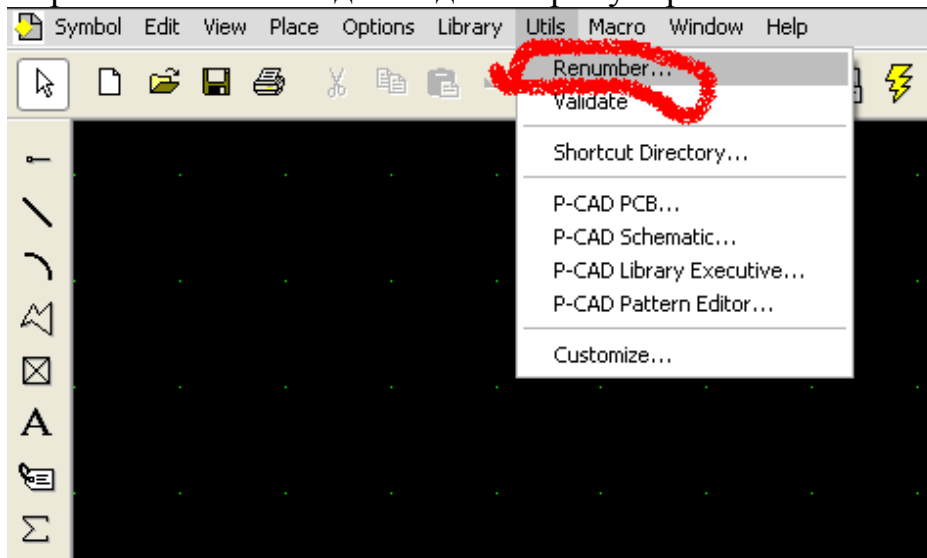
В поле **Outside Edge** ставим **None**.

Вывод:



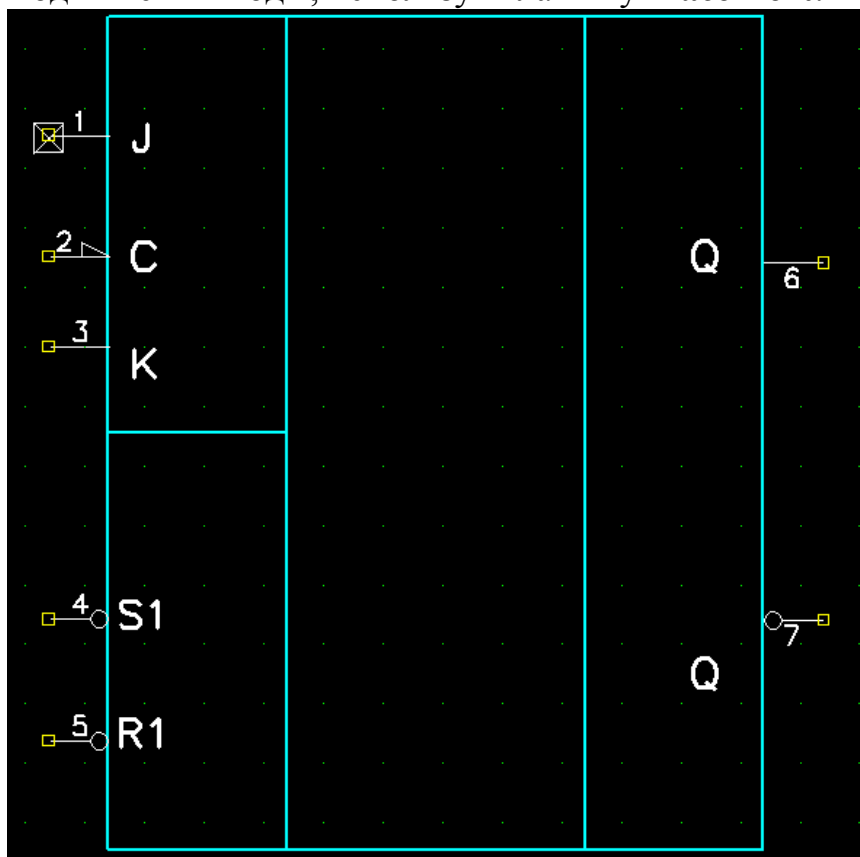
Ставим **Dot** или **Polarity in** соответственно.

После расстановки выводов надо их пронумеровать *Utils/Renumber*:



В открывшемся окне необходимо указать параметр перенумерации – номер вывода (**Pin Num**), после чего в окне останутся лишь такие параметры, как начальное значение и инкремент. Указав их как 1, нажмем **ОК** и перенумеруем выводы нажатиями в порядке **слева – направо, сверху – вниз**.

Затем подпишем выводы, используя клавишу **Place Text**:



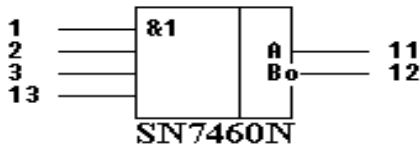
## Варианты заданий к лабораторной работе №3

### Вариант 1

#### Задание

Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>3</sup>.

Исходные данные

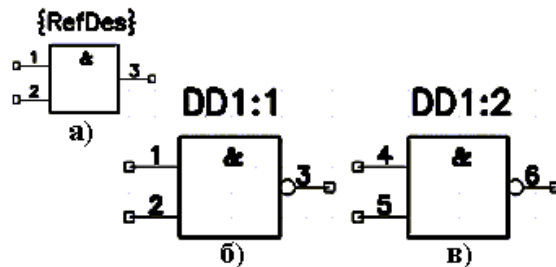


№ выв.	Назначение	№ выв.	Назначение
1	Вход X1	8	Вход X8
2	Вход X2	9	Выход YВ
3	Вход X3	10	Выход YA
4	Вход X5	11	Выход YA
5	Вход X6	12	Выход YВ
6	Вход X7	13	Вход X4
7	Общий	14	Ucc

УГО и таблица выводов элемента SN7460N.

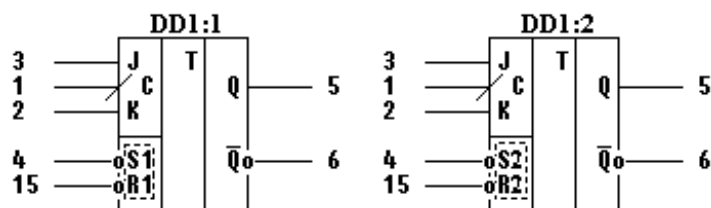
#### Вопросы к работе

1. На рисунке представлены: УГО элемента в окне просмотра редактора P-CAD Library Executive (а); УГО элемента, размещенного на принципиальной схеме P-CAD Schematic (б, в). Пояснить различия в нумерации выводов.



2. Из скольких символьных обозначений может состоять библиотечный элемент? Какой параметр задается на стадии разработки библиотечного элемента в P-CAD Library Executive для возможности задания различных символов в составе библиотечного элемента?

3. Какими способами можно обеспечить задание различных УГО (см. рис.) для вентилях в составе библиотечного элемента на принципиальной схеме?



<sup>3</sup> Количество выводов посадочной площадки элемента определить, руководствуясь таблицей.

## Вариант 2

### Задание

Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>4</sup>.

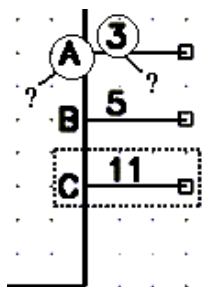
Исходные данные



УГО и таблица выводов элемента SN74ALS279N.

### Вопросы к работе

1. Каким образом осуществляется отсчет привязки размещаемого элемента к сетке?



2. Функции каких основных программ среды P-CAD дублируют P-CAD Schematic и P-CAD Pattern Editor? Какое дополнительное средство разработки они предоставляют?

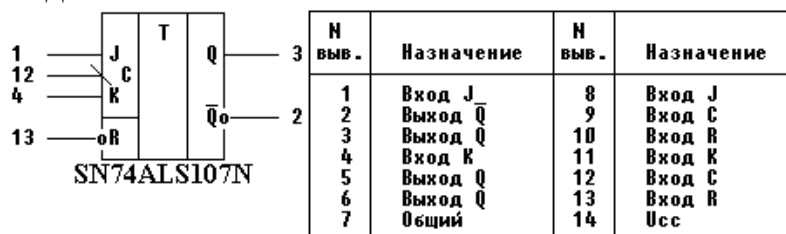
3. Какие параметры (значения), устанавливаемые для выводов при создании УГО элемента и связи в редакторе Library Executive, влияют на подписи (см. рис.)?

## Вариант 3

### Задание

Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>5</sup>.

Исходные данные



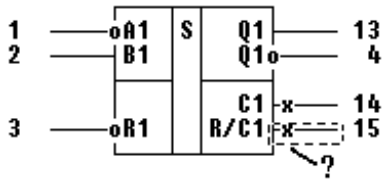
УГО и таблица выводов элемента SN74ALS107N.

<sup>4</sup> Количество выводов посадочной площадки элемента определить, руководствуясь таблицей.

<sup>5</sup> То же.

**Вопросы к работе**

1. Каким образом на принципиальной схеме (в программе P-CAD Schematic) можно указывать (отображать) тип размещаемых УГО элементов?



2. Пояснить данное обозначение вывода УГО элемента и привести настройку параметров вывода (см. рис.).

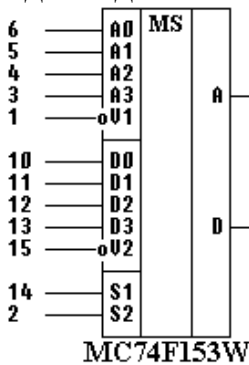
3. С какими библиотеками базовых элементов может вести работу P-CAD 2006 Schematic и как указать текущую библиотеку?

**Вариант 4**

**Задание**

Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>6</sup>.

Исходные данные

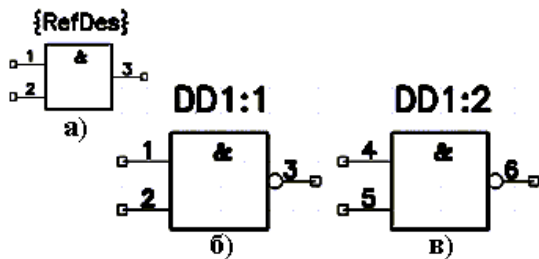


№ выв.	Назначение	№ выв.	Назначение
1	Вход разрешения U1	9	Выход D
2	Вход выборки разряда S2	10	Вход D0
3	Вход A3	11	Вход D1
4	Вход A2	12	Вход D2
5	Вход A1	13	Вход D3
6	Вход A0	14	Вход выборки разряда S1
7	Выход A	15	Вход разр. U2
8	Общий	16	Ucc

УГО и таблица выводов элемента MC74F153W.

**Вопросы к работе**

1. Какой способ, кроме описанного в задании, может использоваться для установки символьных подписей выводов?



2. На рисунке представлены: УГО элемента в окне просмотра редактора P-CAD Library Executive (а); УГО элемента, размещенного на принципиальной схеме P-CAD Schematic (б, в). Пояснить различия в нумерации выводов.

3. Из скольких символьных обозначений может состоять библиотечный элемент? Какой параметр задается

<sup>6</sup> Количество выводов посадочной площадки элемента определить, руководствуясь таблицей.

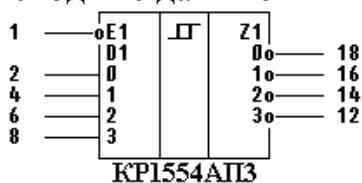
на стадии разработки библиотечного элемента в P-CAD Library Executive для возможности задания различных символов в составе библиотечного элемента?

## Вариант 5

### Задание

Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>7</sup>.

Исходные данные

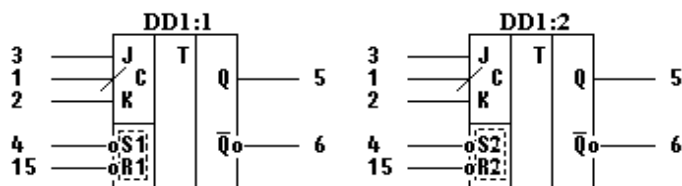


№ выв.	Назначение	№ выв.	Назначение
1	Вход разрешения передачи информации	11	Вход 0 разряда
2	Вход 0 разряда	12	Выход 3 разряда
3	Выход 3 разряда	13	Вход 1 разряда
4	Вход 1 разряда	14	Выход 2 разряда
5	Выход 2 разряда	15	Вход 2 разряда
6	Вход 2 разряда	16	Выход 1 разряда
7	Выход 1 разряда	17	Вход 3 разряда
8	Вход 3 разряда	18	Выход 0 разряда
9	Выход 0 разряда	19	Вход разрешения передачи информации
10	Общий	20	Исс

УГО и таблица выводов элемента KP1554АПЗ.

### Вопросы к работе

1. Какими способами можно обеспечить задание различных УГО (см. рис.) для вентилях в



составе библиотечного элемента на принципиальной схеме?

2. Каким образом осуществляется отсчет привязки размещаемого элемента к сетке?

3. Функции каких основных программ среды P-CAD дублируют P-CAD Schematic и P-CAD Pattern Editor? Какое дополнительное средство разработки они предоставляют?

## Вариант 6

### Задание

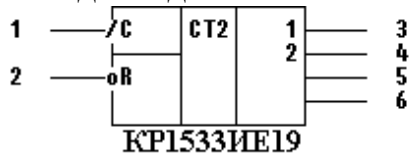
Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Количество выводов посадочной площадки элемента определить, руководствуясь таблицей.

<sup>8</sup> То же.



Исходные данные

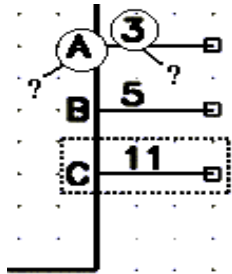


№ вв.	Назначение	№ вв.	Назначение
1	Тактовый вход	8	Выход
2	Вход "сброс"	9	Выход
3	Выход	10	Выход
4	Выход	11	Выход
5	Выход	12	Вход "сброс"
6	Выход	13	Тактовый вход
7	Общий	14	Исс

УГО и таблица выводов элемента KP1533IE19.

### Вопросы к работе

1. Функции каких основных программ среды P-CAD дублируют P-CAD Schematic и P-CAD Pattern Editor? Какое дополнительное средство разработки они предоставляют?



2. Какие параметры (значения), устанавливаемые для выводов при создании УГО элемента и связи в редакторе Library Executive, влияют на подписи (см. рис.)?

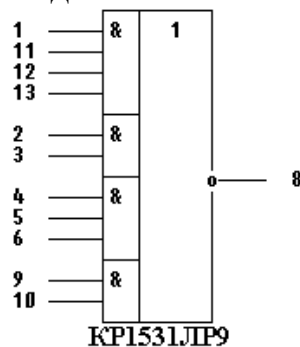
3. Каким образом на принципиальной схеме (в программе P-CAD Schematic) можно указывать (отображать) тип размещаемых УГО элементов?

## Вариант 7

### Задание

Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>9</sup>.

Исходные данные



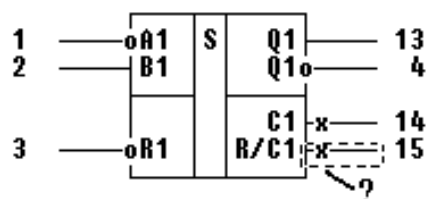
№ вв.	Назначение	№ вв.	Назначение
1	Вход X1	8	Выход Y
2	Вход X5	9	Вход X10
3	Вход X6	10	Вход X11
4	Вход X7	11	Вход X2
5	Вход X8	12	Вход X3
6	Вход X9	13	Вход X4
7	Общий	14	Исс

УГО и таблица выводов элемента KP1531LP9.

### Вопросы к работе

1. Пояснить данное обозначение вывода УГО элемента и привести настройку параметров вывода (см. рис.).

<sup>9</sup> Количество выводов посадочной площадки элемента определить, руководствуясь таблицей.



2. С какими библиотеками базовых элементов может вести работу P-CAD 2006 Schematic и как указать текущую библиотеку?

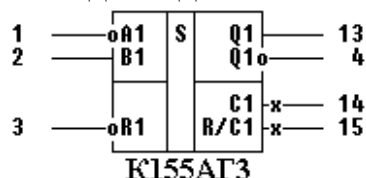
3. Какой способ, кроме описанного в задании, может использоваться для установки символьных подписей выводов?

### Вариант 8

#### Задание

Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>10</sup>.

Исходные данные

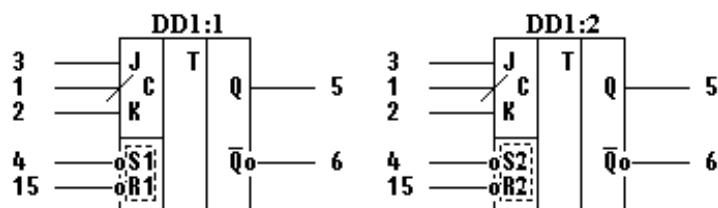


№ выв.	Назначение	№ выв.	Назначение
1	Вход информационный	9	Вход информационный
2	Вход информационный	10	Вход информационный
3	Вход "сброс"	11	Вход "сброс"
4	Выход Q1	12	Выход Q2
5	Выход Q2	13	Выход Q1
6	Внешняя емкость C2	14	Внешняя емкость C1
7	Внешний компонент R/C2	15	Внешний компонент R/C1
8	Общий	16	Исс

УГО и таблица выводов элемента KP155AG3.

#### Вопросы к работе

1. Какими способами можно обеспечить задание различных УГО (см. рис.) для вентилях в составе библиотечного элемента на принципиальной схеме?



2. Каким образом осуществляется отсчет привязки размещаемого элемента к сетке?

3. С какими библиотеками базовых элементов может вести работу P-CAD Schematic и как указать текущую библиотеку?

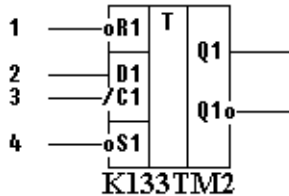
<sup>10</sup> Количество выводов посадочной площадки элемента определить, руководствуясь таблицей.

## Вариант 9

### Задание

Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>11</sup>.

Исходные данные

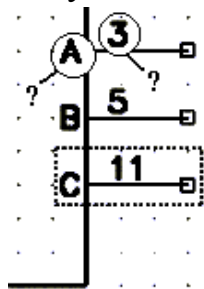


№ выв.	Назначение	№ выв.	Назначение
1	Вход R1	8	Выход Q2
2	Вход D1	9	Выход Q2
3	Вход C1	10	Вход S2
4	Вход S1	11	Вход C2
5	Выход Q1	12	Выход D2
6	Выход Q1	13	Вход R2
7	Общий	14	Исс

УГО и таблица выводов элемента КР133ТМ2.

### Вопросы к работе

1. Какой способ, кроме описанного в задании, может использоваться для установки символьных подписей выводов?



2. Функции каких основных программ среды P-CAD дублируют P-CAD Schematic и P-CAD Pattern Editor? Какое дополнительное средство разработки они предоставляют?

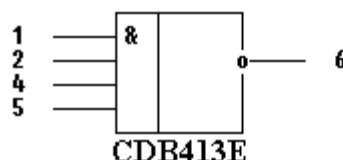
3. Какие параметры (значения), устанавливаемые для выводов при создании УГО элемента и связи в редакторе Library Executive, влияют на подписи (см. рис.)?

## Вариант 10

### Задание

Создать библиотечный элемент, используя в качестве исходных данных его условное графическое обозначение (УГО) и таблицу соответствия выводов<sup>12</sup>.

Исходные данные



№ выв.	Назначение	№ выв.	Назначение
1	Вход X1	8	Выход Y2
2	Вход X2	9	Вход X5
3	Свободный	10	Вход X6
4	Вход X3	11	Свободный
5	Вход X4	12	Вход X7
6	Выход Y1	13	Вход X8
7	Общий	14	Исс

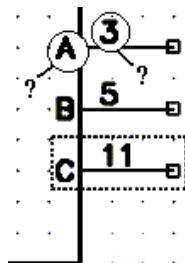
УГО и таблица выводов элемента CDB413E.

<sup>11</sup> Количество выводов посадочной площадки элемента определить, руководствуясь таблицей.

<sup>12</sup> То же.

### Вопросы к работе

1. Из скольких символьных обозначений может состоять библиотечный элемент? Какой параметр задается на стадии разработки библиотечного элемента в P-CAD Library Executive для возможности задания различных символов в составе библиотечного элемента?



2. Какие параметры (значения), устанавливаемые для выводов при создании УГО элемента и связи в редакторе Library Executive, влияют на подписи (см. рис.)?

3. С какими библиотеками базовых элементов может вести работу P-CAD 2006 Schematic и как указать текущую библиотеку?

### Лабораторная работа № 4

#### Построение принципиальной схемы устройства в P-CAD v.2006

P-CAD v.2006 используется для разработки ПП на основе функциональных электрических (принципиальных) схем. Принципиальная схема цифрового устройства в терминах PCAD достаточно информативна и практически полностью задает структуру ПП. Изначально основная работа над проектом в P-CAD 2006 производится преимущественно в редакторе



принципиальных схем P-CAD Schematic. Далее полученная в редакторе схема экспортируется в виде списка соединений (**netlist**) и служит исходной информацией для разводки МПП. Рис. 1 демонстрирует состав типовой принципиальной схемы P-CAD.

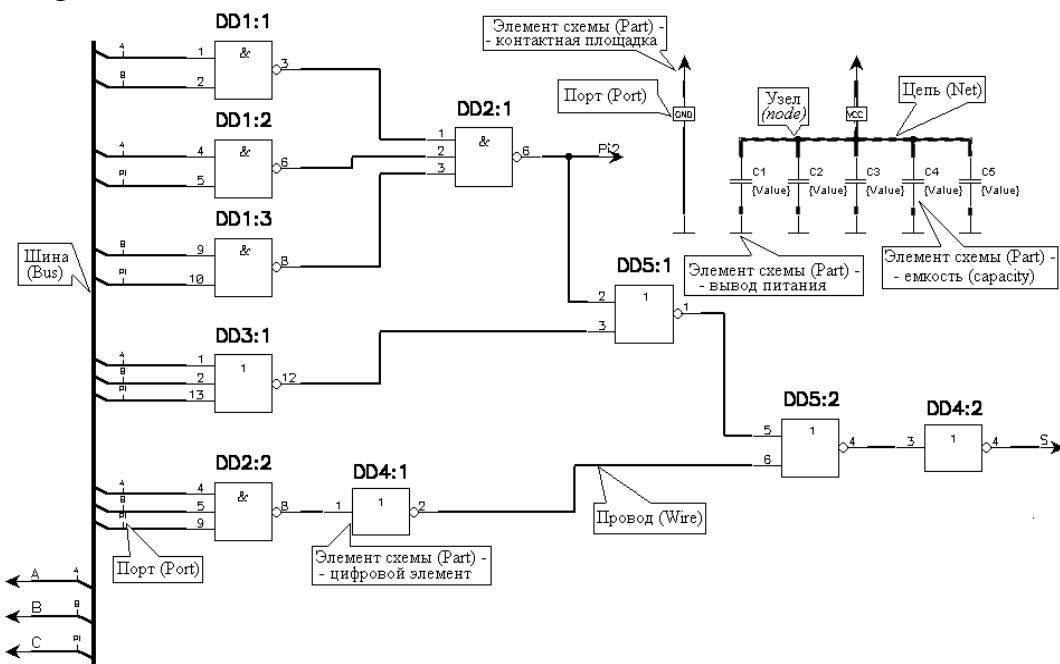


Рис. 1. Структура принципиальной схемы P-CAD

Процесс построения принципиальной схемы устройства в P-CAD Schematic обычно не вызывает затруднений при условии, что все необходимые элементы присутствуют в библиотеке. Построим схему электронного устройства, руководствуясь его принципиальной схемой, приведенной на рис. 2.

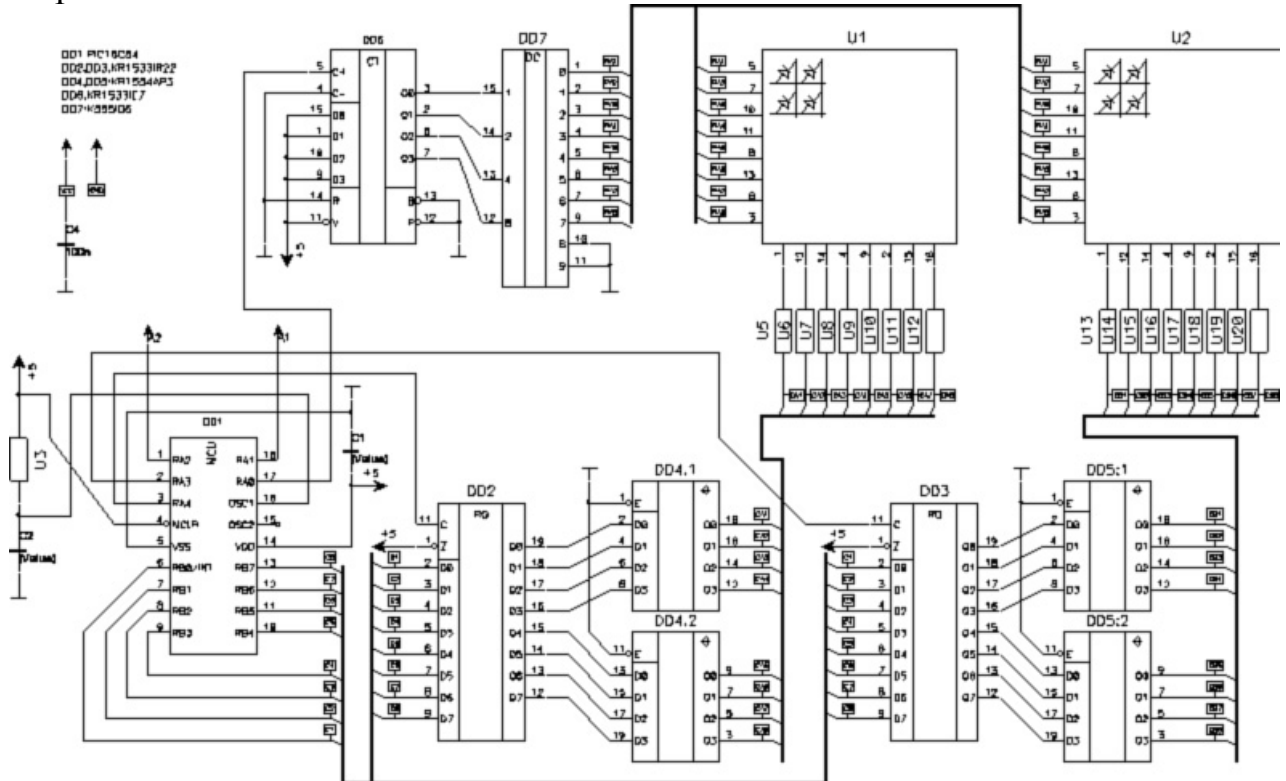
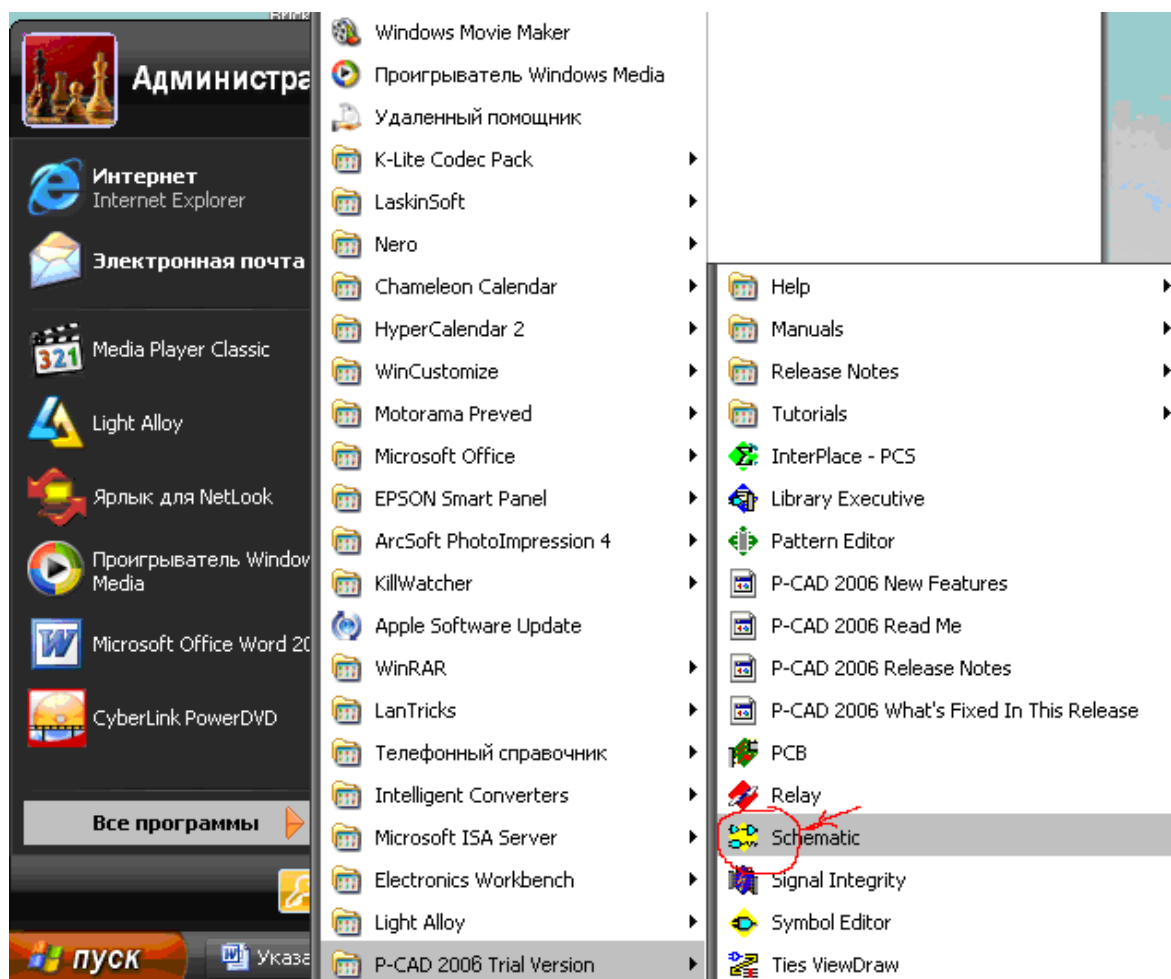


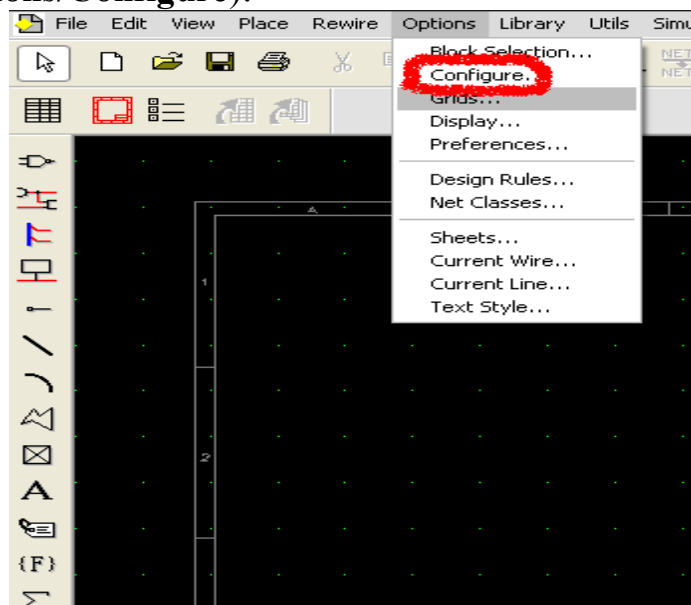
Рис. 2. Принципиальная схема разрабатываемого устройства

Рассматриваемая схема построена на основе микроконтроллера PIC16C84 (DD3), выводящего графическую информацию на две светодиодных матрицы. Элементы DD1-DD2 (счетчик и дешифратор) реализуют построчную развертку изображения, элементы DD4-DD7 (регистры и буферные каскады) используются для хранения очередной выводимой строки. Приступим к построению схемы.

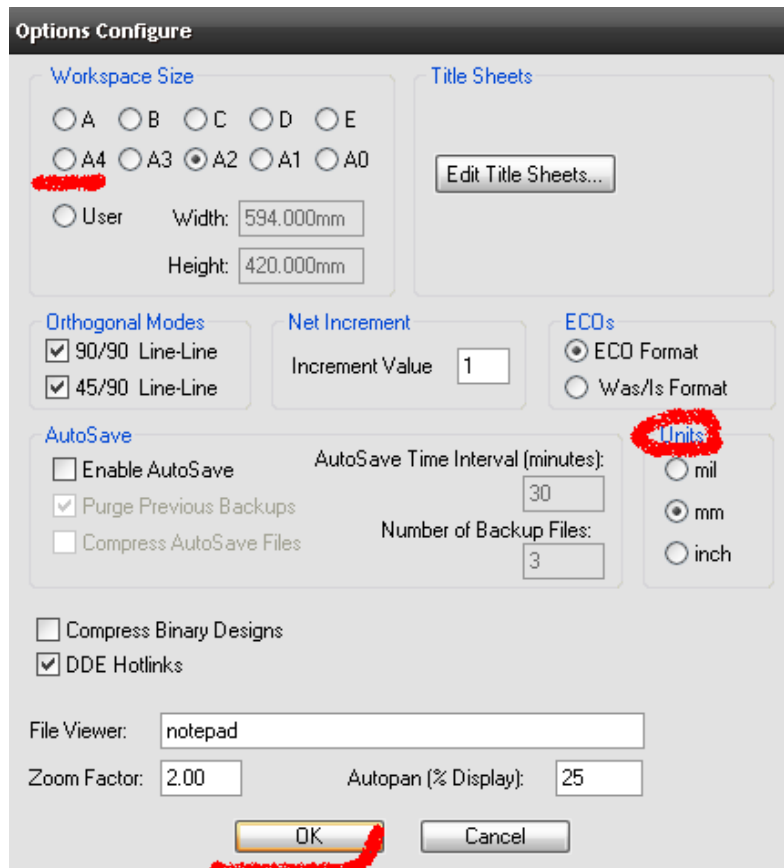
Откроем редактор P-CAD Schematic командой меню **Пуск/Программы/P-CAD Schematic**:



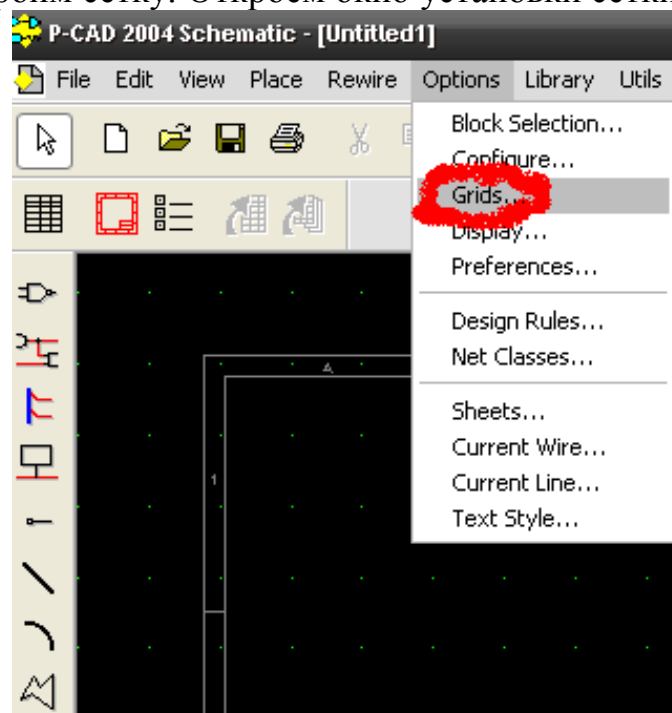
Настроим редактор для дальнейшей работы: откроем окно настроек редактора (**Options/Configure**):



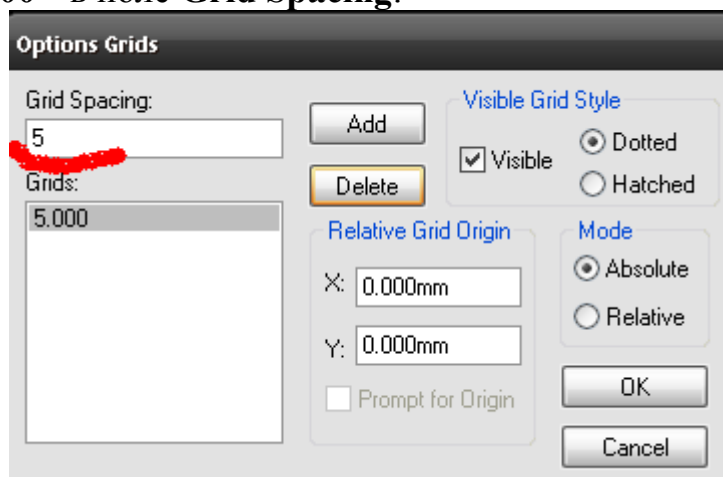
В поле **Units** выберем миллиметры (**mm**), **Workspace Size** – **A4**. Подтвердим установки (**OK**):



Далее настроим сетку. Откроем окно установки сетки (**Options/Grids**):





Введем **5.00**<sup>13</sup> в поле **Grid Spacing**:



Нажмем **Add**. Убедимся, что новая сетка является текущей (выделена в списке). Затем укажем используемую библиотеку элементов: открыв окно **Library/Setup**, выберем библиотеку **TGTU.lib** в списке доступных библиотек (в случае отсутствия таковой добавим ее кнопкой **Add** с указанием пути). Если библиотека **TGTU** не является первой в списке, переместим ее наверх кнопкой **Move Up**.

Теперь приступим к созданию схемы. На первом этапе необходимо разместить элементы так, как показано на рисунке для определенного варианта (здесь – рис. 2). При этом очень важно постараться разместить элементы так, чтобы не создать препятствий для дальнейших построений<sup>14</sup>.

Для размещения элементов включим режим размещения (кнопка ) и укажем нажатием кнопки мыши место на схеме. Откроется окно выбора элемента. На указанной в примере схеме присутствуют элементы: PIC16C84 (1), KP1533 ИР22 (2), KP1554 АПЗ (1), KP1533 ИЕ7(1), К555И6(1), две матрицы TC23-11SRWA. Определившись с типом размещаемого элемента, укажем его позицию на схеме, курсор при этом будет иметь форму перекрестия. Поместив первый элемент в составе радиодетали (DD1:1), разместим оставшиеся элементы данного типа. Для выбора элементов в составе радиодетали очередного типа закончим текущее размещение правой кнопкой мыши. Очередное нажатие в области схемы приведет к появлению окна выбора элемента. Повторим процесс, получив в результате размещение следующего вида (рис. 3). Если какие-либо элементы размещены неточно, их можно перетащить в режиме, включаемом кнопкой . Элемент выделяется рамкой (рамка должна полностью охватывать элемент) либо одним нажатием в его области. Выделенный элемент

<sup>13</sup> В дальнейшем при работе в P-CAD Schematic может потребоваться изменение шага сетки на меньший (1 мм).

<sup>14</sup> Существенный момент: возможности отката (Undo) в P-CAD 2006 существенно ограничены, потому желательно периодически производить сохранение чертежа.



(группа элементов) может быть развернут на  $90^\circ$  кнопкой **R** или горизонтально отражен кнопкой **F**.

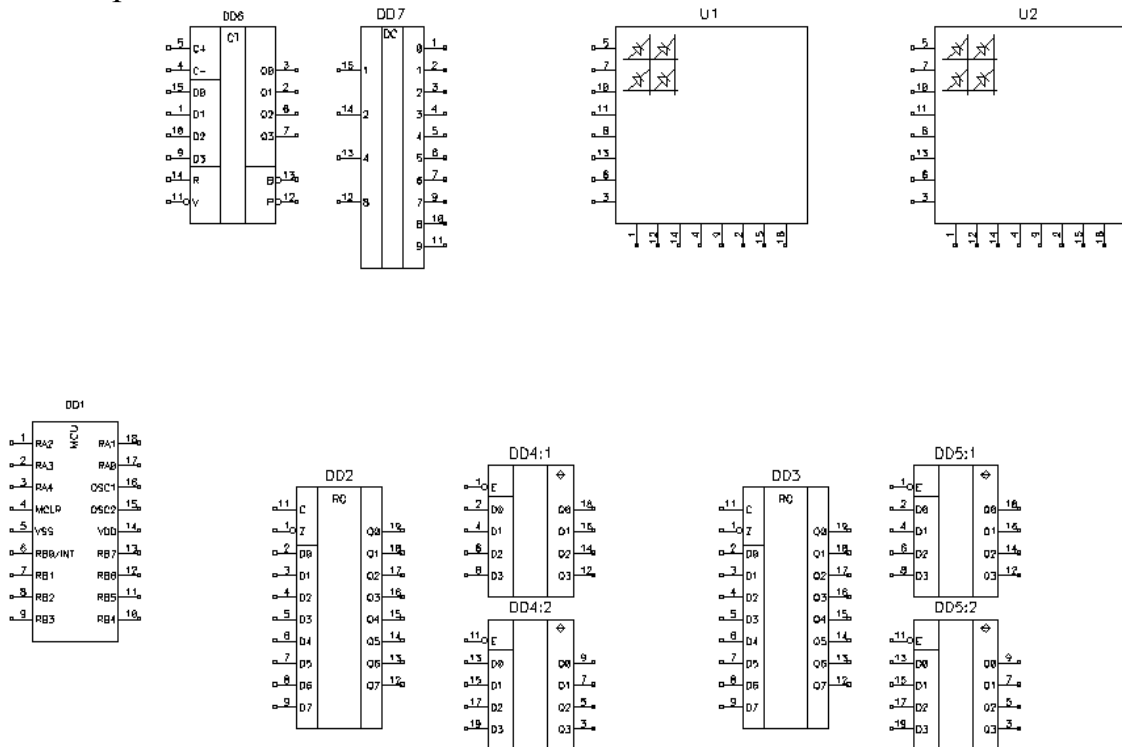


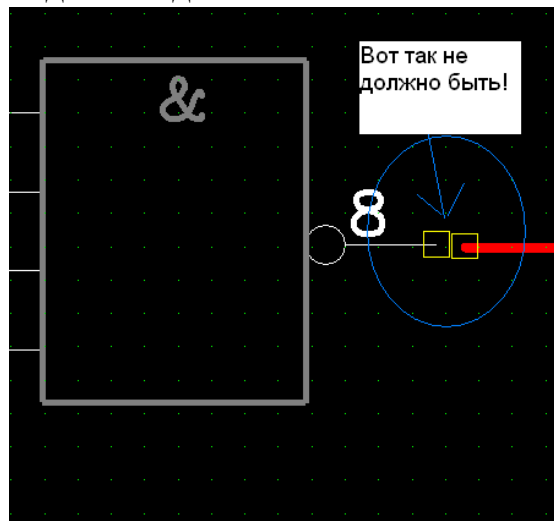


Рис. 3. Предварительное размещение элементов принципиальной схемы

На следующем этапе производится объединение выводов элементов электрическими цепями (кнопка  панели инструментов). Добавление новой точки излома провода осуществляется по левой кнопке мыши, завершение протяжки провода – по правой кнопке. При проведении линий может возникнуть необходимость их редактирования. Возможно перетаскивание либо удаление участков проводов, выделенных мышью. Кроме того, в проводник можно добавить точки излома, воспользовавшись кнопкой **Rewire Manual** –  (основная инструментальная панель).

**ВНИМАНИЕ!** При соединении элементов проводами может возникнуть проблема – провод не соединяет:



Для соединения сделаем несколько операций.  
В P-CAD 2006 Schematic нажимаем Options Grids:

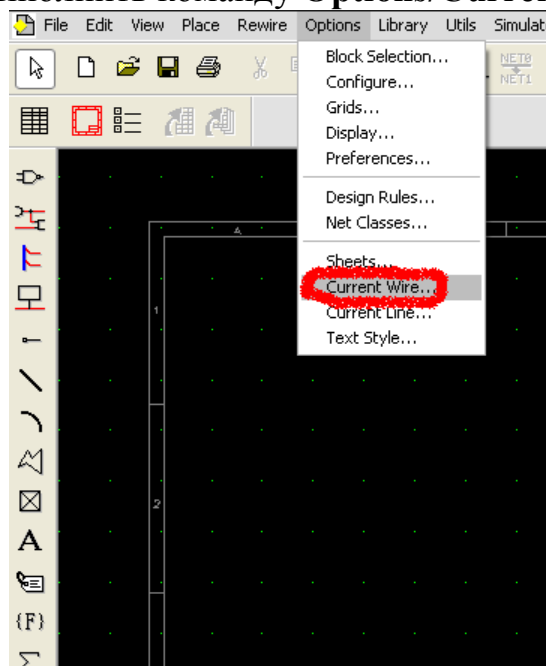


В поле **Grids Spacing** ставим цифру **5** и нажимаем **Add** и **OK**, после этого сетка уменьшилась. Теперь соединять провод с элементами намного проще, главное, чтобы не было двух квадратов. Соединение может быть таким.



Удобнее соединять элементы в увеличенном масштабе, для этого лучше воспользоваться клавишами «+» и «-» в правой части клавиатуры (**Num keys**).


Зададим стиль рисования проводников – сплошная толстая линия. Для этого необходимо выполнить команду **Options/Current Wire**:



В появившемся диалоговом окне **Options Current Wire** устанавливаются параметры рисования проводников: в поле **Width** (ширина) выбрать **Thick** (толстая линия):



Нажать **OK**.

Поместим основные связи между размещенными элементами. Затем введем в схему три шинных соединения, воспользовавшись кнопкой  (команда **Place/Bus**). Теперь к каждой размещенной шине можно подвести провода, входящие либо исходящие из нее. Для этого достаточно начать линию в нужной точке и закончить ее в позиции входа в шину, излом провода будет произведен редактором автоматически (рис. 4).

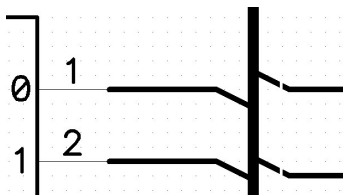

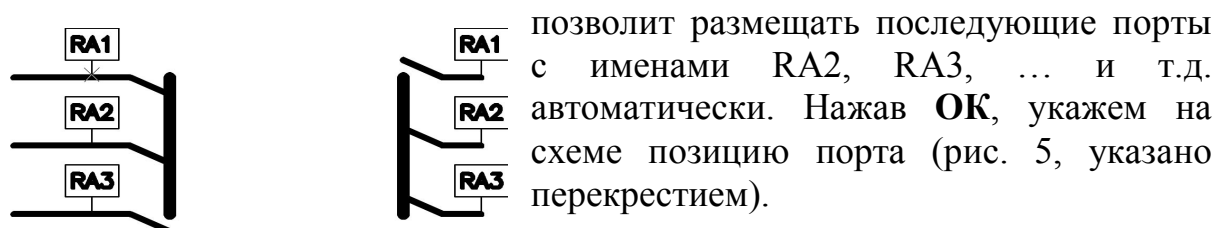


Рис. 4. Шинные соединения

Полученные шинные соединения пока не содержат идентификаторов, указывающих определенный сигнал (для входа и выхода из шины). В качестве таких идентификаторов в P-CAD используются порты, связанные с той или иной цепью (**net**) и однозначно определяющие ее. Собственно говоря, используя порты, совершенно необязательно протягивать шины, которые введены в чертеж лишь для наглядности. Порт размещается командой **Place/Port** (кнопка ). Включив режим размещения порта, нажмем в области схемы. Откроется окно свойств размещаемого порта. В нем укажем: **Net Name** (имя цепи или порта) – **RA1** (для рассматриваемого примера), **Pin Count** – **One Pin** (один вывод), **Pin Length** – **Long** (длинный вывод), **Pin Orientation** – **Vertical**. Включим флажок **Increment Port Name**, что



позволит размещать последующие порты с именами RA2, RA3, ... и т.д. автоматически. Нажав **OK**, укажем на схеме позицию порта (рис. 5, указано перекрестием).

Рис. 5. Порты – идентификаторы входов в шину

Аналогично разместим порты RA2...RA8. Затем, нажав правую кнопку мыши, прервем размещение портов с текущим инкрементируемым именем. Теперь по нажатию левой кнопки мыши снова попадем в окно свойств порта. Повторим операцию, указав порты RA1...RA8 на входах в светодиодные матрицы, C1...C8 для данных с порта В микроконтроллера и т.д.

В результате получим схему, приведенную на рис. 6. При этом важно соблюсти требование уникальности имен портов для **разных цепей** даже в случае различных шин.

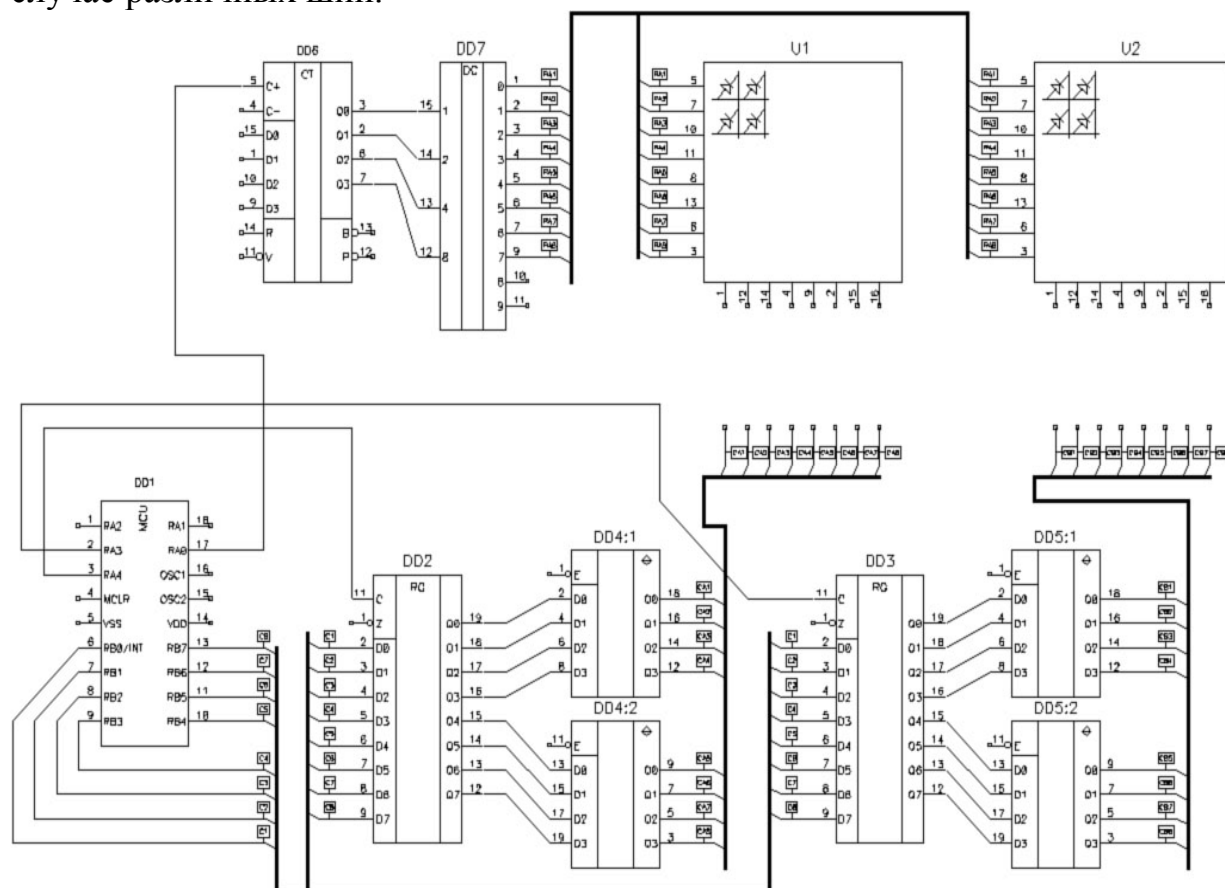
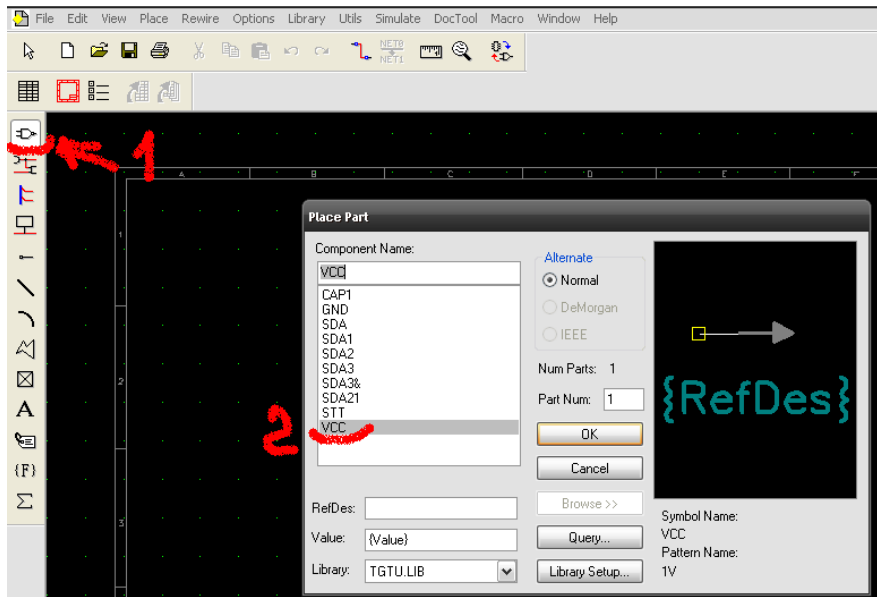


Рис. 6. Формируемая принципиальная схема

Окончательный этап – размещение и связывание дискретных элементов: фильтрующих емкостей, сопротивлений, элементов земли и питания. Руководствуясь непосредственно принципиальной схемой, указанной в задании, введем эти элементы в схему.

Из библиотеки **TGTU.LIB**, используемой при построении, поместим на схему элементы: **RESISTANCE**, **CAP\_V**, **+5**, **GND**, **STRELKA**:



DD1:PIC16C84  
 DD2,DD3:KR1533IR22  
 DD4,DD5:KR1554AP3  
 DD6:KR1533IE7  
 DD7:K555ID6

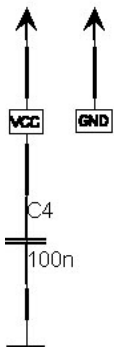
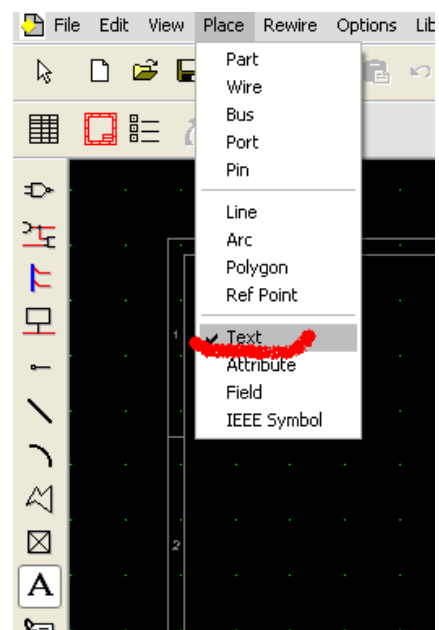


Рис. 7. Цепь питания

Назначение последнего элемента – внешние выводы платы, подключаемые к порту А микроконтроллера (RA1...RA2). Вместо элемента +5 можно использовать порты с именем (Net Name) VCC, аналогично вместо элемента GND может использоваться порт с именем GND. Введем в схему внешний вывод для цепи питания, соединив его с портом VCC и землей через фильтрующую емкость (рис. 7). Аналогично укажем внешний вывод для «земля».

Поместим текст (Place/Text), поясняющий элементный состав схемы: нажав в режиме размещения текста в области схемы, введем в открывшемся окне комментарий:



В результате всех произведенных операций получим принципиальную схему устройства, приведенную на рис. 8. Используем ее для генерации списка соединений и сохраним в файл.

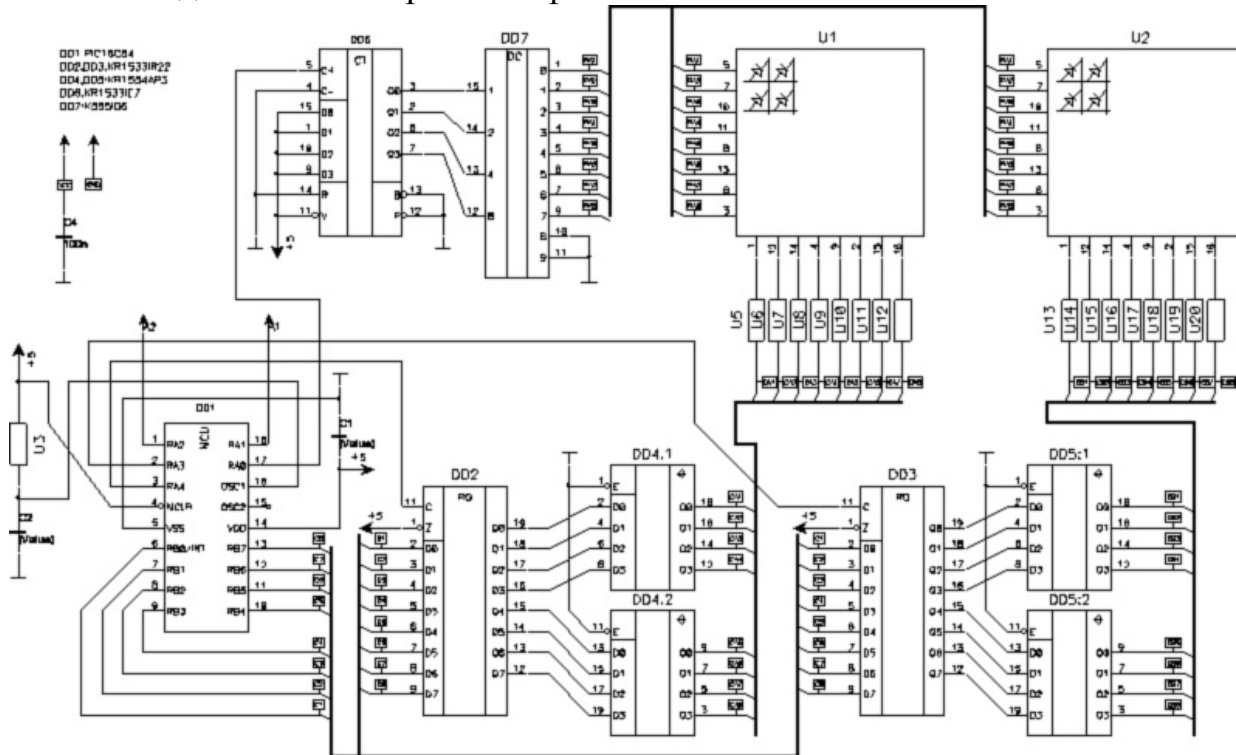
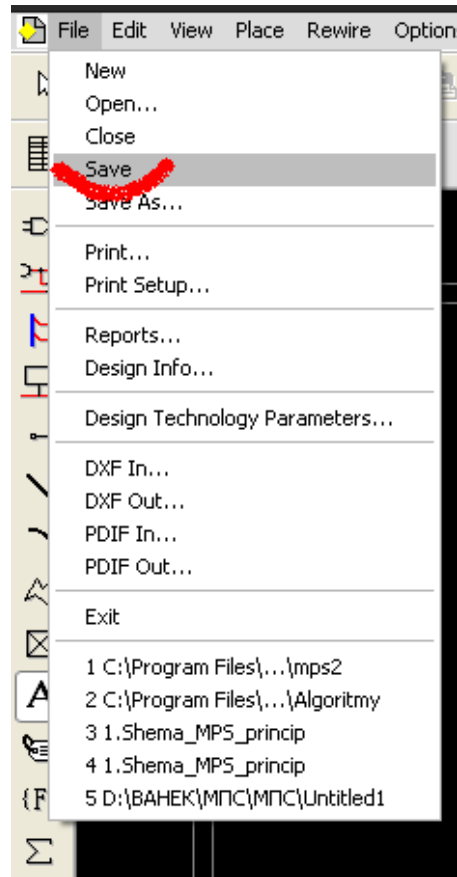
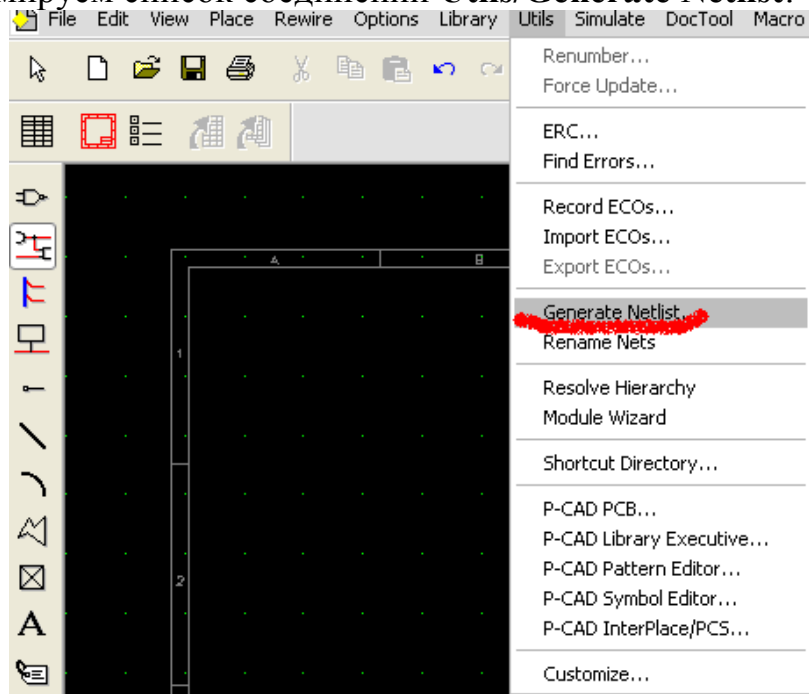


Рис. 8. Завершенная принципиальная схема устройства

Сохраним схему командой **File/Save**:



Оставив фильтр **Binary Files (\*.sch)**, введем имя (**Laba3**) и сохраним файл. Сформируем список соединений **Utils/Generate Netlist**:



Откроется окно (рис. 9).



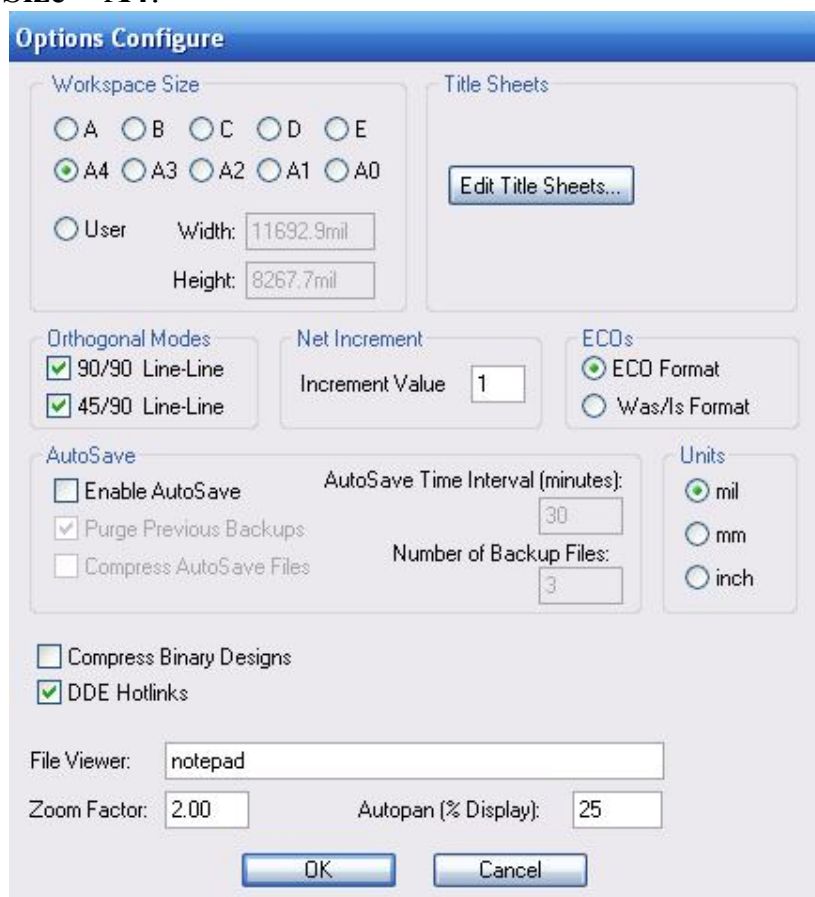
Рис. 9. Генерация списка соединений

Оставив параметры списка **соединений (P-CAD ASCII, Include Library Information – On)**, нажмем **ОК**, сформировав список. На этом работа в редакторе принципиальных схем P-CAD v.2006 Schematic закончена.

### Выполнение работы

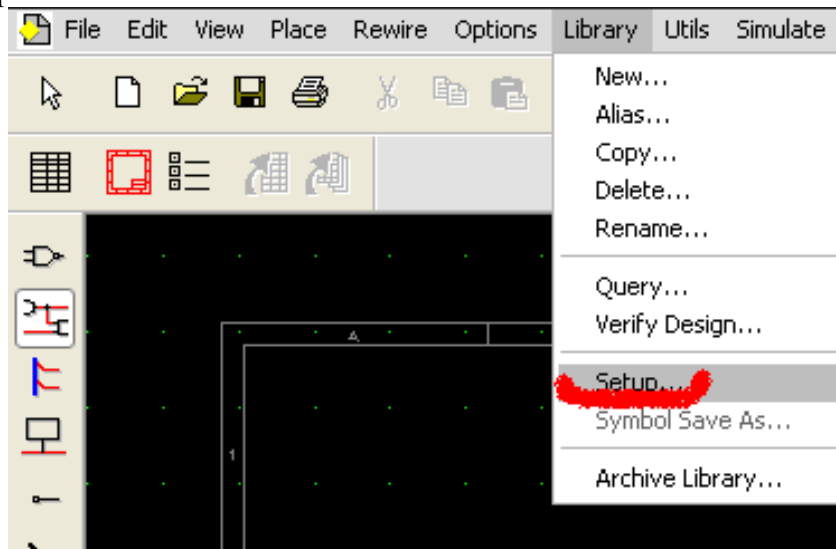
Открываем P-CAD Schematic: **Пуск/Программы/P-CAD 2006/Schematic**.

Настроим редактор для дальнейшей работы: откроем окно настроек редактора (**Options/Configure**). В поле **Units** выберем миллиметры (**mm**), **Workspace Size – A4**:

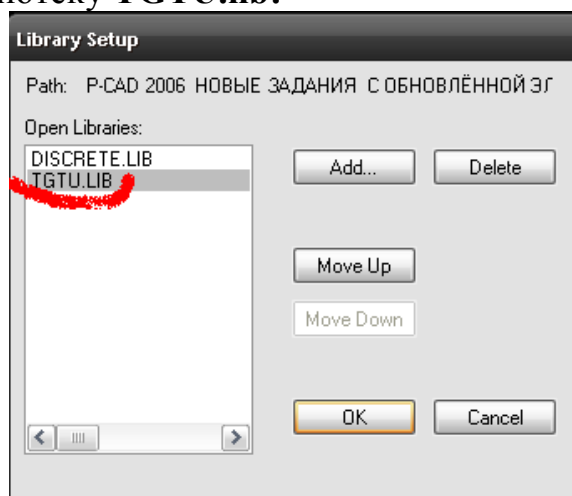




Подтвердим установки (**OK**). Далее настроим сетку. Открыв окно установки сетки (**Options/Grids**), введем **5.00**<sup>15</sup> в поле **Grid Spacing**, нажмем **Add**. Убедимся, что новая сетка является текущей (выделена в списке). Затем укажем используемую библиотеку элементов – открыв окно **Library/Setup**:



Выберем библиотеку **TGTU.lib**:



В списке доступных библиотек (в случае отсутствия таковой добавим ее кнопкой **Add** с указанием пути). Если библиотека **TGTU** не является первой в списке, переместим ее наверх кнопкой **Move Up**.

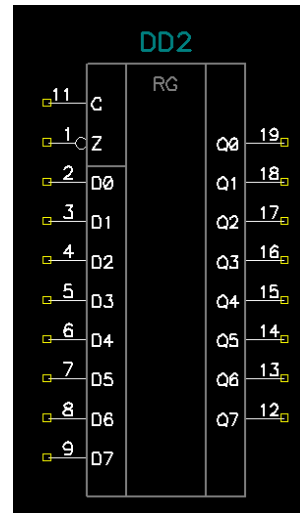
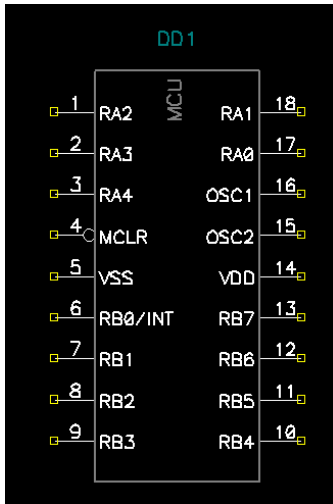
Приступим к созданию схемы.

Элементы:

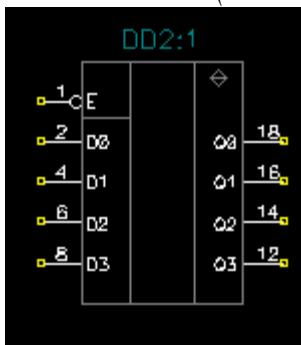
*PIC16C84*

*KP1533 IP22 (KR1533IR22)*

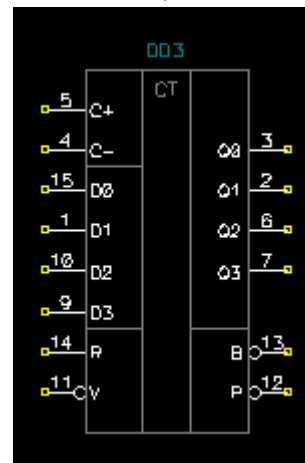
<sup>15</sup> В дальнейшем при работе в P-CAD Schematic может потребоваться изменение шага сетки на меньший (1 мм).



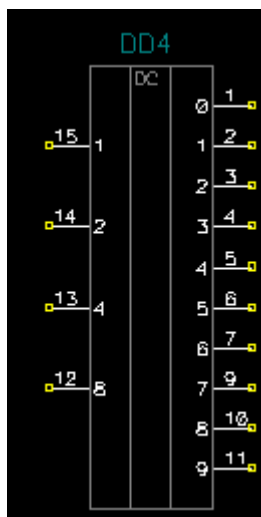
*KP1554 AИ3 (KR1554AP3)*



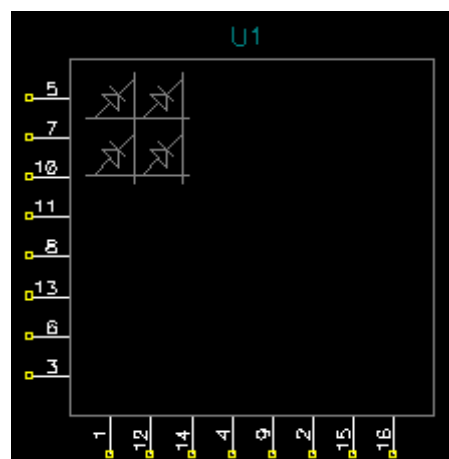
*KP1533 ИЕ7 (KR1533IE7)*



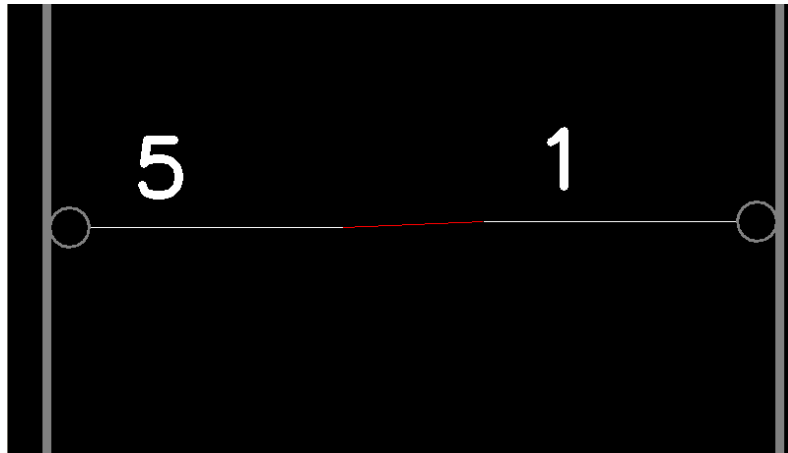
*K555И6 (K555ID6)*



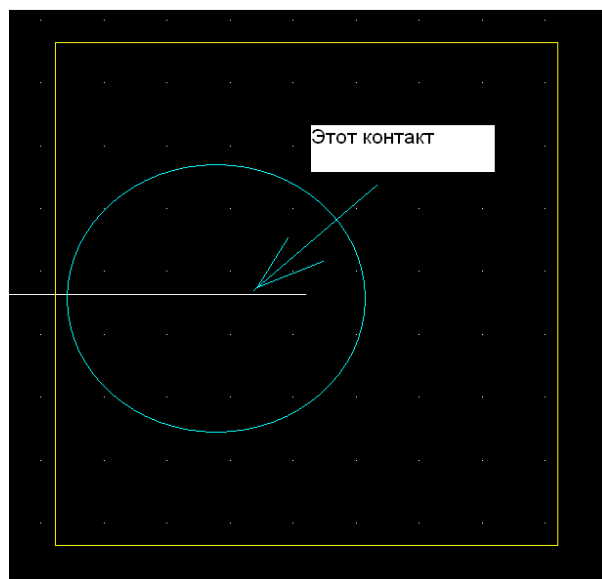
*TC23-11SRWA (TC2311\_SRWA)*



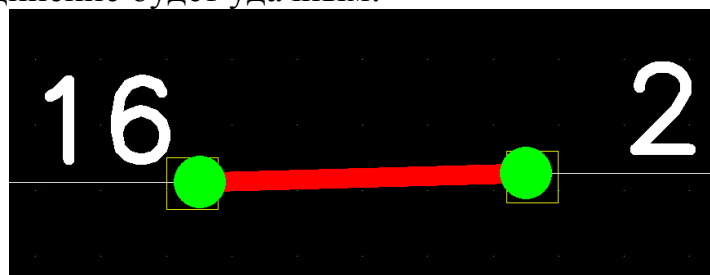
Сначала размещаем элементы на схеме так, как это дано в задании, затем соединяем элементы и шины проводами:



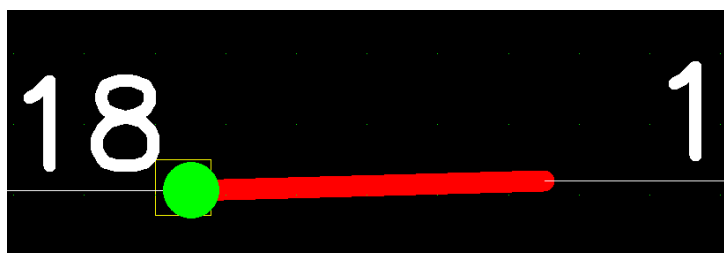
Элементы надо соединять так, чтобы провод касался белого контакта на ножках схем:



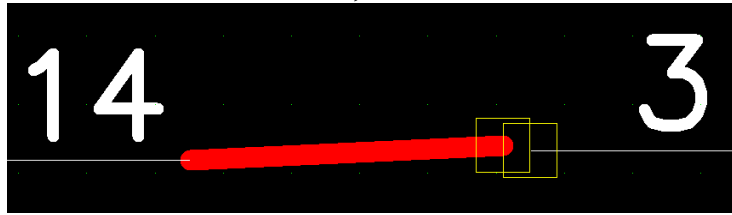
Тогда соединение будет удачным:



Зелёные точки (точки контактов) нужно удалять, иначе соединения нет:

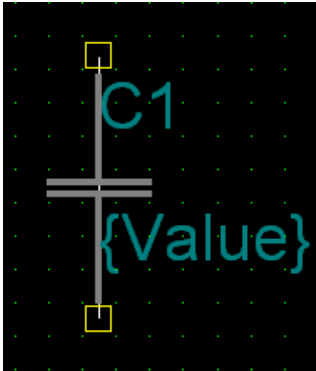


Этого не должно быть! Главное, чтобы не было ложных соединений:

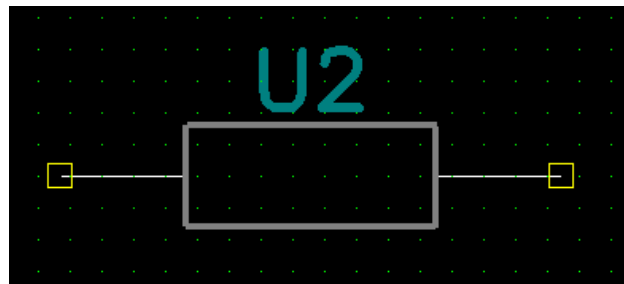


После соединения элементов и шин проводами, размещаем следующие элементы:

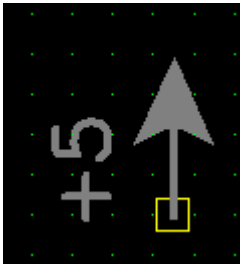
*RESISTANCE*



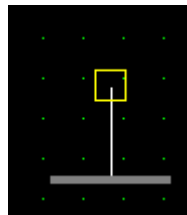
*CAP\_V*



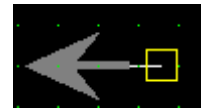
+5



*GND*



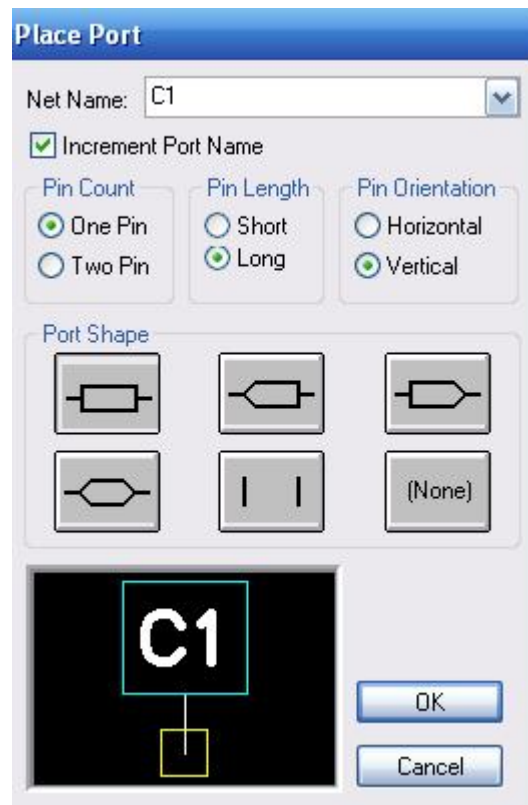
*STRELKA*



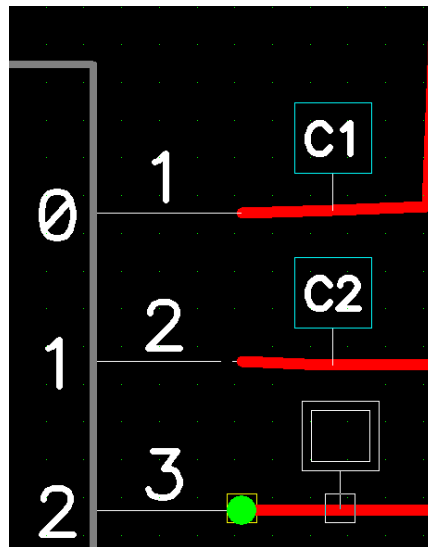
Все элементы можно переворачивать клавишами **F** и **R**.

Порты размещаются на схеме следующим образом.

Допустим, нам по заданию на этом участке надо поставить порты C1, C2, C3: нажимаем **Place Port**, в следующем окне выставляем настройки:



При написании названия, надо использовать английскую раскладку.  
Флажок **Increment Port Name** служит для того, чтобы при размещении портов автоматически менялось название на следующие:

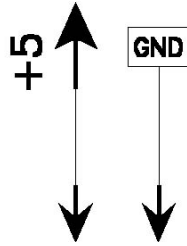


Для размещения порта нажимаем непосредственно на провод.

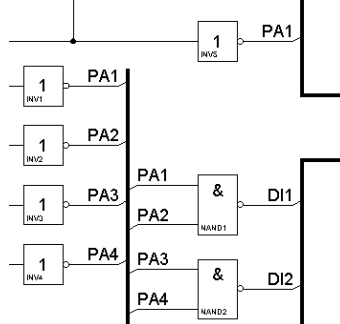


### Вопросы к работе

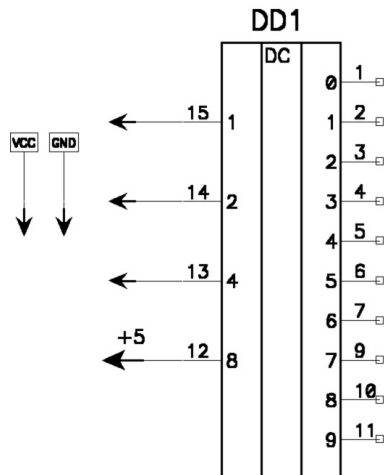
1. Корректно ли заданы цепи «земля» и «питание» с использованием стандартных (SLIB.LIB) компонент?



2. Какой схмотехнический принцип нарушается в данном примере?



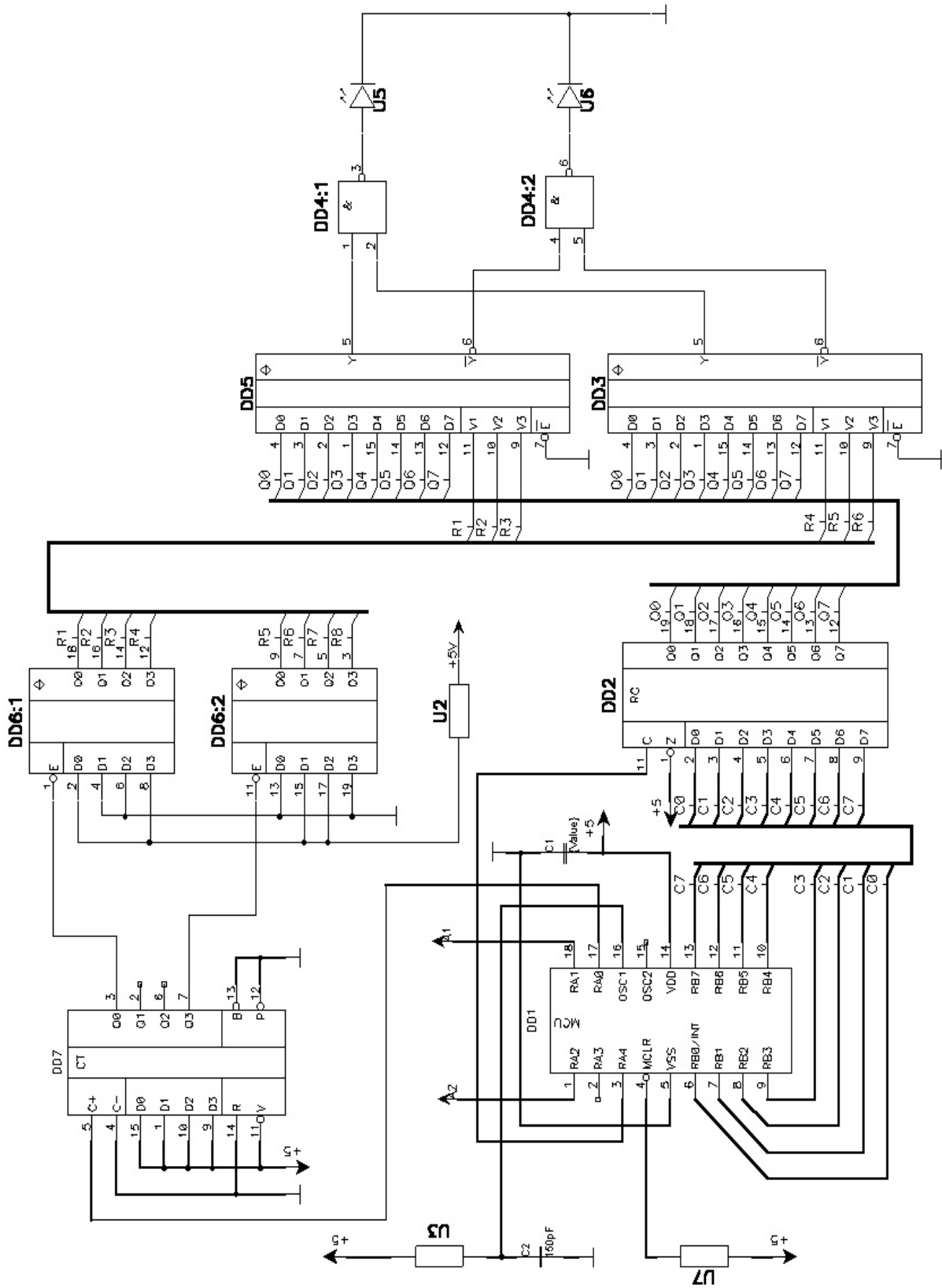
3. Сколько электрических цепей включает данная схема?



### Вариант 2

#### Задание

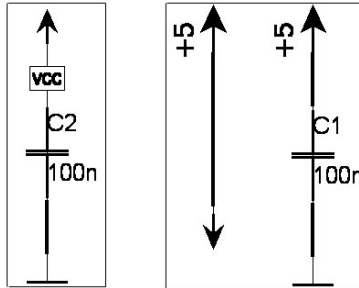
Построить в редакторе P-CAD Schematic приведенную на рисунке принципиальную схему устройства, воспользовавшись элементами библиотеки TGTU.lib. Дополнить схему цепью питания цифровых элементов.



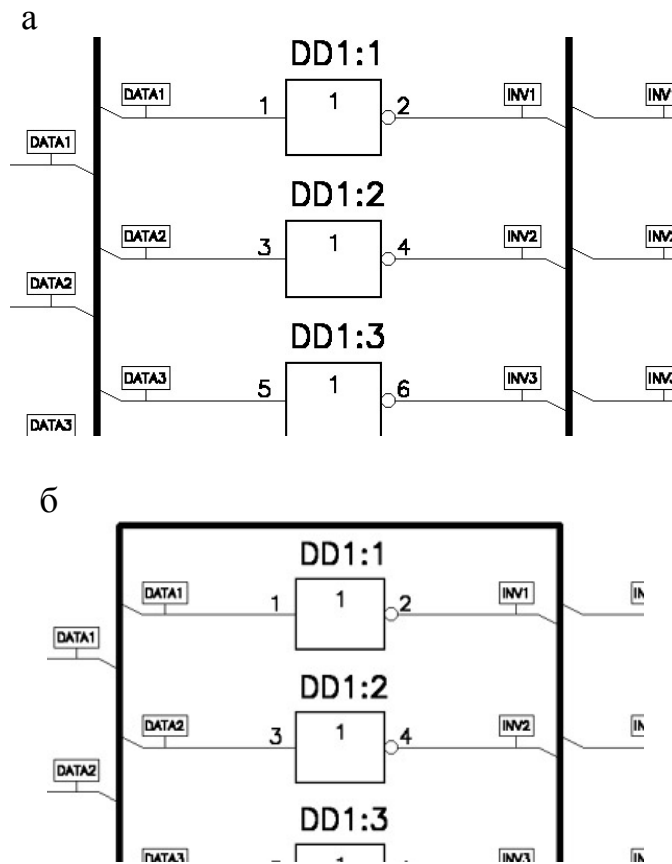


### Вопросы к работе

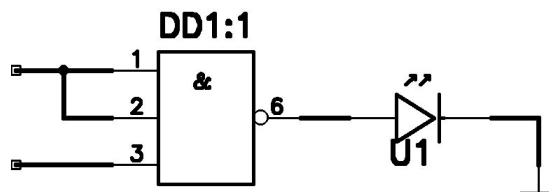
1. Эквивалентны ли цепи «питание», заданные двумя приведенными здесь способами?



2. Эквивалентны ли схемы а, б?



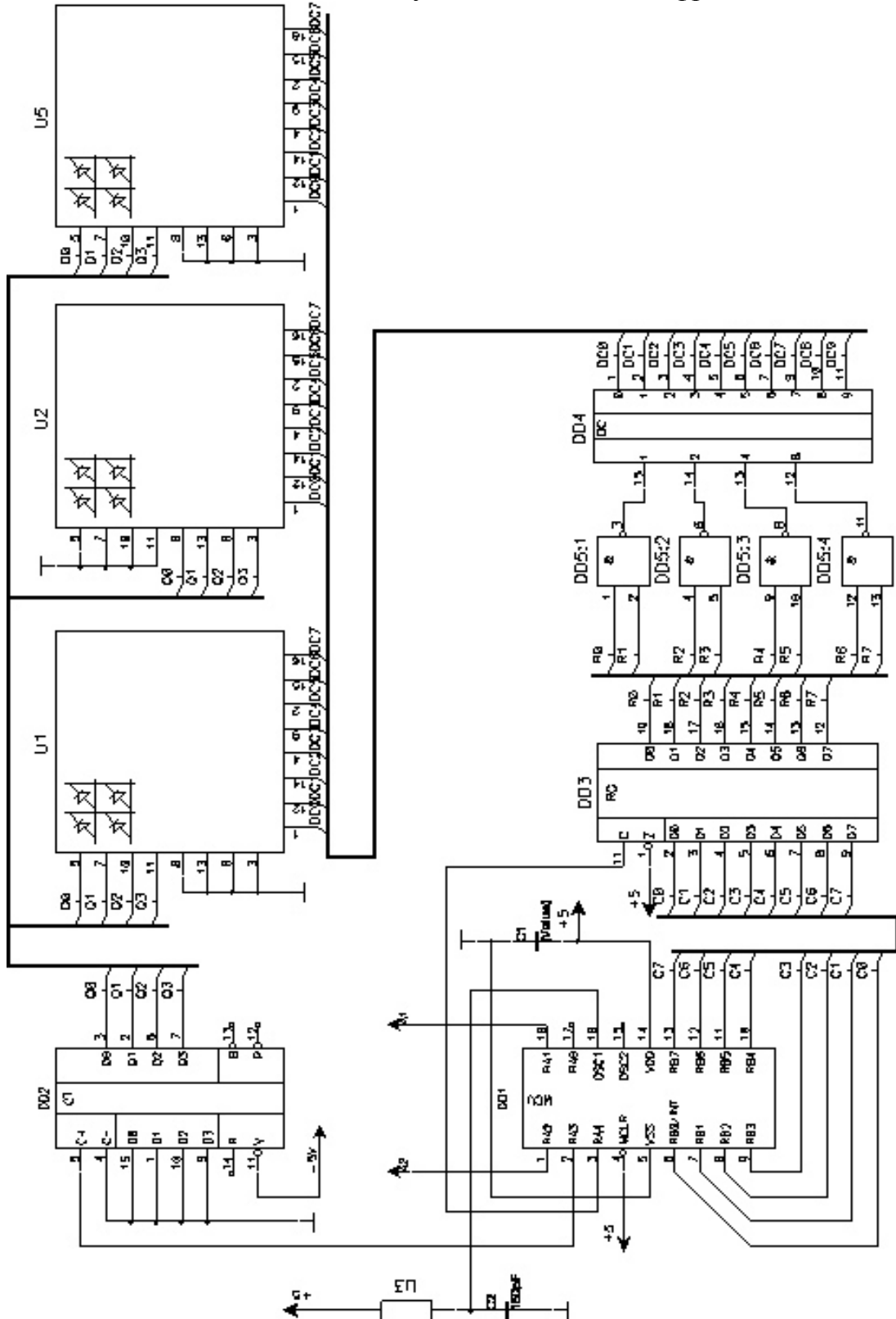
3. Сколько электрических цепей включает данная схема? Какие это цепи?



## Вариант 3

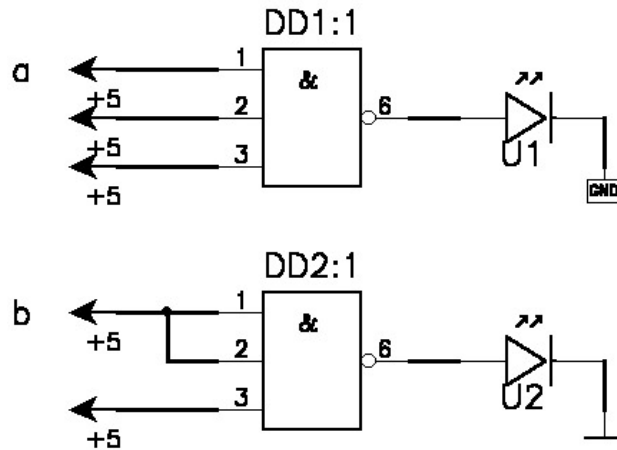
## Задание

Построить в редакторе P-CAD Schematic приведенную на рисунке принципиальную схему устройства, воспользовавшись элементами библиотеки **TGTU.lib**. Дополнить схему цепью питания цифровых элементов.

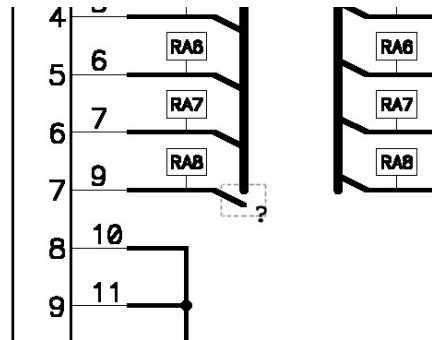


### Вопросы к работе

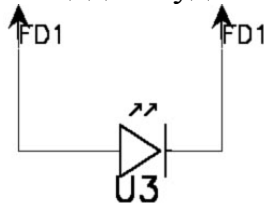
1. Эквивалентны ли схемы а, б?



2. Чем обусловлена данная ситуация и повлияет ли она на связи между компонентами?



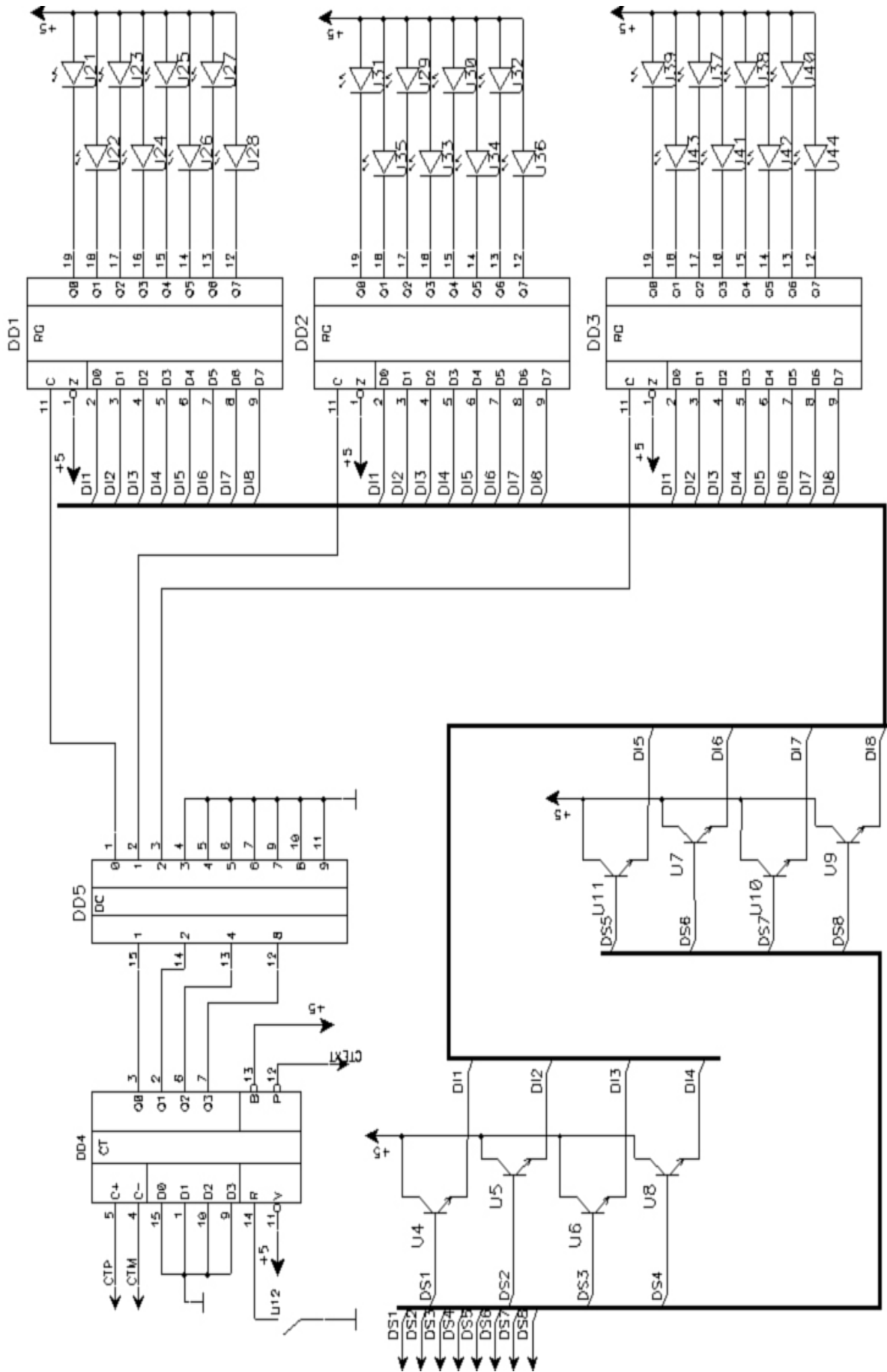
3. Сколько контактных площадок будет иметь ПП для такой схемы?



### Вариант 4

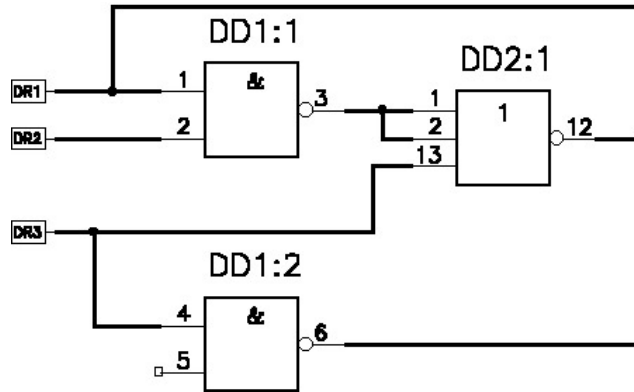
#### Задание

Построить в редакторе P-CAD Schematic приведенную на рисунке принципиальную схему устройства, воспользовавшись элементами библиотеки TGTU.lib. Дополнить схему цепью питания цифровых элементов.

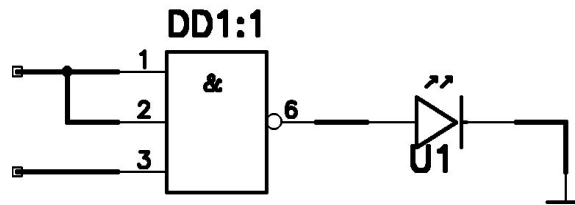


**Вопросы к работе**

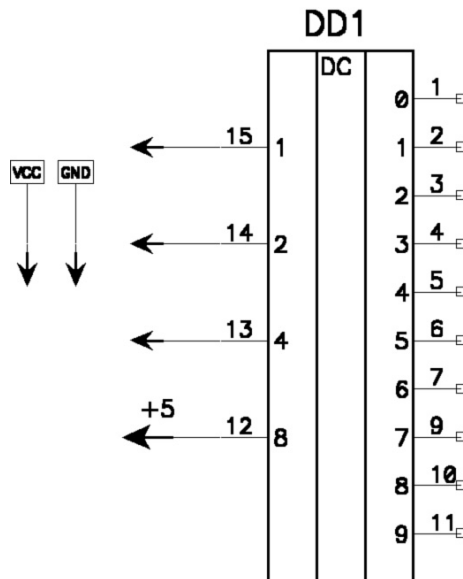
1. Корректна ли данная схема?



2. Сколько электрических цепей включает данная схема? Какие это цепи?



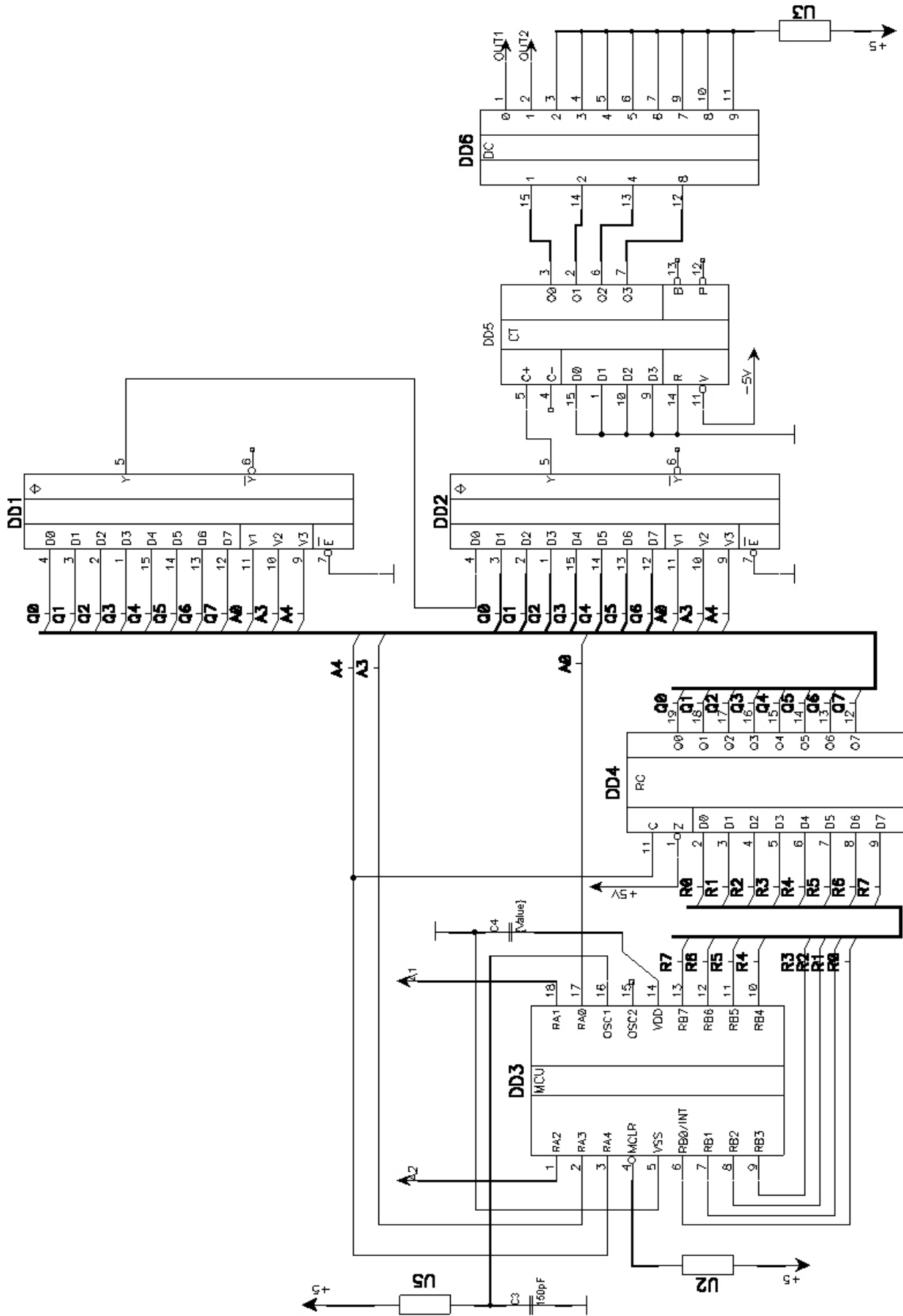
3. Сколько электрических цепей включает данная схема?



**Вариант 5**

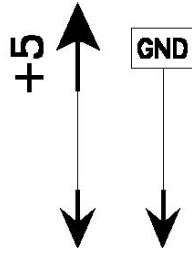
**Задание**

Построить в редакторе P-CAD Schematic приведенную на рисунке принципиальную схему устройства, воспользовавшись элементами библиотеки TGTU.lib. Дополнить схему цепью питания цифровых элементов.

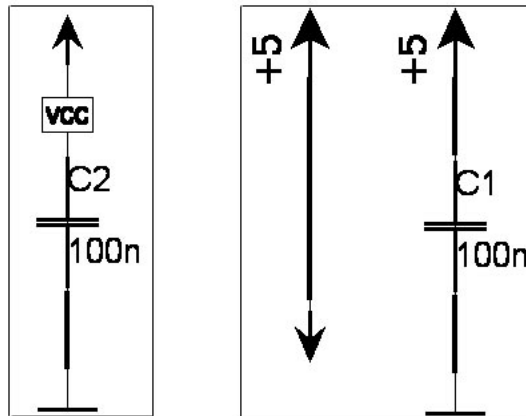


### Вопросы к работе

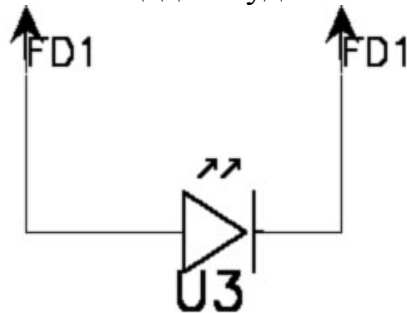
1. Корректно ли заданы цепи «земля» и «питание» с использованием стандартных (SLIB.LIB) компонент?



2. Эквивалентны ли цепи «питание», заданные двумя приведенными здесь способами?



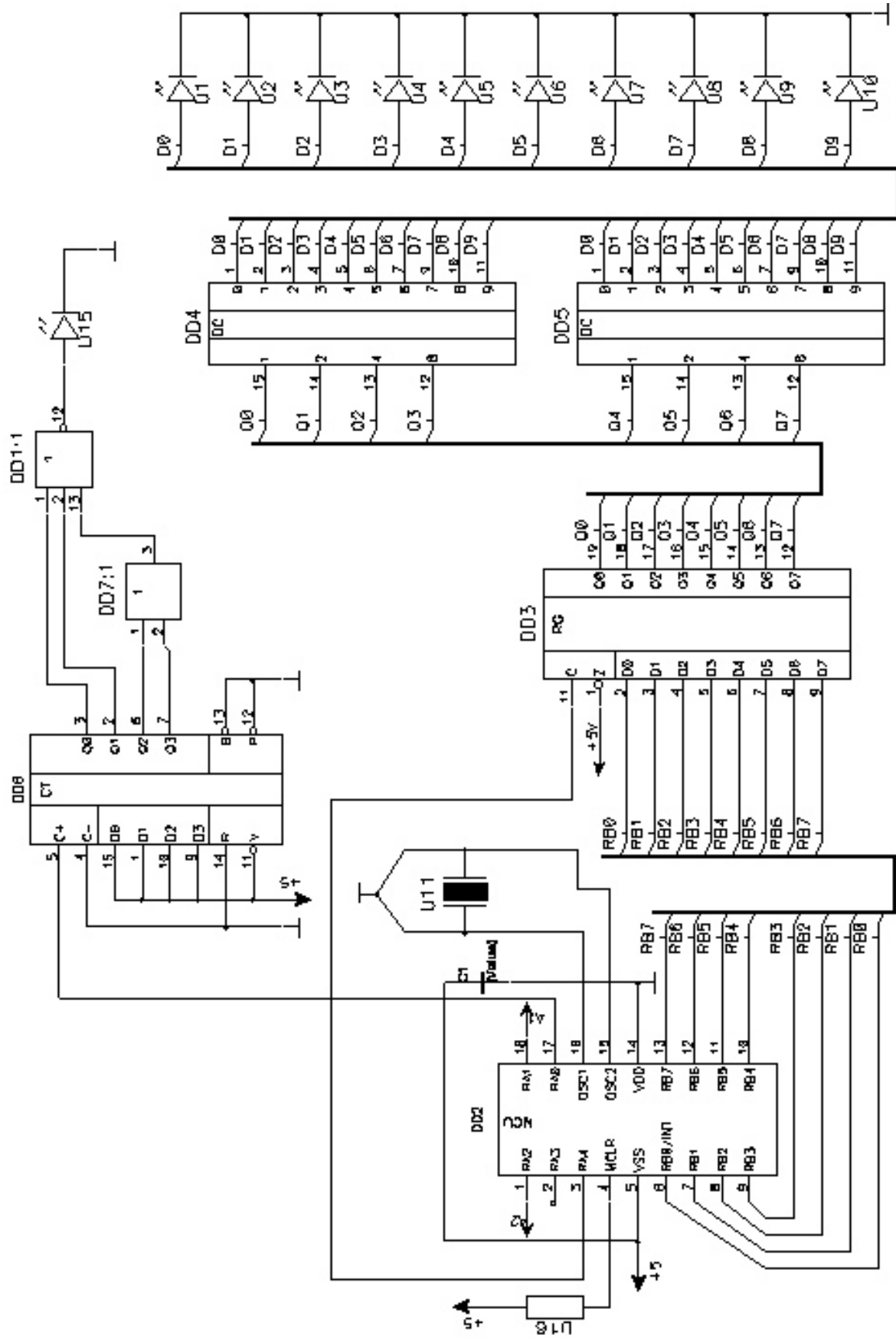
3. Сколько контактных площадок будет иметь ПП для такой схемы?



### Вариант 6

#### Задание

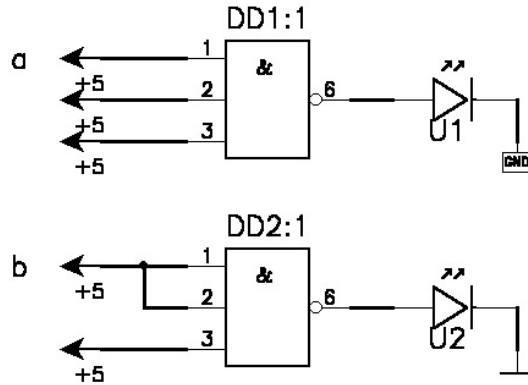
Построить в редакторе P-CAD Schematic приведенную на рисунке принципиальную схему устройства, воспользовавшись элементами библиотеки TGTU.lib. Дополнить схему цепью питания цифровых элементов.



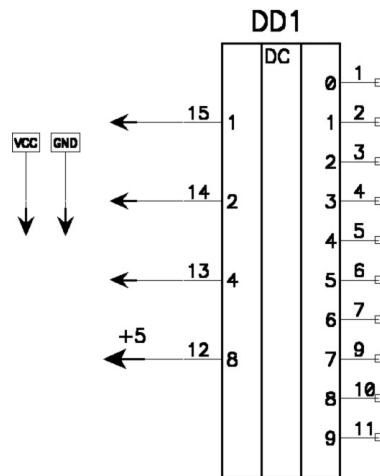


**Вопросы к работе**

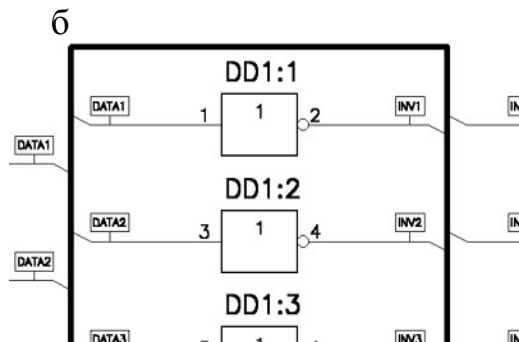
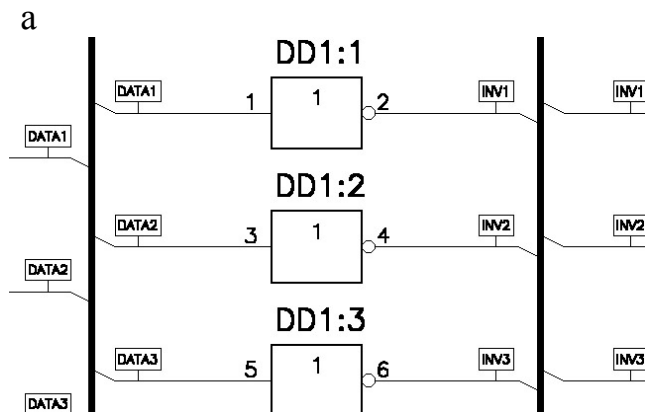
1. Эквивалентны ли схемы а, б?



2. Сколько электрических цепей включает данная схема?



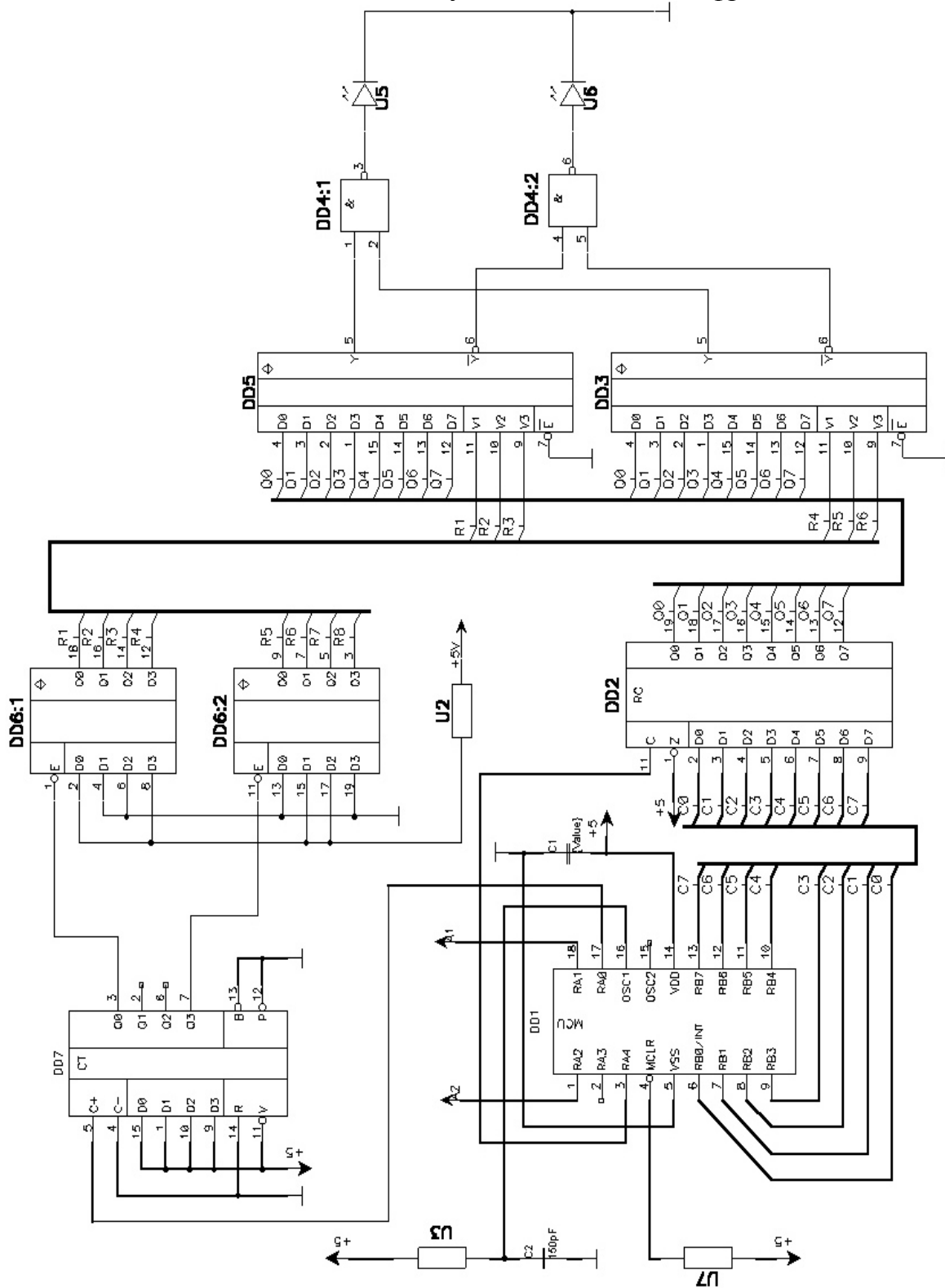
3. Эквивалентны ли схемы а, б?



## Вариант 7

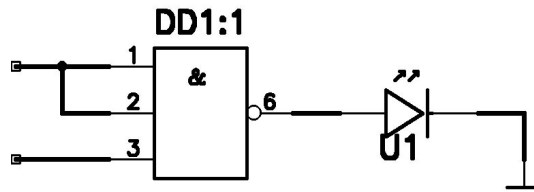
## Задание

Построить в редакторе P-CAD Schematic приведенную на рисунке принципиальную схему устройства, воспользовавшись элементами библиотеки TGTU.lib. Дополнить схему цепью питания цифровых элементов.

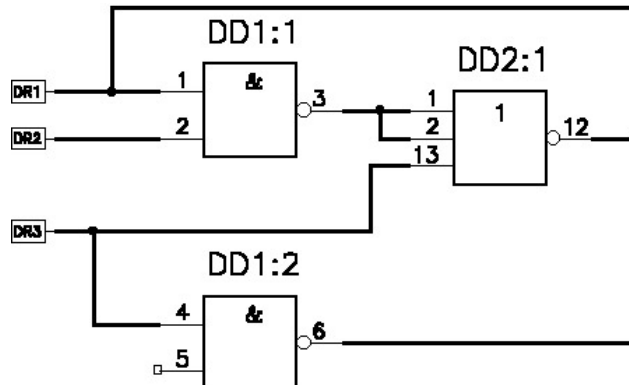


### Вопросы к работе

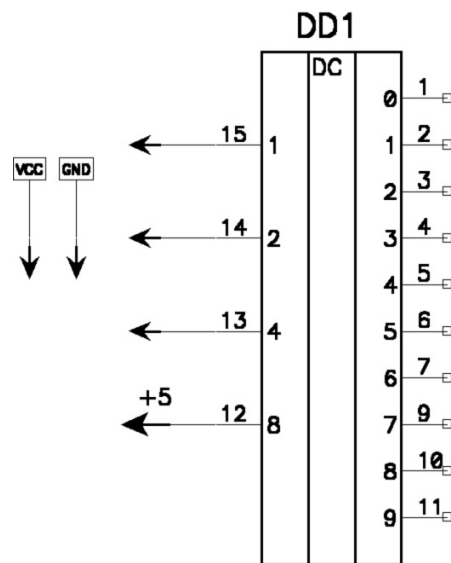
1. Сколько электрических цепей включает данная схема? Какие это цепи?



2. Корректна ли данная схема?



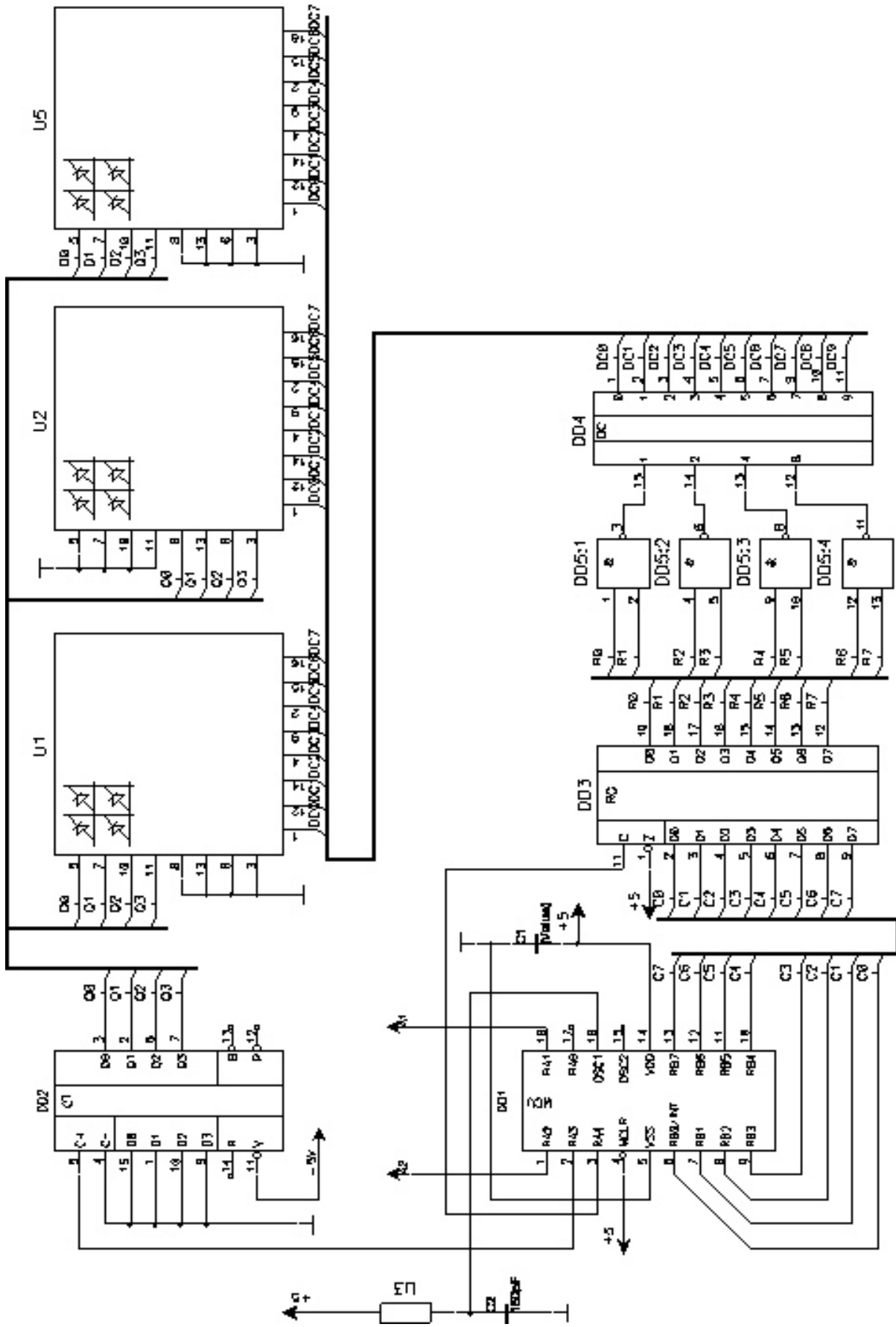
3. Сколько электрических цепей включает данная схема?



### Вариант 8

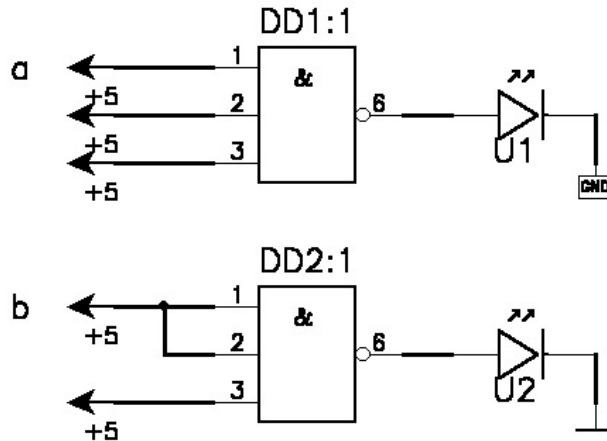
#### Задание

Построить в редакторе P-CAD Schematic приведенную на рисунке принципиальную схему устройства, воспользовавшись элементами библиотеки TGTU.lib. Дополнить схему цепью питания цифровых элементов.

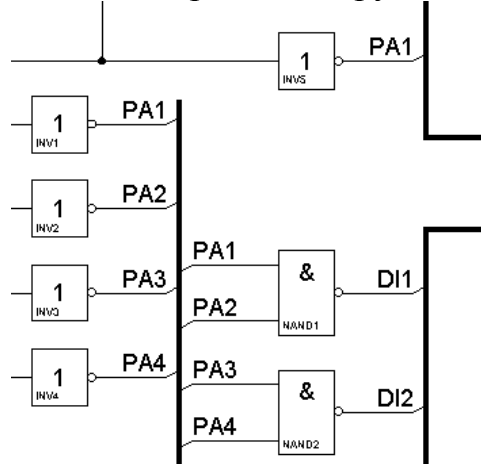


### Вопросы к работе

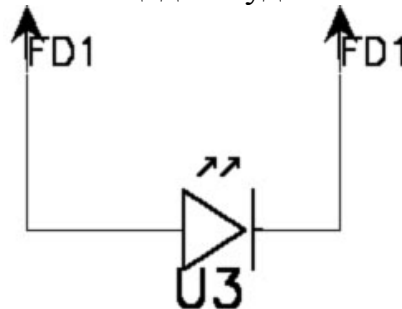
1. Эквивалентны ли схемы а, б?



2. Какой схемотехнический принцип нарушается в данном примере?



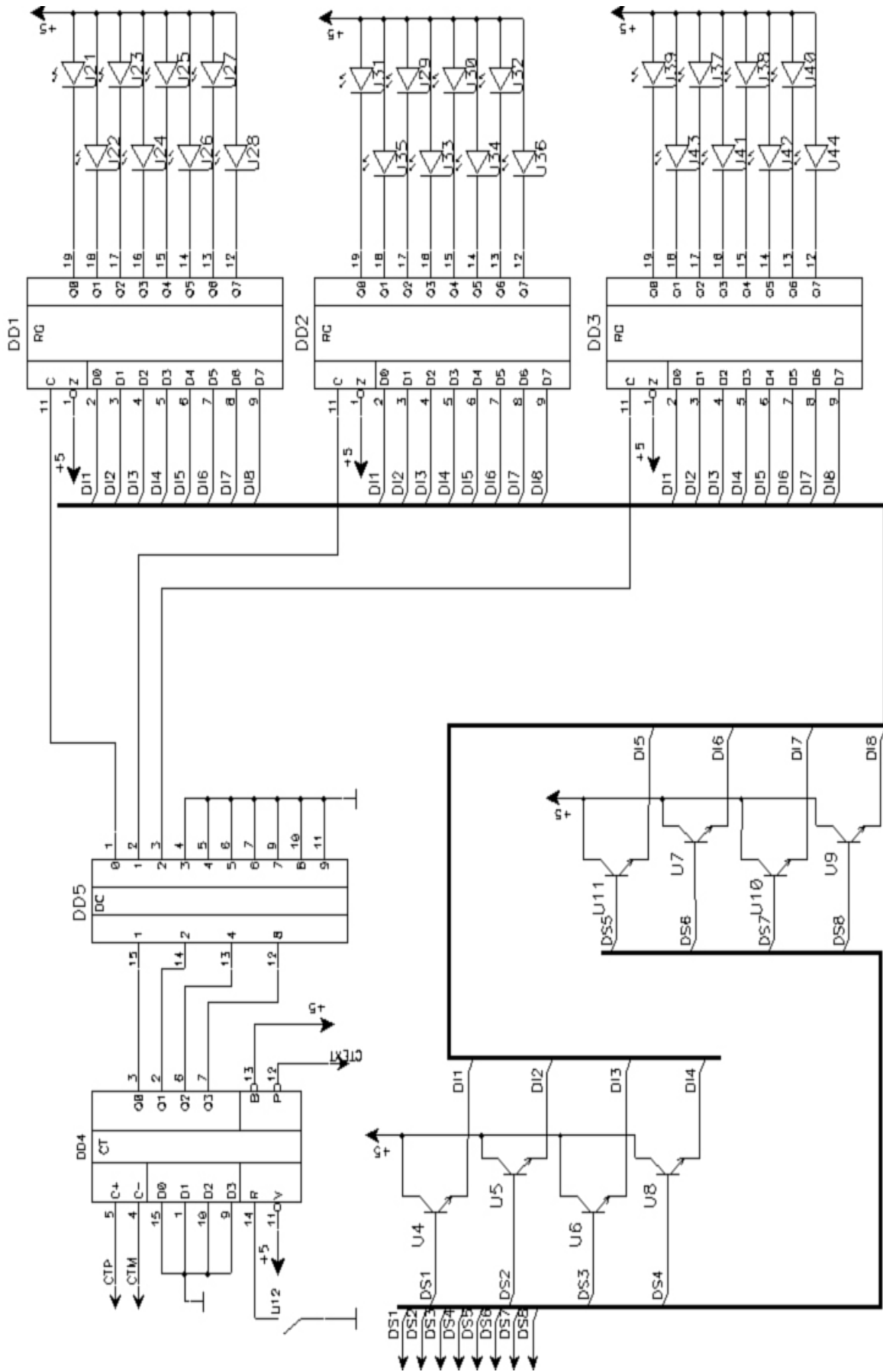
3. Сколько контактных площадок будет иметь ПП для такой схемы?



### Вариант 9

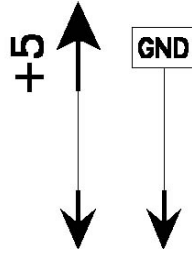
#### Задание

Построить в редакторе P-CAD Schematic приведенную на рисунке принципиальную схему устройства, воспользовавшись элементами библиотеки **TGTU.lib**. Дополнить схему цепью питания цифровых элементов.

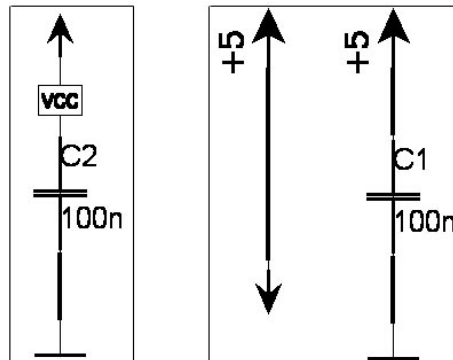


### Вопросы к работе

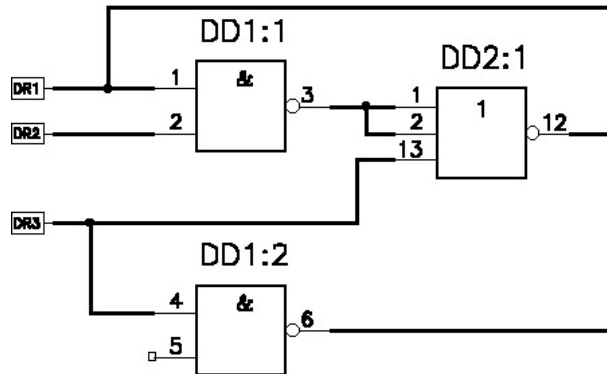
1. Корректно ли заданы цепи «земля» и «питание» с использованием стандартных (SLIB.LIB) компонент?



2. Эквивалентны ли цепи «питание», заданные двумя приведенными здесь способами?



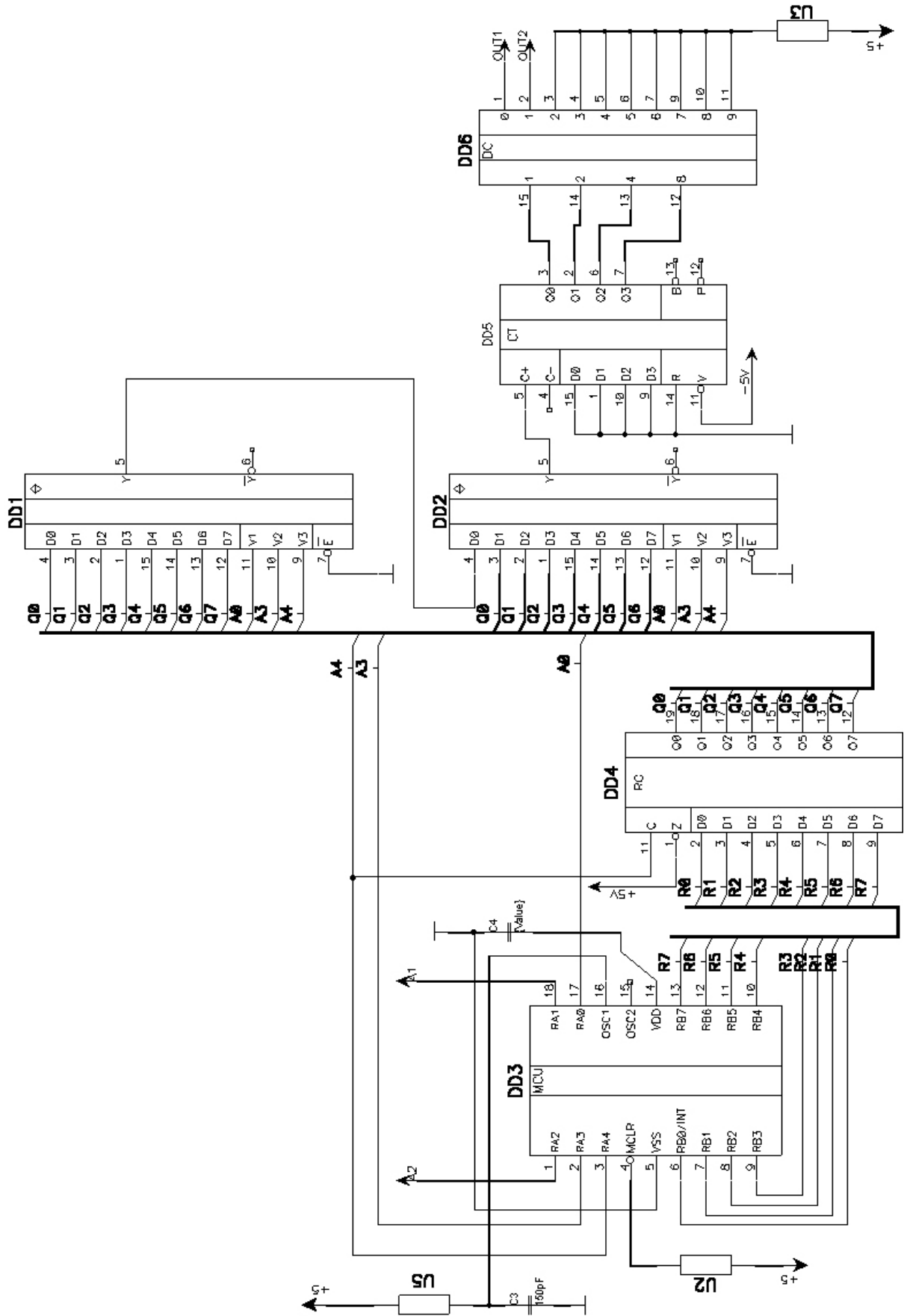
3. Корректна ли данная схема?



### Вариант 10

#### Задание

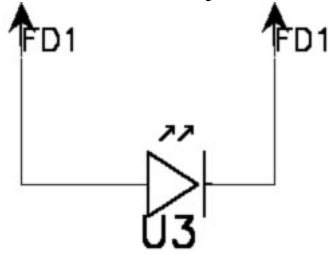
Построить в редакторе P-CAD Schematic приведенную на рисунке принципиальную схему устройства, воспользовавшись элементами библиотеки TGTU.lib. Дополнить схему цепью питания цифровых элементов.



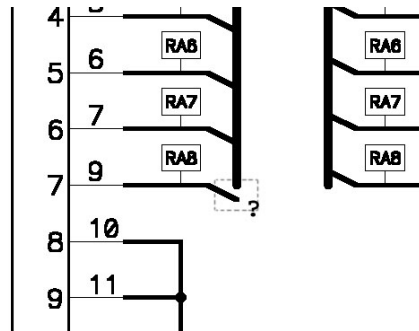


**Вопросы к работе**

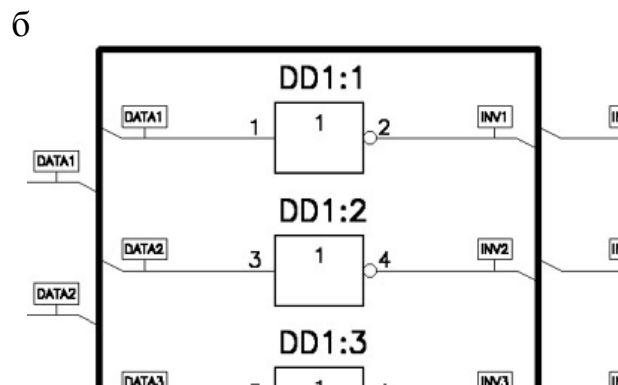
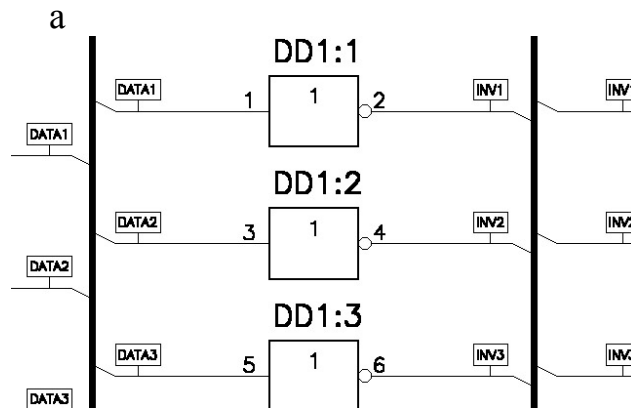
1. Сколько контактных площадок будет иметь ПП для такой схемы?



2. Чем обусловлена данная ситуация и повлияет ли она на связи между компонентами?





3. Эквивалентны ли схемы а, б?



## Лабораторная работа №5

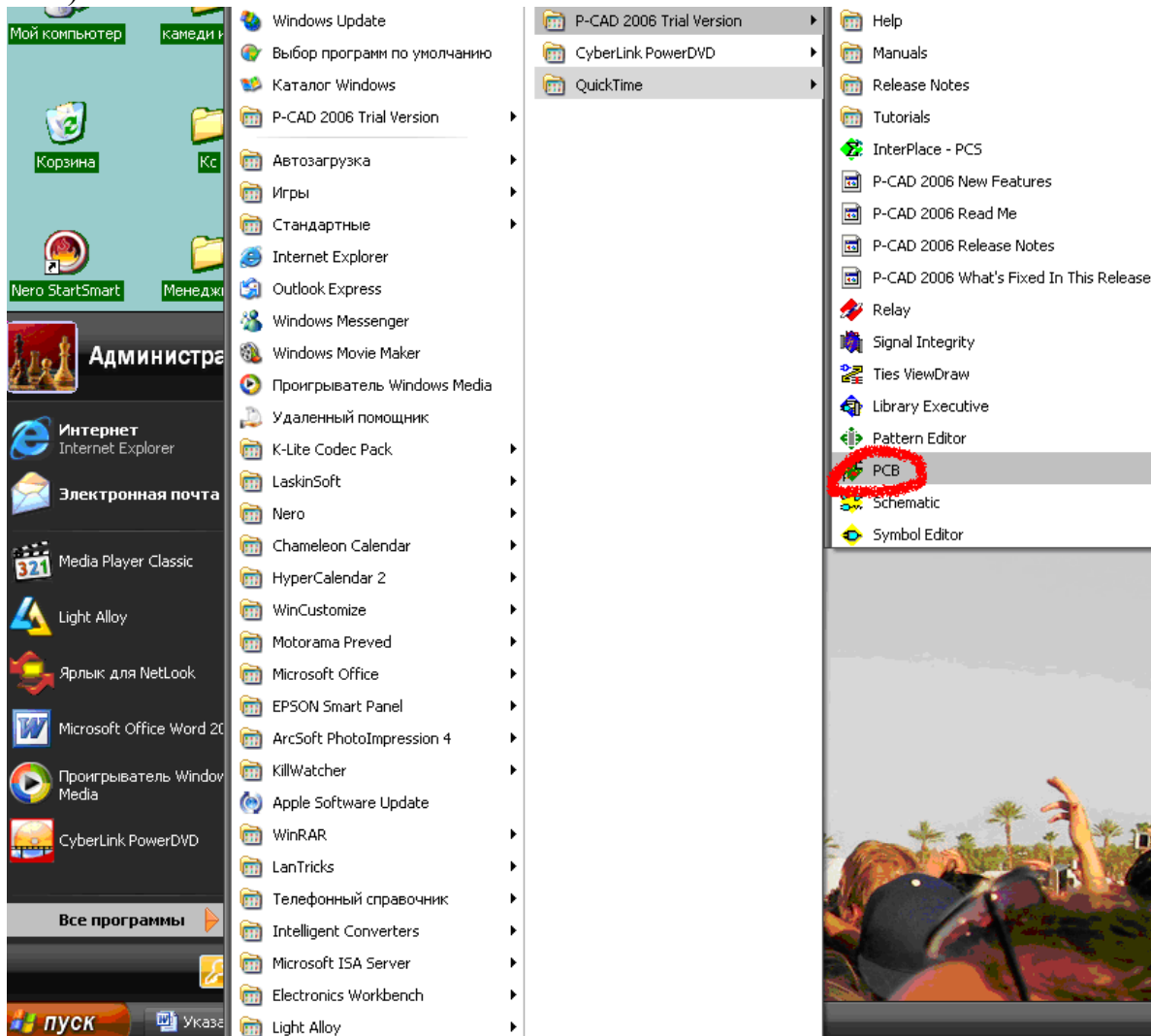
### Выполнение разводки печатной платы в P-CAD 2006 Schematic

Задачи оформления чертежа МПП, вывода его в специализированных форматах и создания отчетов объединены в рамках редактора P-CAD 2006

PCB – . Редактор позволяет размещать конструктивы МПП автоматически либо использовать список соединений (**netlist**), формируемый в редакторе P-CAD Schematic – .

В качестве исходных данных для разводки МПП используем принципиальную электрическую схему устройства, построенную в P-CAD 2006 Schematic и представленную в виде списка соединений. Располагая набором необходимых для дальнейших построений библиотечных элементов (библиотека **TGTU.lib**) можно приступить к подготовке МПП в редакторе P-CAD 2006 PCB. Рассмотрим этот процесс на приведенном ниже примере.

Запустим редактор P-CAD 2006 PCB (**Пуск/Программы/P-CAD 2006 PCB**):



Окно редактора показано на рис. 1.

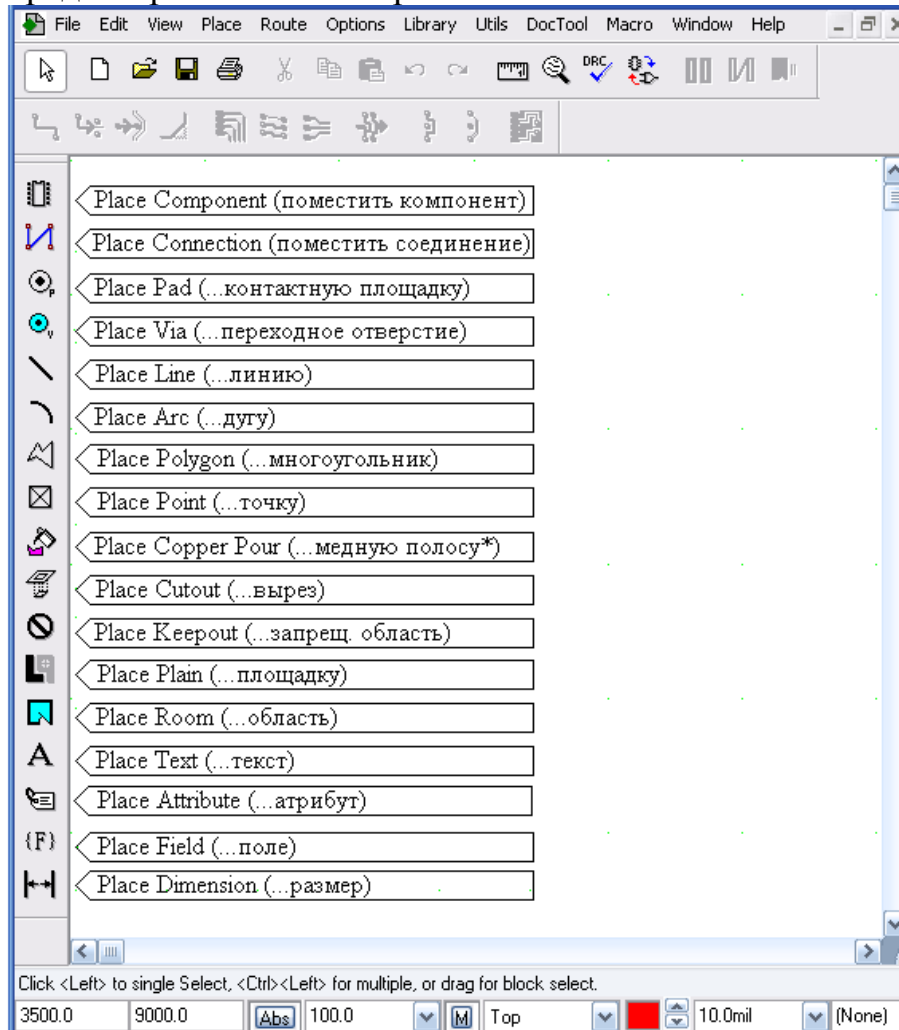
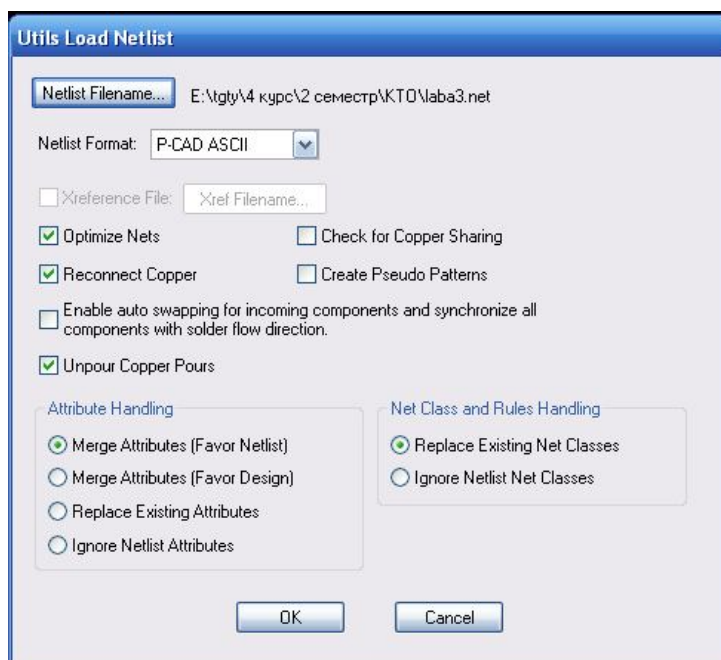


Рис. 1. Внешний вид редактора P-CAD 2006 PCB

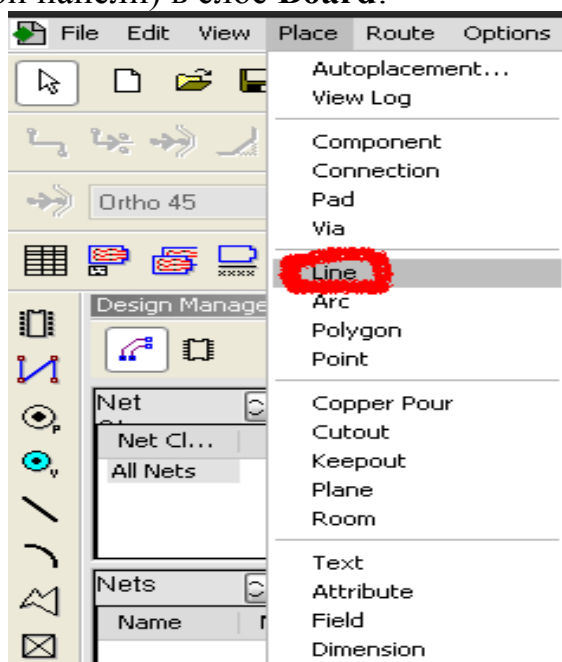


В редакторе P-CAD 2006 PCB загрузим список соединений, сгенерированный на предыдущем этапе работы. Выполним команду **Utils/Load Netlist**. В открывшемся окне (рис. 2) укажем путь к файлу соединений. Параметры оставить по умолчанию.

Рис. 2. Окно загрузки списка соединений

После загрузки списка соединений P-CAD выполнит предварительное размещение элементов, обозначив цепи синими линиями. Полученное размещение, однако, далеко от оптимального. Выполнить размещение автоматически, учитывая межэлементные связи, можно, воспользовавшись пакетом **SPECSTRA**. Предварительно необходимо выполнить некоторые действия по подготовке платы вообще и к авторазмещению в частности.

Прежде всего укажем границы МПП. Граница платы может иметь произвольную форму (в нашем случае представим ее прямоугольной рамкой вокруг уже размещенных элементов). Граница представляет собой замкнутый контур, проведенный обычной линией (**Place/Line** или кнопка на инструментальной панели) в слое **Board**:



Сделаем этот слой активным (рис. 3) и построим контур, закончив построение правой кнопкой мыши.

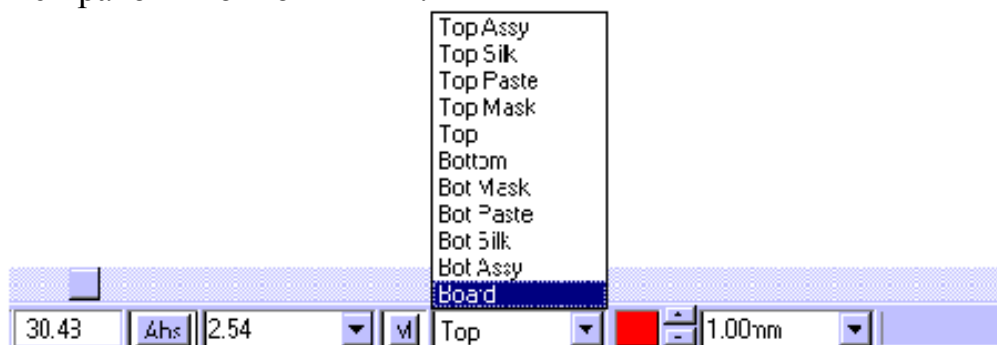


Рис. 3. Выбор текущего слоя

Наконец, завершающим данный, предварительный этап, действием, будет задание **фиксированных** положений некоторым элементам ПП. В частности известно, что контактные площадки должны находиться по краям платы. Разместить их нужно вручную, а после этого, зафиксировать положение площадок. В противном случае автотрассировщик может расста-

вить площадки так, как ему заблагорассудится. Переместим площадки и выделим их, используя одиночное выделение, выделение рамкой или групповое выделение с удерживанием кнопки **Ctrl**. Контекстное меню для выделенной группы будет содержать специфичные пункты только в том случае, если в группу войдут объекты одного типа (например, компоненты без связей). Следовательно, удобнее воспользоваться поочередным выделением с нажатой кнопкой **Ctrl**.

В окне свойств площадок (**Properties**, открывается из контекстного меню, вызываемого правой кнопкой мыши) поставим флаг **Fixed**. Цвет площадок при этом изменится на оливковый. Аналогично зафиксируем светодиодные матрицы. Интересный момент – прочие неразмещенные элементы необходимо вытащить за пределы МПП, без чего программа авторазмещения не займется ими. Результат произведенных операций демонстрирует рис. 4.

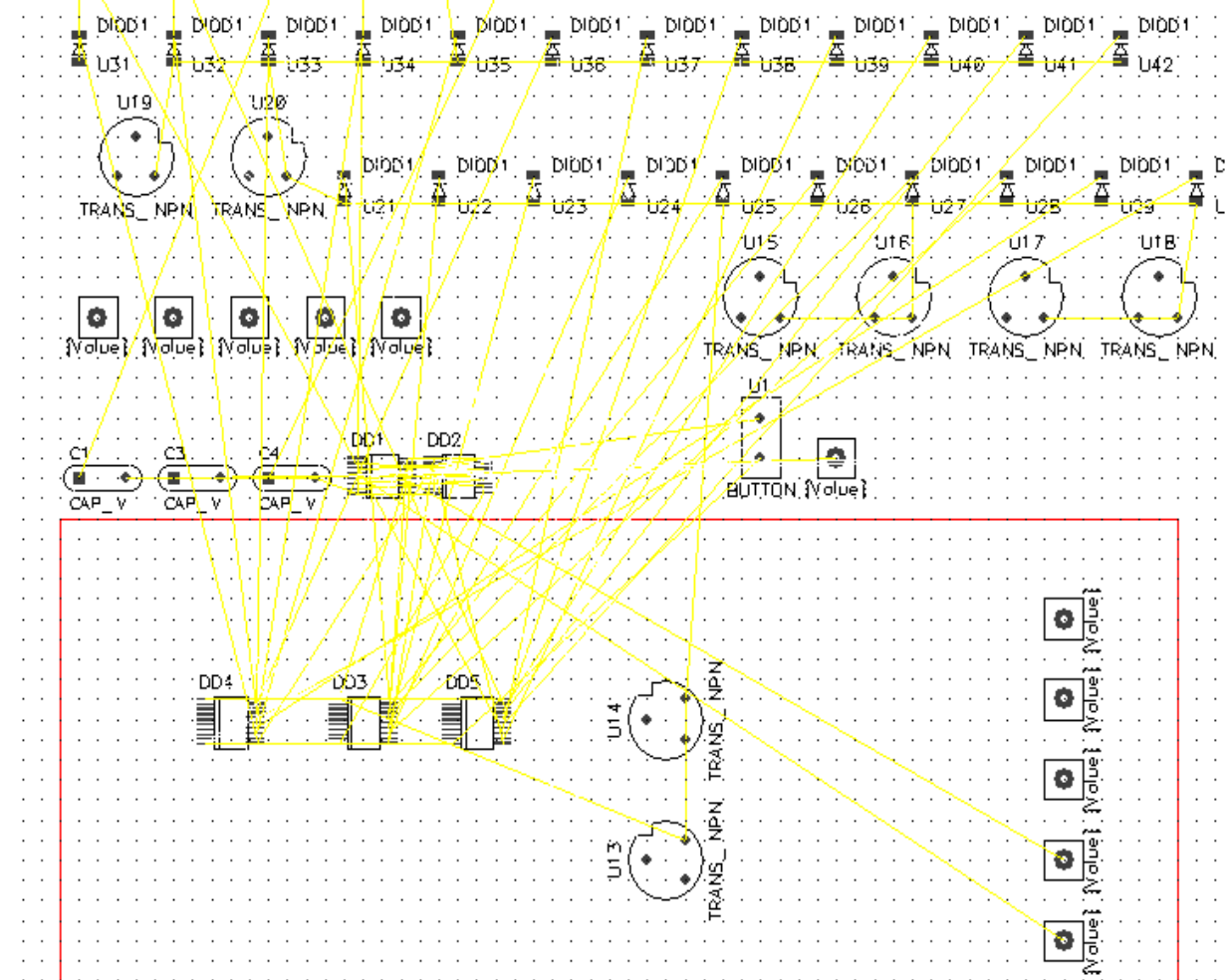
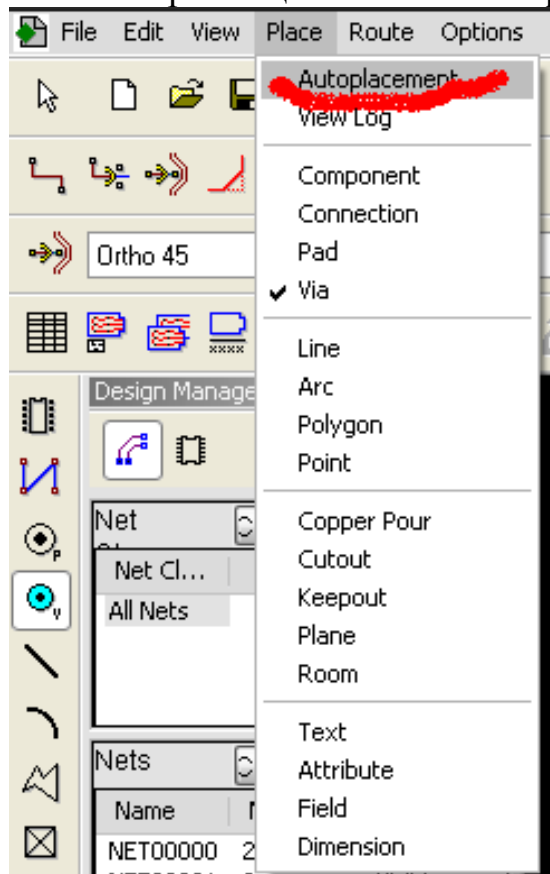


Рис. 4. МПП, подготовленная для авторазмещения

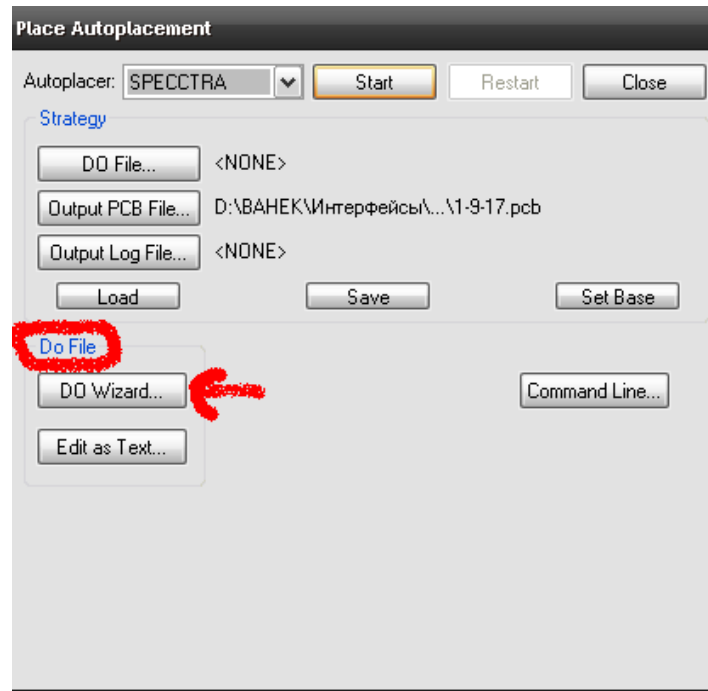
Теперь откроем окно авторазмещения **Place/Autoplacement**:



Откроется окно настроек авторазмещения. Все параметры в этом окне можно оставить по умолчанию. В частности, в поле **Autoplacer** будет указана программа **СПЕКТРА**.

**СПЕКТРА** представляет собой мощный пакет, поддерживает авторазмещение по бессеточной технологии, представляющей объекты совокупностью вершин. Данная технология позволяет получать более высокие результаты трассировки, чем встроенные трассировщики P-CAD **Quick Route** и **Pro Route**. Кроме того, использование **Shape-Based** алгоритмов делает возможным задание ряда иерархических правил проектирования. Наконец, **СПЕКТРА** предоставляет ряд дополнительных возможностей, в частности автоматическое размещение элементов платы. При работе с этим пакетом используется файл заданий (**DO File**), формировать который можно автоматически, воспользовавшись мастером создания файла заданий P-CAD.

В открывшемся окне авторазмещения P-CAD в поле **Do File** найдем кнопку **DO Wizard**:



Нажав ее, мы попадем в окно помощника по созданию файла заданий. В нем достаточно нажать кнопку **Auto Create DO File**, после чего закрыть окно кнопкой **ОК**. Теперь по нажатию кнопки **Start** окна авторазмещения получим плату, где элементы втиснуты в рамки отведенного пространства и расставлены с учетом заданных связей (рис. 5).

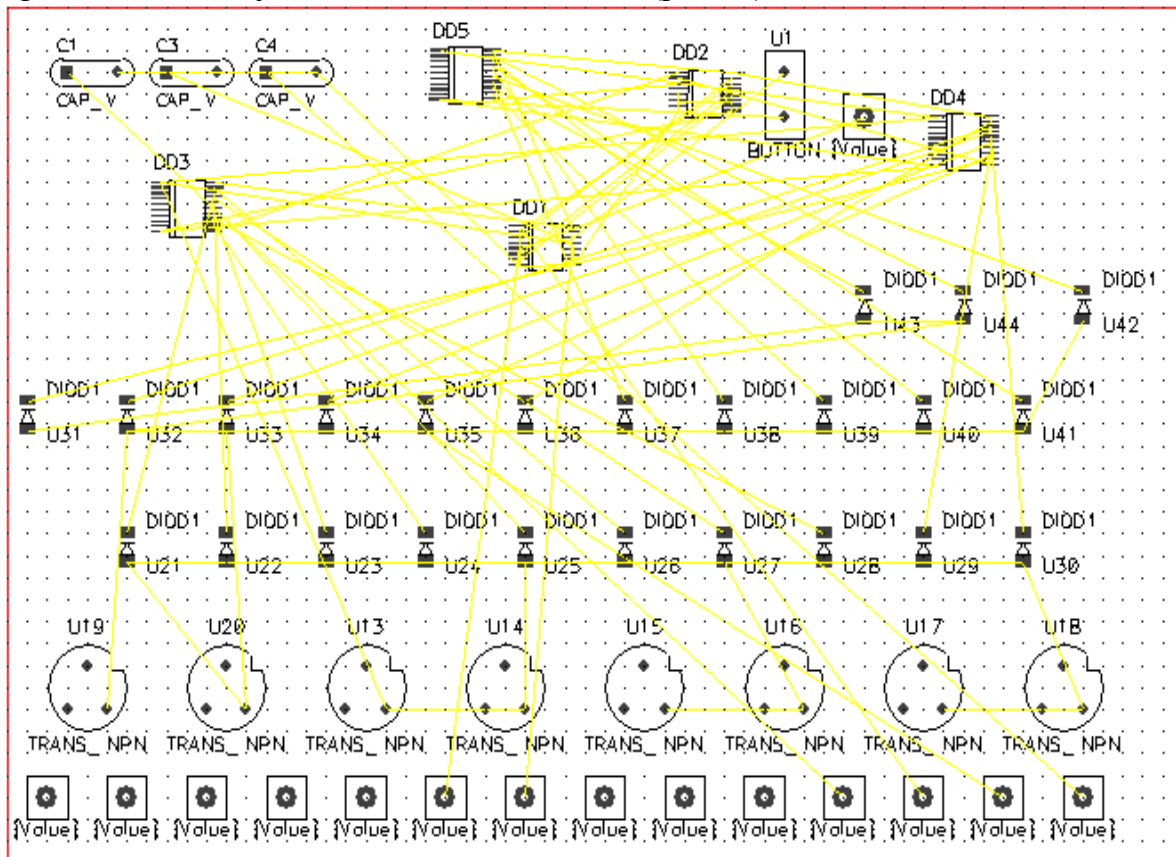
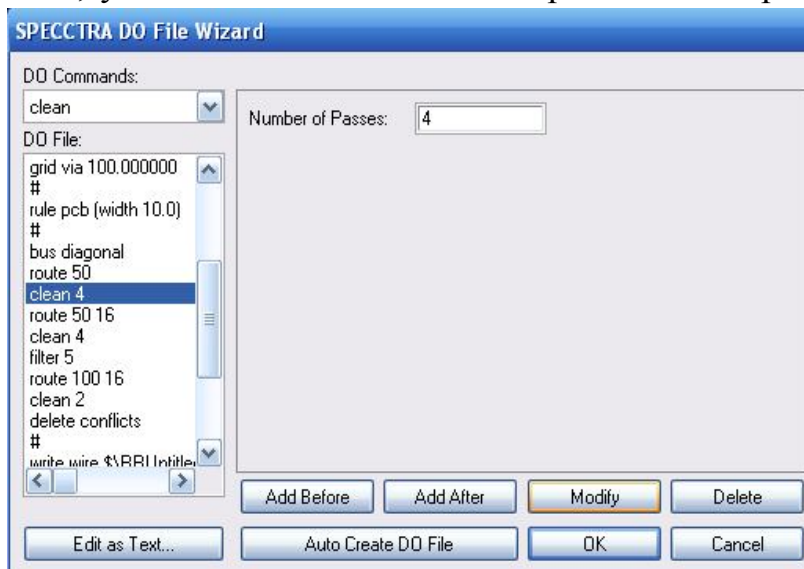


Рис. 5. Размещенные на МПП компоненты

Итак, печатная плата полностью подготовлена к трассировке. Осуществим ее, воспользовавшись, опять же, пакетом **SPECCTRA**. Для этого вызовем окно **Route Autorouters**. В поле **Autorouter** укажем **SPECCTRA**. Затем воспользуемся **DO Wizard**, аналогично помощнику для авторазмещения. После нажатия **Auto Create DO File** в окне **SPECCTRA DO File Wizard**, внесем изменения в стратегию трассировки, увеличив количество проходов с целью повышения качества разводки. Выделим команды **DO File**, указывающие количество проходов алгоритмов трассировки на каж-



дой из трех стадий: **clean 4, clean 4, clean 2** (рис. 6). В появляющихся окнах редактирования (**Number of Passes**) введем значения **6-6-6**, каждый раз подтверждая ввод кнопкой **Modify**. Закроем **Wizard (OK)**.

**Рис. 6.** Мастер создания DO File (SPECCTRA, Router)

Нажмем **START** и пронаблюдаем за процессом. Полученная разводка МПП приведена на рис. 7 (некоторые элементы разводки удачнее будет вручную).



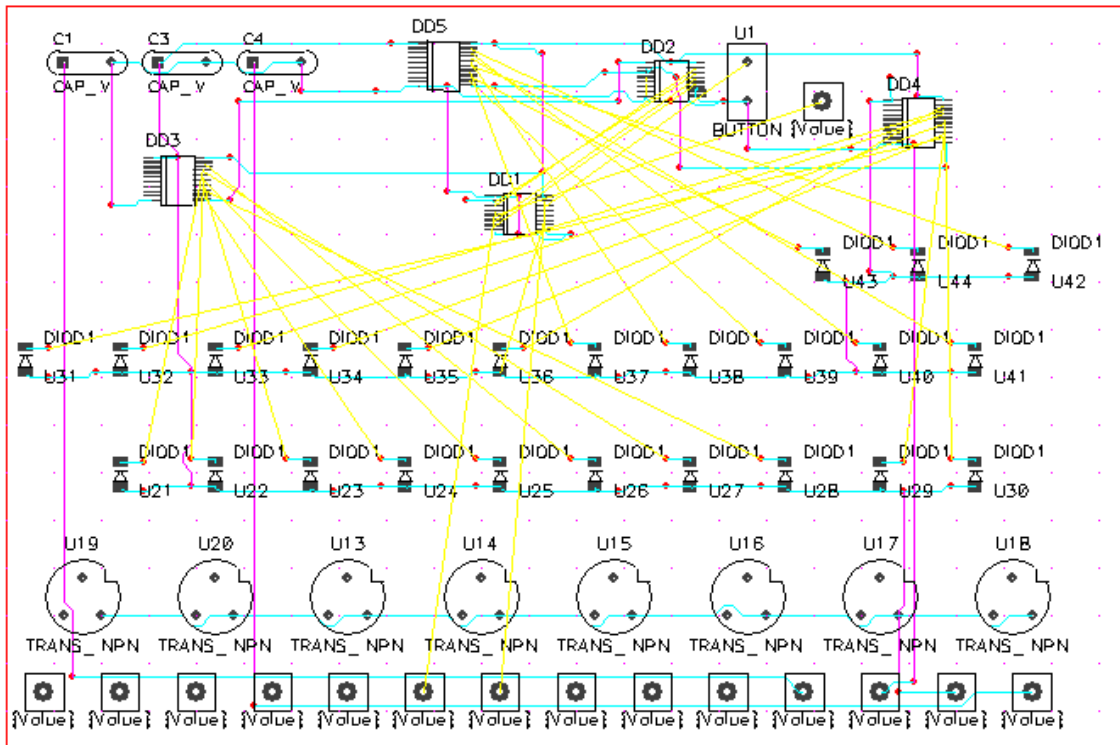
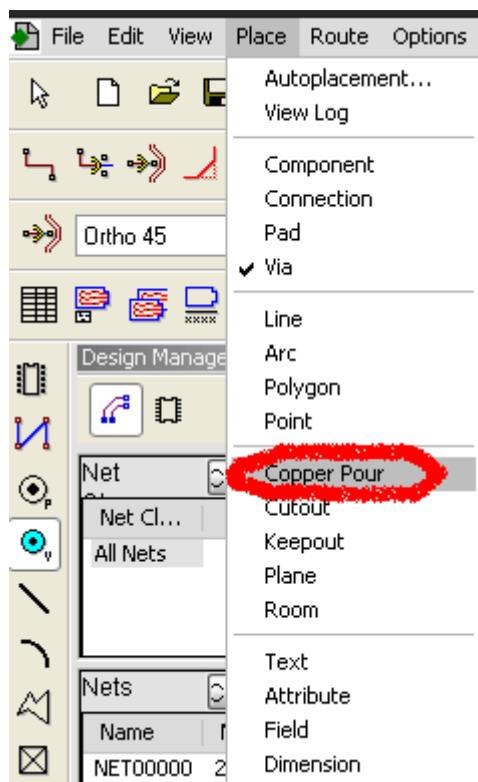


Рис. 7. Результат трассировки (SPECCTRA)

Следующий момент обычно учитывается при производстве печатных плат а la **pcb at home**: на МПП оставляют медное покрытие, соединенное с шиной земли. Это уменьшит наводки и придаст плате товарный вид. Для получения медной полосы воспользуемся кнопкой (командой) **Place Copper Pour**.

Включим активный слой **Top**. Выполним команду меню **Place/Copper Pour**:



Очертим многоугольник, нажимая кнопкой на вершинах (по контуру платы, отступая от него немного, иначе плата будет ограничена по выступающему полигону). Нажмём правую кнопку, чтобы завершить размещение. Выделим полигон, нажмём правую кнопку, пункт **Properties**. Установим значения: **Line width = 15 mil** или больше, в зависимости от площади полигона и насыщенности закрашиваемых участков; **Backoff = 20mil**, **Backoff smoothness = high**, **State = poured**. Включить **Save settings as default**. На вкладке **Connectivity** выберем **Net = GND**, **Thermals = 45°**. Нажмём **OK**. После этого повторим всю процедуру, переключив активный слой на **Bottom**. Результат (для слоя **Top**) приведен на рис. 8.

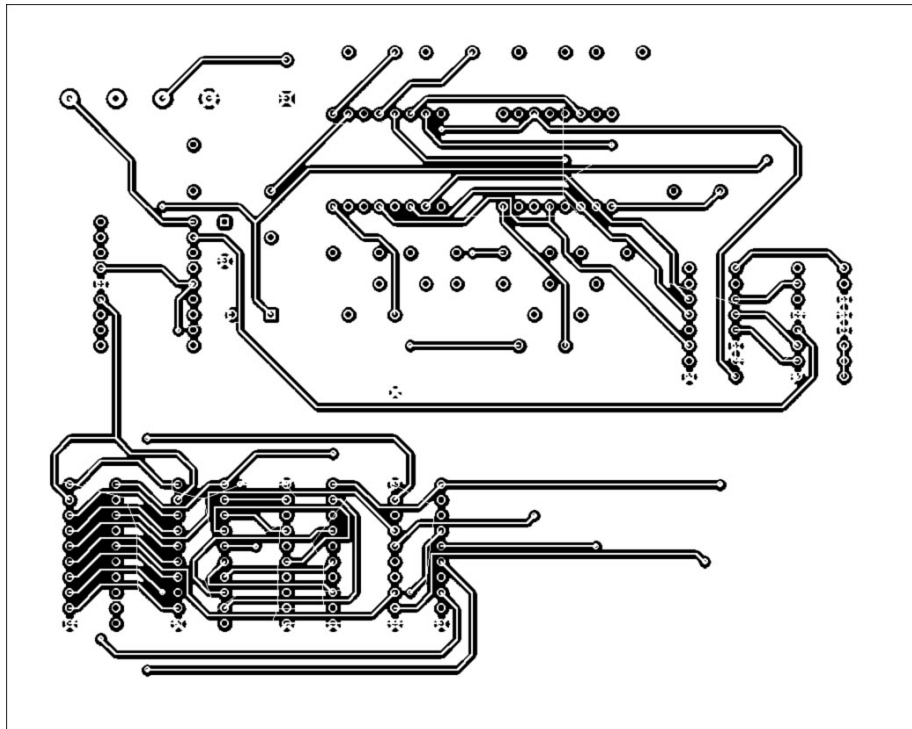
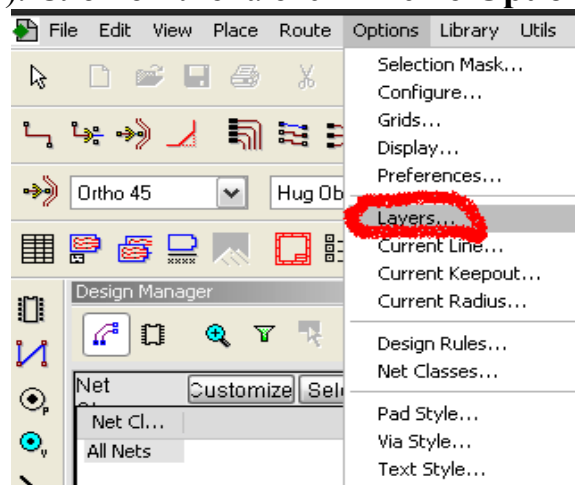


Рис. 8. МПП с медной заливкой (слой Top, инверсия цвета)

Окончательный этап – вывод разводки на печать. P-CAD 2006 располагает широкими возможностями оформления результатов, однако они в основном ориентированы на специализированные комплексы производства печатных плат. Так, P-CAD позволяет создавать файлы для плоттера и сверловки специализированных форматов. Для вывода на печать можно воспользоваться любой из программ, ориентированной на работу с векторной графикой. Такие программы не воспринимают собственный формат P-CAD, однако можно перевести чертеж в формат DXF (**File/DXF Export**), формат WMF (**Windows Metafile, Edit/Copy to File**).

Посмотрим каждый значащий слой чертежа по отдельности, отключая ненужные слои. Предварительно разомкнем медные полосы (**Unpoured** в свойствах полосы). Слои отключаются в меню **Options/Layers**:



Для того чтобы отключить текущий слой (**Top**), необходимо сначала выбрать другой слой в качестве текущего (двойное нажатие в меню слоев). Содержимое слоя можно скопировать в буфер **Clipboard**, вставив затем в любую программу работы с графикой (а также **Microsoft Word**) как битовую матрицу. Для этого необходимые объекты выделяются (**Edit/Select All** для выбора всех объектов) и копируются (**Edit/Copy**).

Необходимым дополнением к рисункам слоев МПП являются отчеты, поясняющие состав и особенности реализации платы. В P-CAD 2006 предусмотрена специальная функция создания отчетов, включаемая командой меню **File/Reports**.

Откроем окно указанной командой меню (рис. 9).

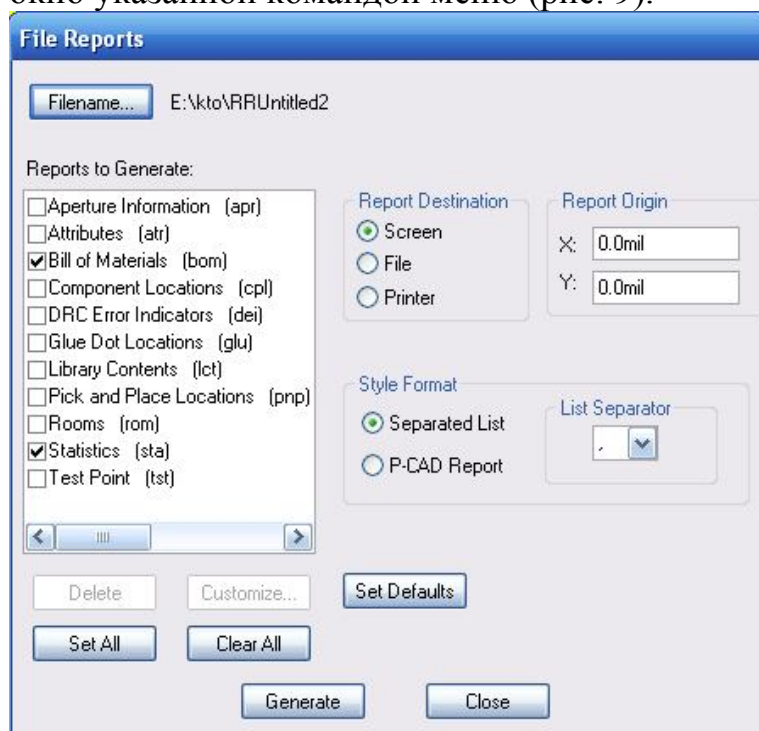


Рис. 9. Окно отчетов

Оставив настройки стиля и размещения отчета без изменений (**Style Format – Comma Separated, Report Destination – Screen**) выберем пункты **Bill of Materials, Statistic**. Нажатием кнопки **Generate** вызовем окна отчетов (**Notepad**). Окно **Bill of Materials** поясняет состав схемы, указывая тип каждого элемента. Это может оказаться удобным, когда в настройках изображения радиодеталей отключено отображение их типа. В окне статистики (**Statistic**) наибольший интерес представляет поле **Vias: X**, где **X** – количество переходных отверстий на схеме. По этому параметру часто оценивают качество произведенной трассировки.

### Вопросы к работе

1. За счет чего может снижаться плотность монтажа при использовании алгоритмов трассировки, основанных на использовании сеток?

2. В чем заключаются преимущества бессеточных (**Shape-Based**) алгоритмов трассировки, реализованных в пакете **SPECCTRA**, и в каких случаях они позволяют существенно снизить затраты памяти?

3. По каким характеристикам можно оценить качество технологичности изготовления МПП? Где задаются параметры трассировки для пакета **SPECCTRA** (ширина проводников, направление трасс в слоях и т.д.)?

4. Технология FST поддерживает:  
 контроль максимальной длины параллельных проводников, расположенных на одном и том же или смежных слоях;  
 контроль задержек распространения сигналов;  
 разводку дифференциальных проводников;  
 сглаживание прямых углов дугами;  
 введение экранирующих цепей.

С какой целью и для каких устройств разработана данная технология?

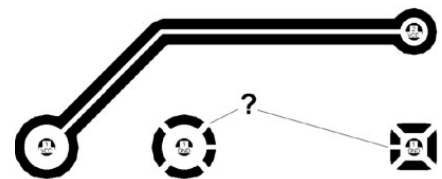
5. Каким образом указывается связь цепей питания и земли с соответствующими выводами радиодеталей в **Accel Schematic**?

6. Какие специфические действия необходимо произвести в **ACCEL PCB** для подготовки платы к авторазмещению в пакете **SPECCTRA**?

7. Термин **Capacitor** в системе **SPECCTRA** понимается как фильтрующий (блокировочный) конденсатор по цепям питания (**decoupling capacitor**). При размещении компонентов в автоматическом режиме система **SPECCTRA** стремится расположить его максимально близко к выводам питания компонента. Почему это необходимо?

8. Какую информацию, кроме конфигурации контактных площадок, существенную для программы трассировки, включает посадочная площадка элемента?

9. Почему при заливке платы медной полосой (**Copper Pour**) некоторые контактные площадки оказались соединены с ней перемычками (см. рис.)?



10. При трассировке цепей используются различные алгоритмы:

**Daisy-Chain** – правило трассировки типа «ромашка» («звезда»), при котором цепь имеет единственный вывод – источник и несколько выводов приемников, причем не разрешается T-образная разводка (**T-routing**);

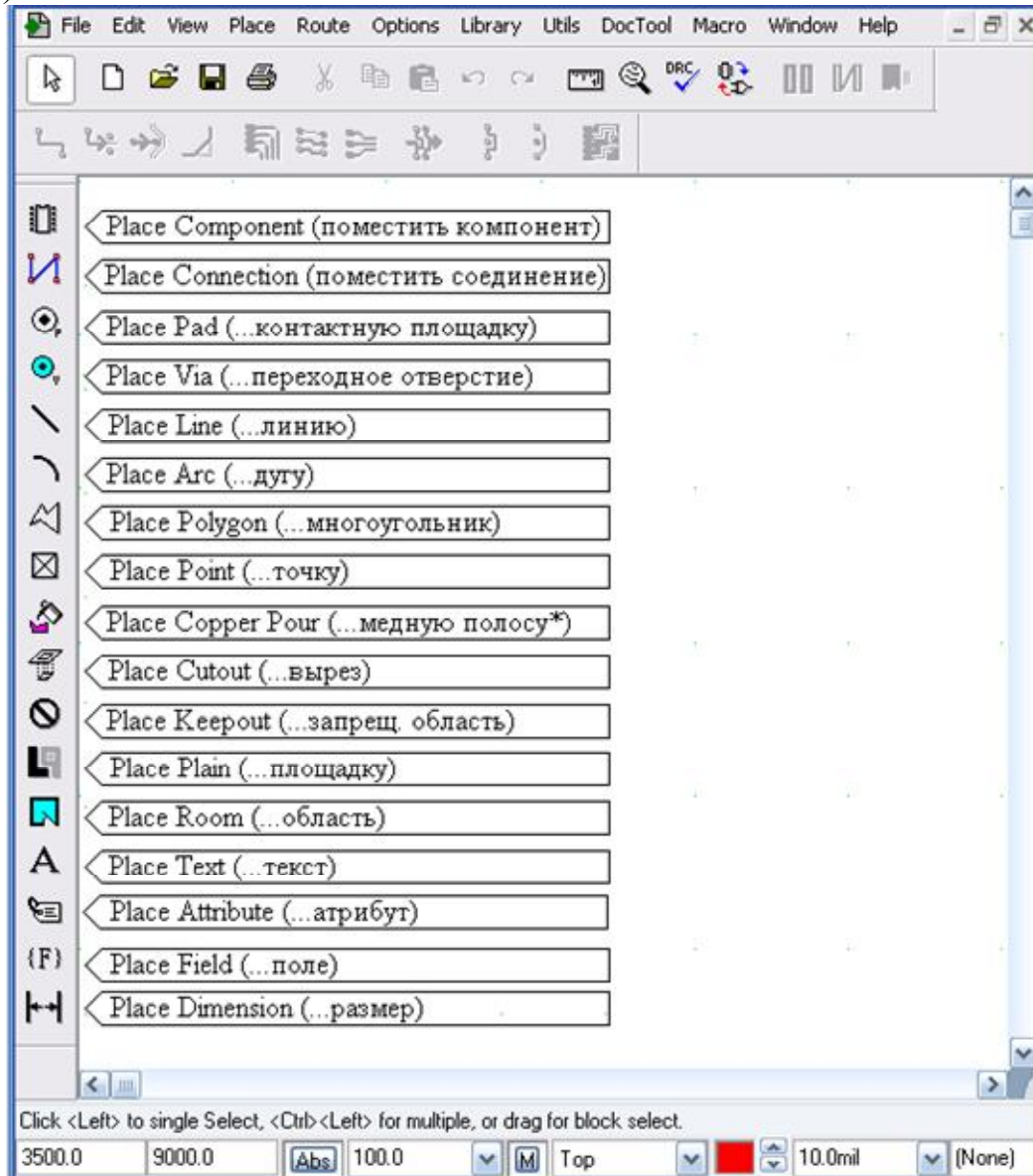
**Mid-driven daisy chain topology** – способ трассировки цепей, при котором источники (**Source**), соединенные в цепочку, находятся в центре цепи, а два приемника (**Terminator**) на ее концах;

**Starburst** – метод трассировки цепей, использующий трассировку в виде звезды для каждого вывода (термин системы **SPECCTRA** и т.д.).

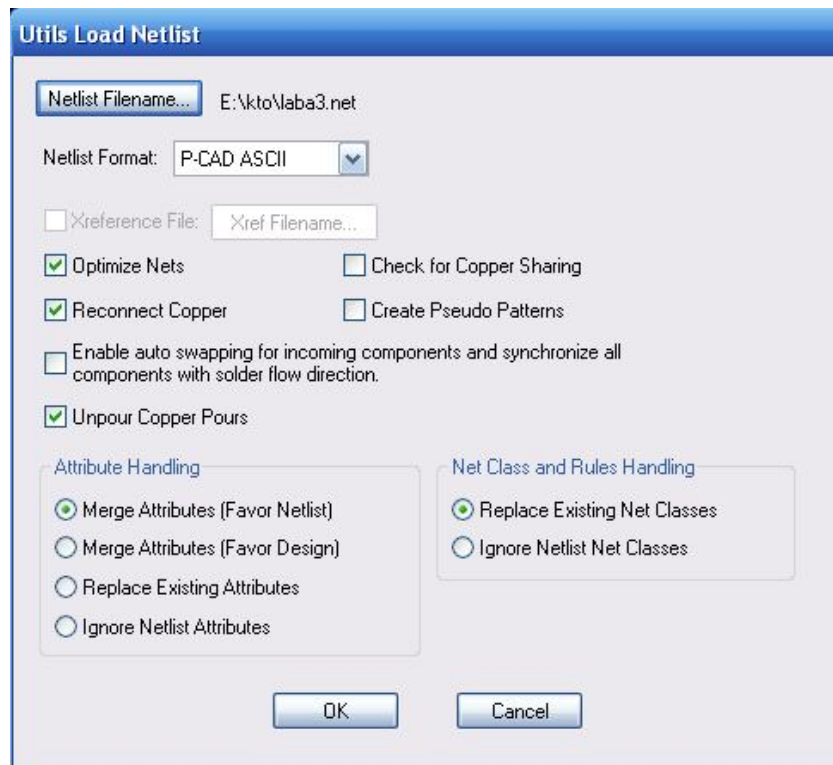
Какие возможны различия в качестве результатов реализаций этих алгоритмов?

### Выполнение

Запустим редактор P-CAD 2006 PCB (Пуск/Программы/P-CAD 2006 PCB):



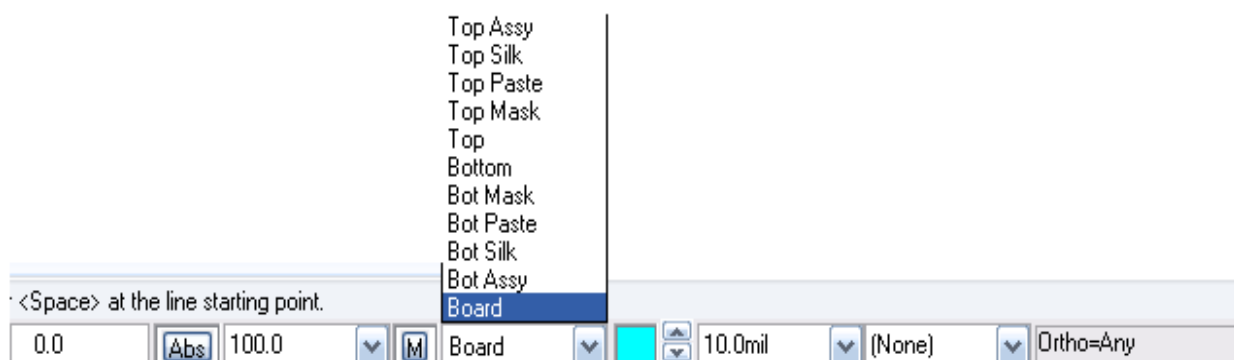
Выполним команду **Utils/Load Netlist**. В открывшемся окне укажем путь к файлу (создан в работе 3) соединений:



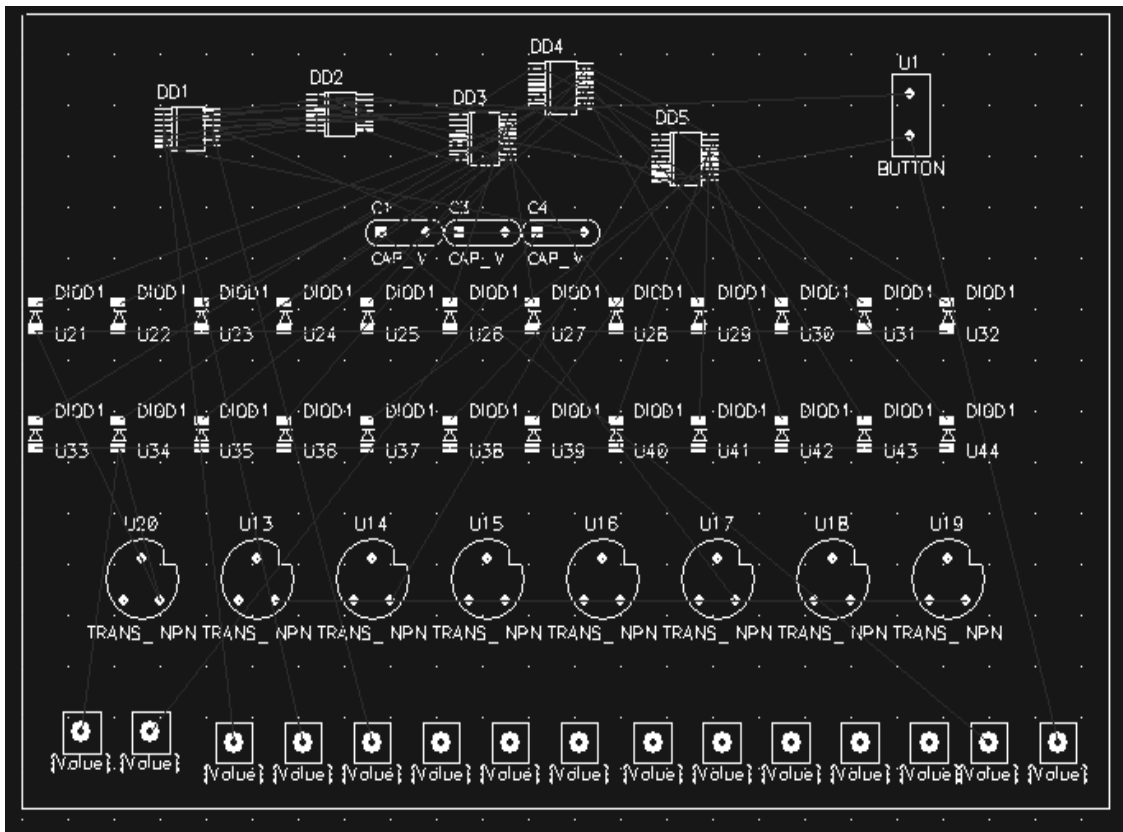
**ВАЖНО!** Не создавайте файл в той директории, к которой путь не содержит русских букв, например если у вас файл находится в `c:/Pcad/Лабораторные...`, то дальше могут возникнуть ошибки, поэтому скопируйте файлы в папку с директорией без русских букв!

Например, `C:/pcad/kto/laba3.net`

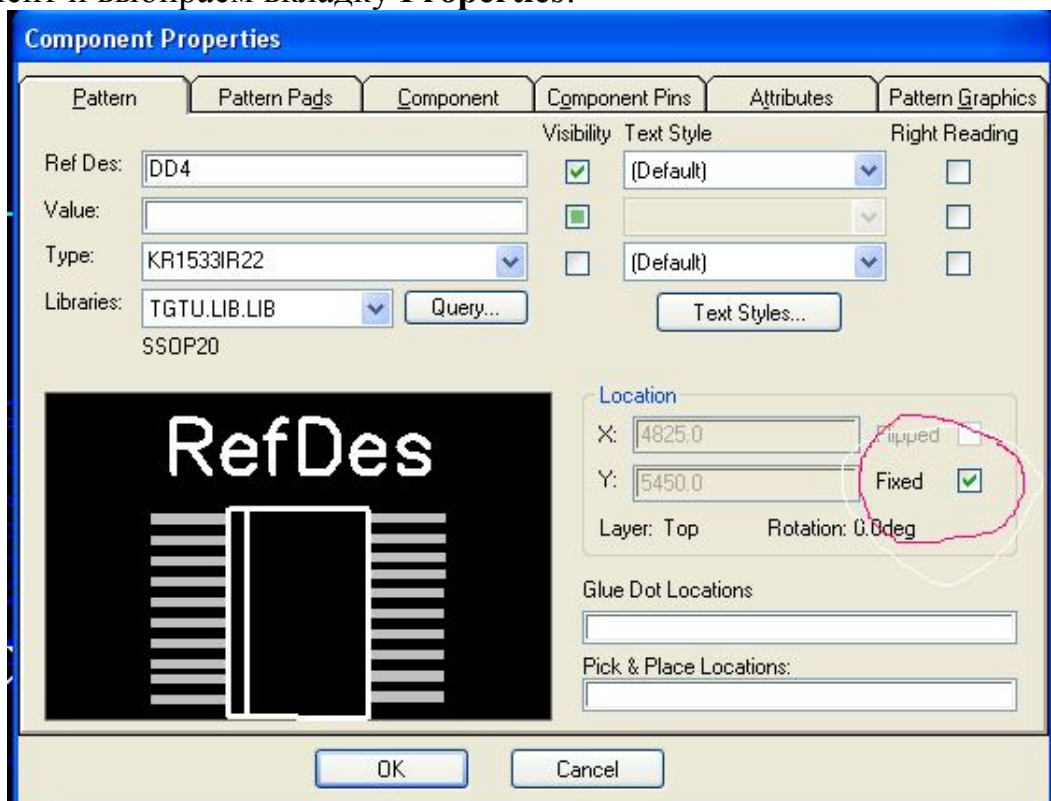
Переходим на слой **Board**, для этого на нижней панели нажимаем на вкладку **Слой**, с текущего слоя **Top**:



Затем выбираем инструмент **Place/Line**, и в слое **Board** построим контур, закончим построение правой кнопкой мыши, нарисуем прямоугольник по периметру схемы:



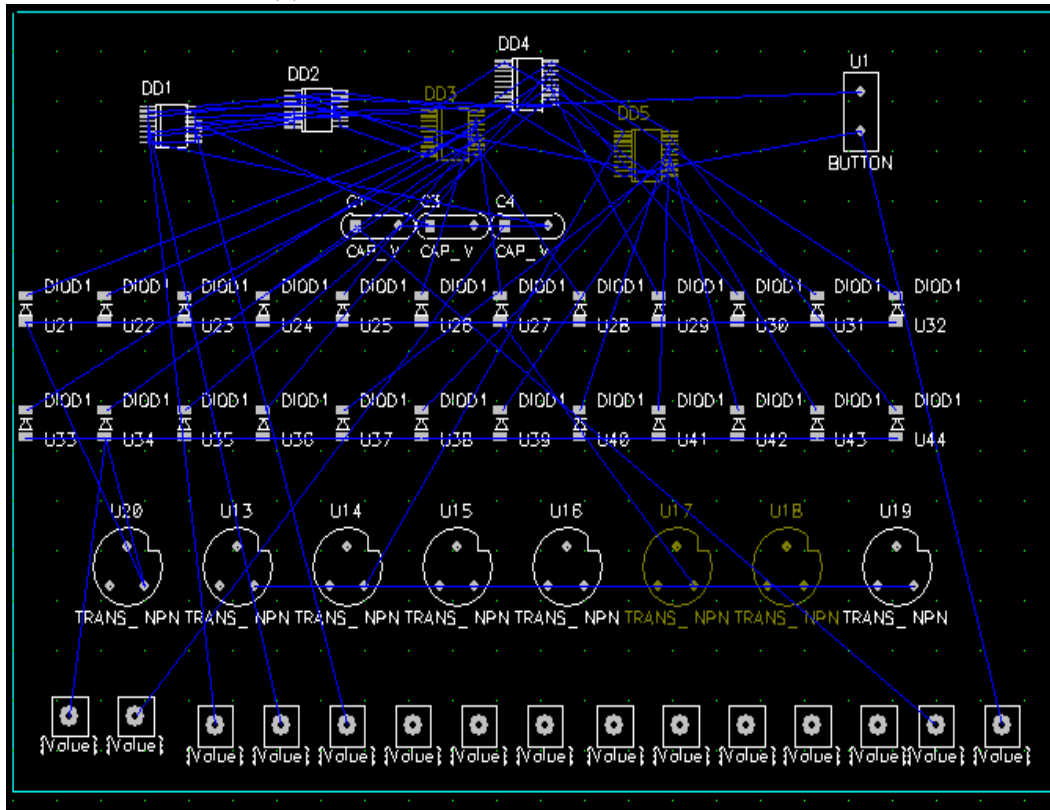
Следующим шагом в работе будет закрепление элементов по заданию, например элементы матрицы **TC2311\_SRWA** и элемент **STRELKA**, для этого выделяем каждый элемент, нажимаем правой кнопкой мыши на этот элемент и выбираем вкладку **Properties**:





Ставим галочку **Fixed**, для того чтобы элемент закрепился на монтажной области, и проделываем эту операцию со всеми заданными элементами в задании.

Все элементы выделены:



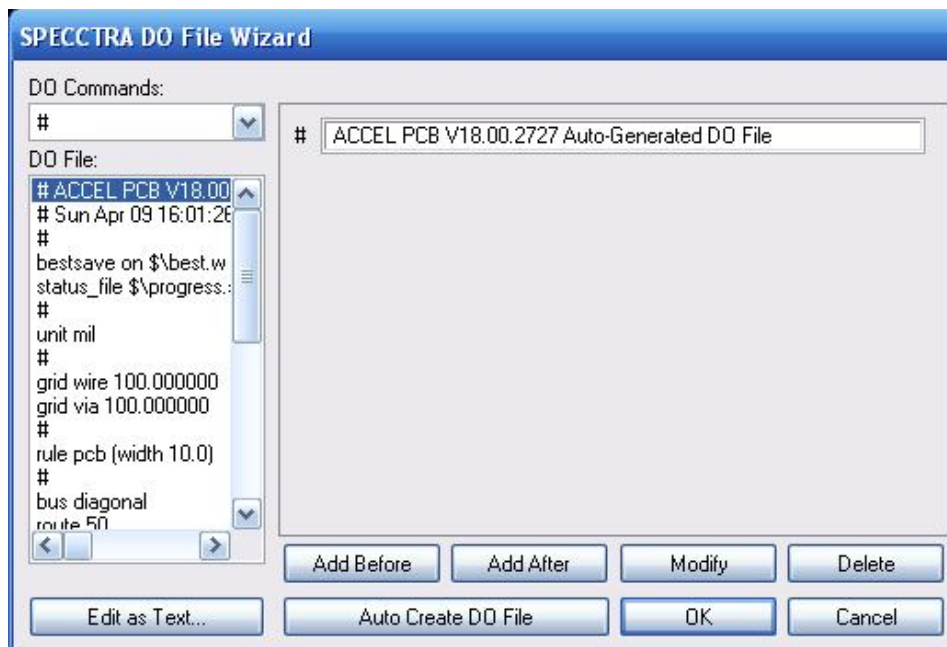
Они оливкового цвета. Выделяем все элементы внутри выделенной области (голубой рамки) и перетаскиваем их в сторону из выделенной области, при этом закреплённые элементы останутся неизменными, главное, при выделении не зацепить рамку, а то она переместится вместе с остальными элементами, перемещаем элементы.

После этого нажимаем **Route Autorouters** в появившемся окне:

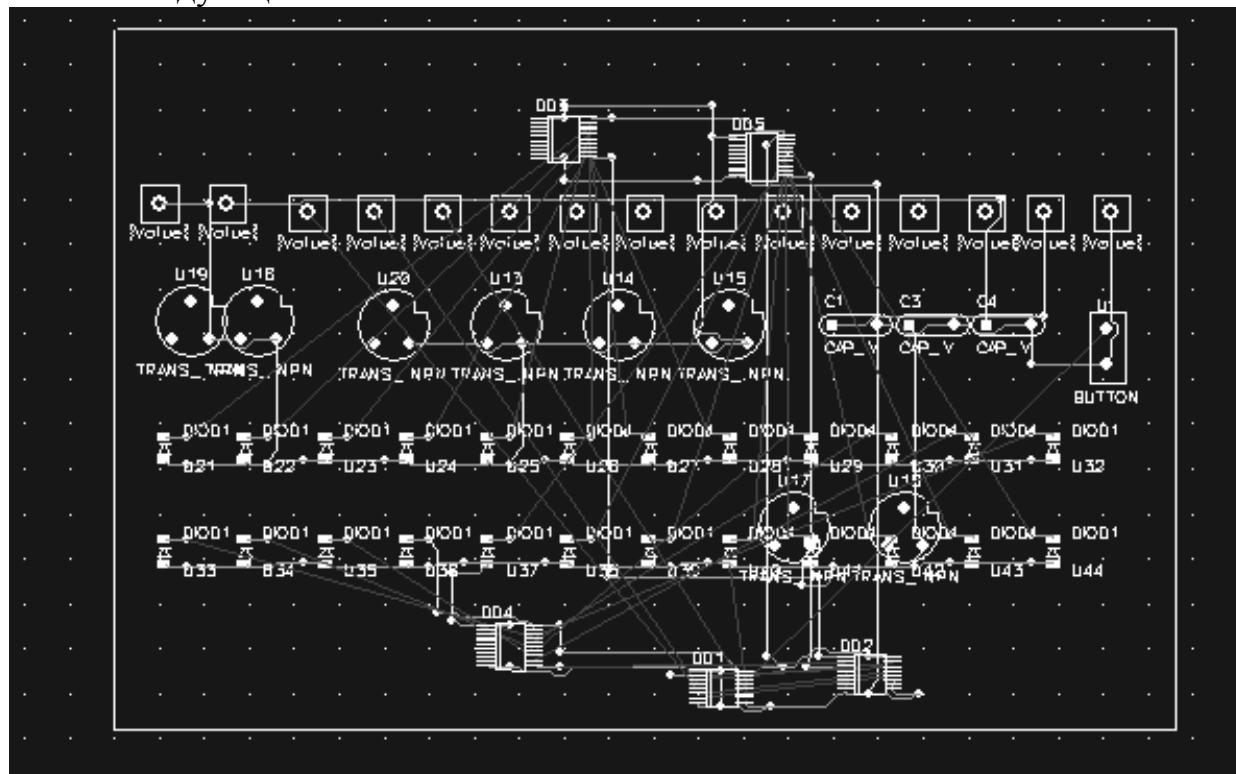


В поле **Autorouter** указываем **SPECCTRA**, кнопками **DO File**, **Output PCB File**, **Output Log File** создаем файлы с названиями **laba4** или другими по вашему вкусу.

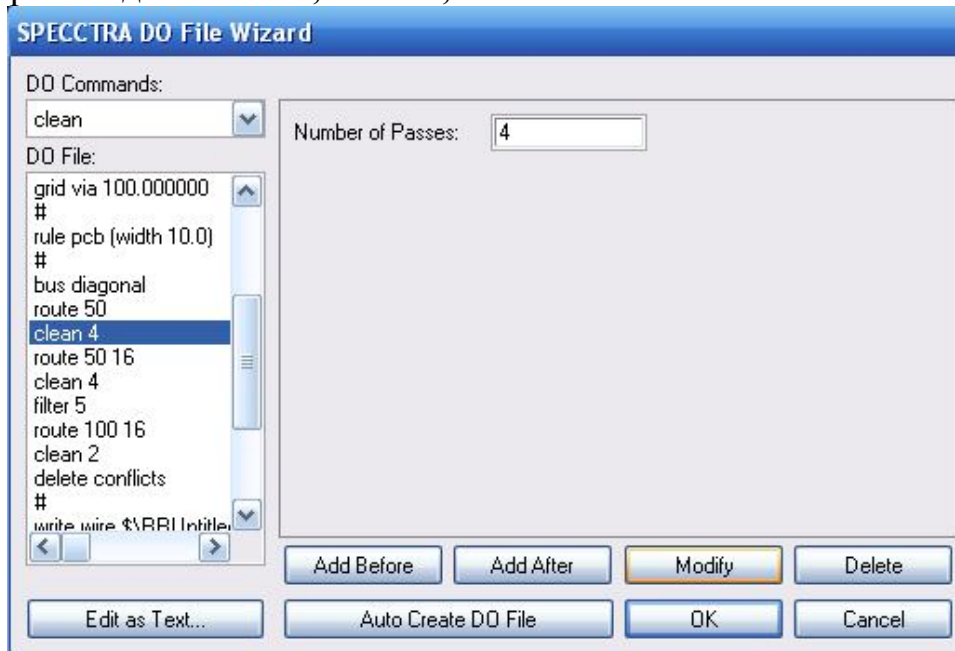
Затем нажимаем на кнопку **DO Wizard** и на кнопку **Auto Create DO File**:



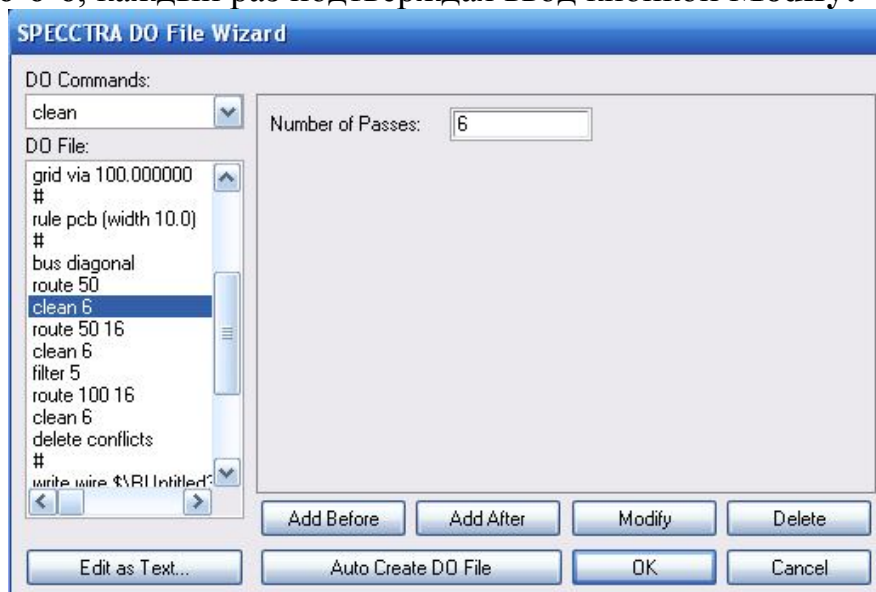
Нажмём **OK** и **Start**. Если появится сообщение, нажимаем **YES**. В появившемся окне сохраняем файл, нажав кнопку **Сохранить**. Запустится **SPECCTRA**, а потом закроется автоматически. В результате должно получиться следующее:



Итак, печатная плата полностью подготовлена к трассировке. Осуществим ее, воспользовавшись, опять же, пакетом **SPECCTRA**. Для этого вызовем окно **Route Autorouters**. В поле **Autorouter** укажем **SPECCTRA**. Затем воспользуемся **DO Wizard** аналогично помощнику для авторазмещения. После нажатия **Auto Create DO File** в окне **SPECCTRA DO File Wizard** внесем изменения в стратегию трассировки, увеличив количество проходов с целью повышения качества разводки. Выделим команды **DO File**, указывающие количество проходов алгоритмов трассировки на каждой из трех стадий: **clean 4, clean 4, clean 2**:

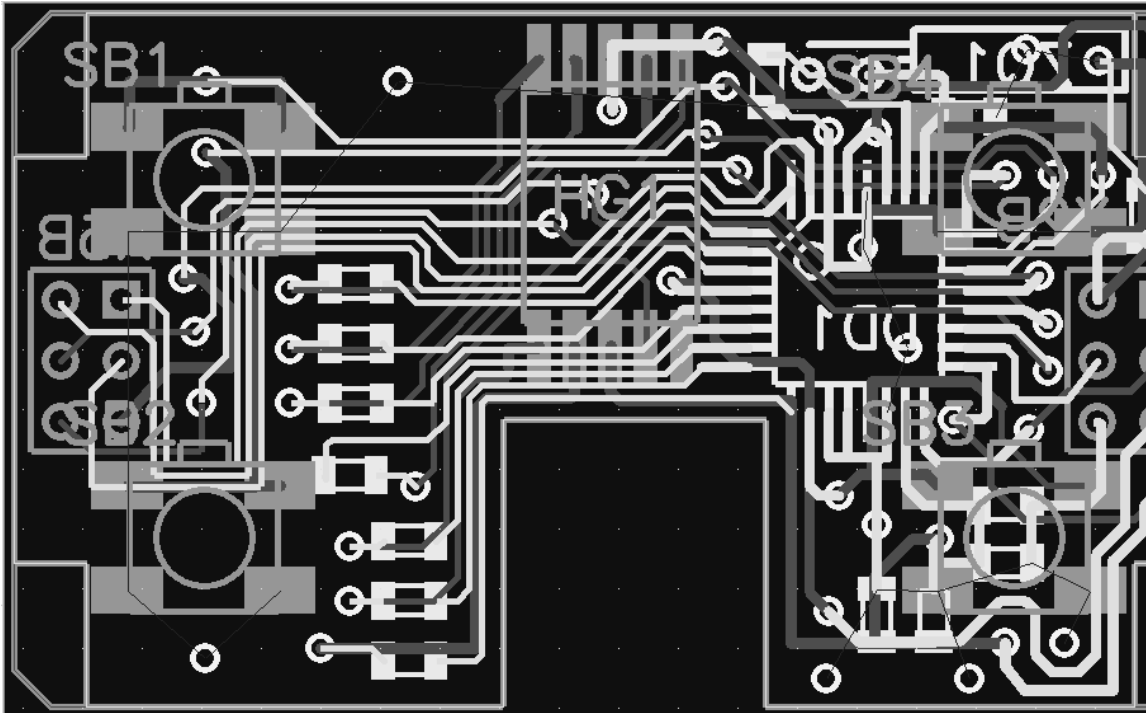


В появляющихся окнах редактирования (**Number of Passes**) введем значения **6-6-6**, каждый раз подтверждая ввод кнопкой **Modify**:

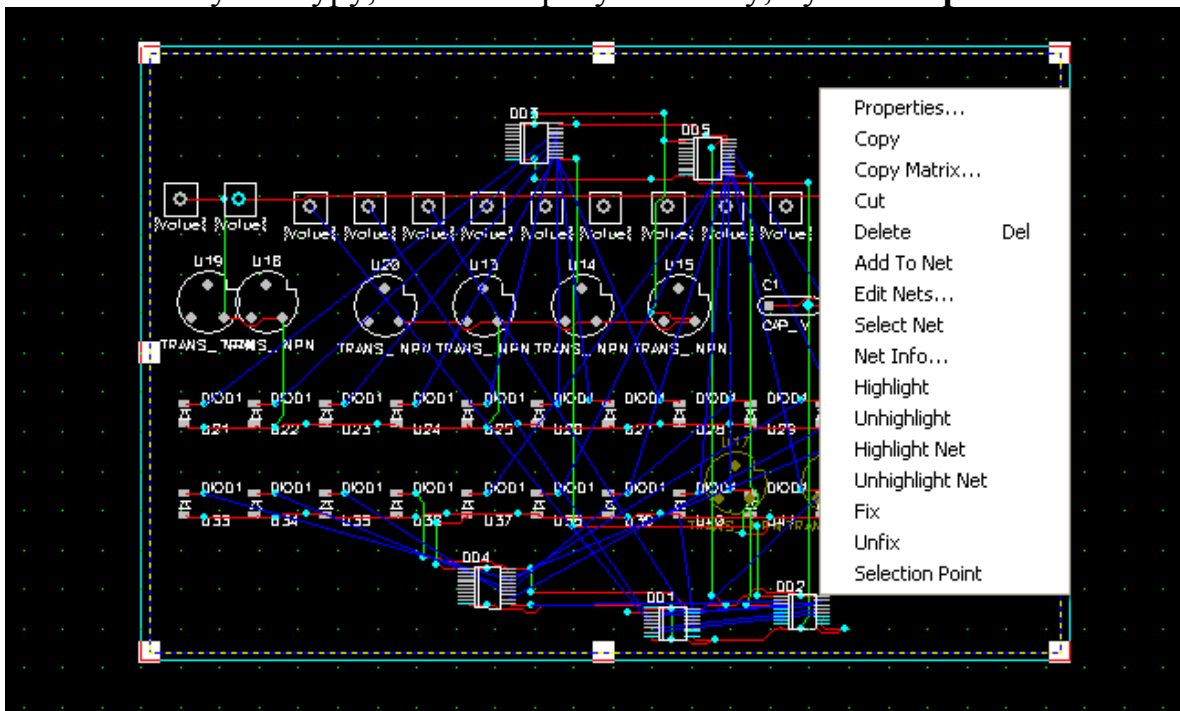


Закроем **Wizard (OK)**.

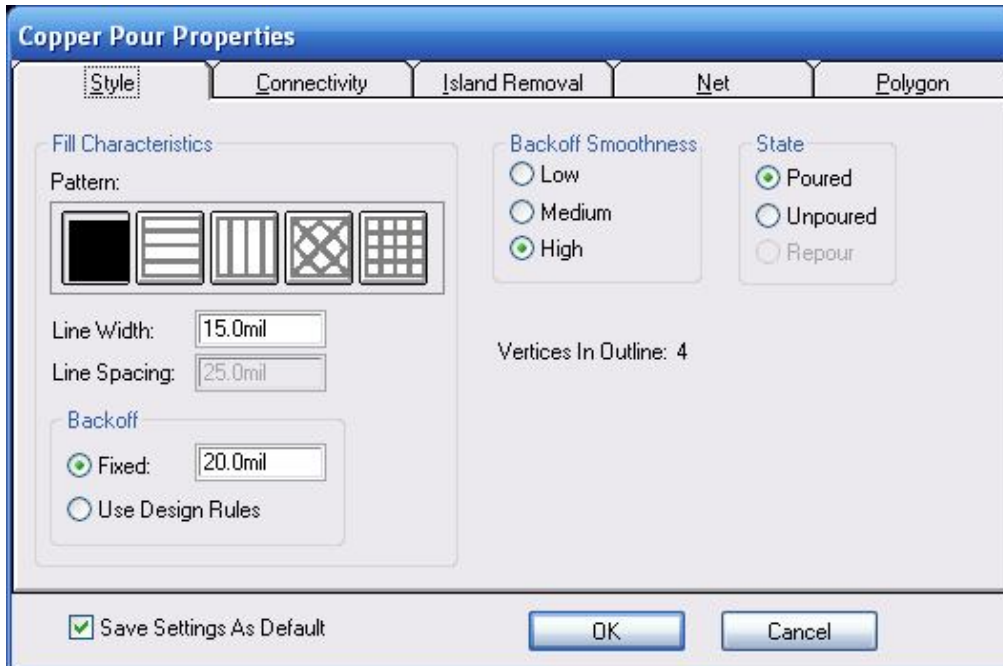
Нажимаем **Start**:



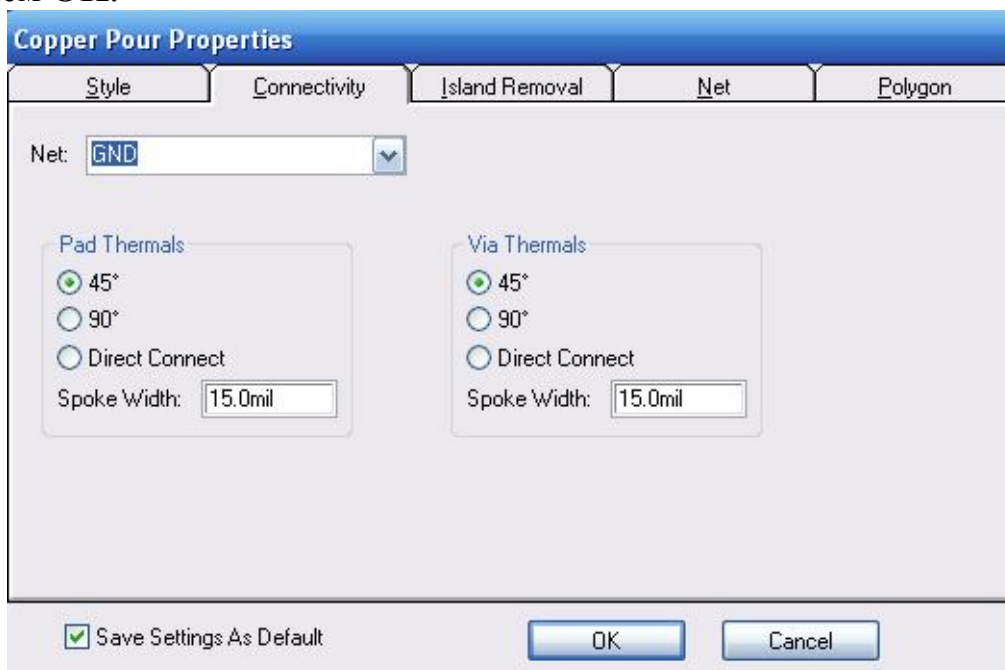
Включим активный слой **Top**. Выполним команду меню **Place/Copper Pour**. Затем очертим многоугольник, нажимая кнопкой на вершинах (по контуру платы, отступая от него немного, иначе плата будет ограничена по выступающему полигону). Нажмём правую кнопку, чтобы завершить размещение. Выделим полигон, который нарисовали при помощи **Place/Copper Pour**, выделяем его, щелкая по нему 2 раза, тогда он выделится по всему контуру, нажмём правую кнопку, пункт **Properties**:



Появится окно:

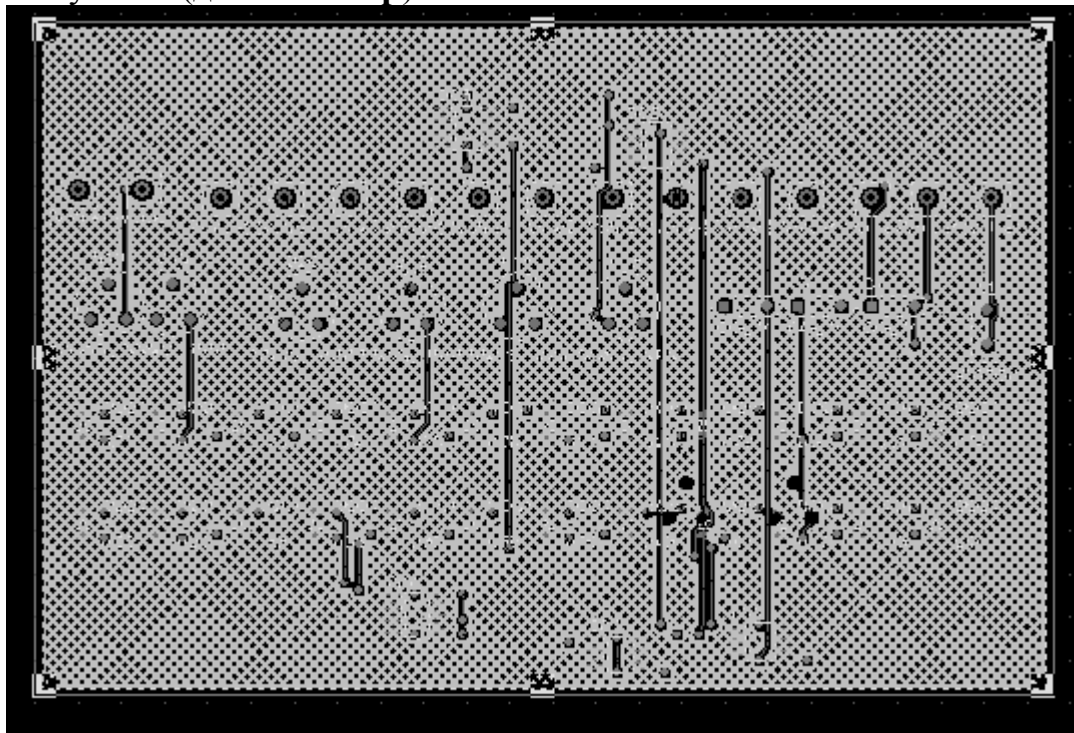


Установим значения: **Line width = 15 mil** или больше в зависимости от площади полигона и насыщенности закрашиваемых участков; **Backoff = 20mil**; **Backoff smoothness = high**; **State = poured**. Включить **Save settings as default**. На вкладке **Connectivity** выберем **Net = GND**, **Thermals = 45°**. Нажмём **OK**:



После этого повторим всю процедуру, переключив активный слой на **Bottom**.

Результат (для слоя **Top**):



Необходимым дополнением к рисункам слоев МПП являются отчеты, поясняющие состав и особенности реализации платы. В P-CAD 2006 предусмотрена специальная функция создания отчетов, включаемая командой меню **File/Reports**.

Откроем окно указанной командой меню (рис. 9).

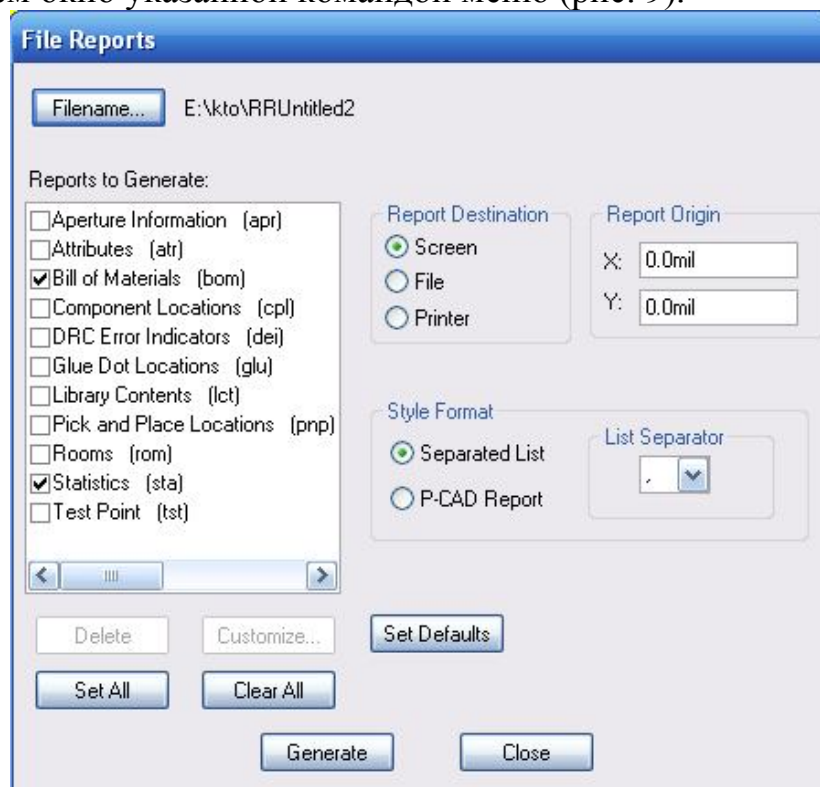


Рис. 9. Окно отчетов

Оставив настройки стиля и размещения отчета без изменений (**Style Format – Comma Separated, Report Destination – Screen**) выберем пункты **Bill of Materials, Statistic**. Нажатием кнопки **Generate** вызовем окна отчетов (Notepad). Окно **Bill of Materials** поясняет состав схемы, указывая тип каждого элемента. Это может оказаться удобным, когда в настройках изображения радиодеталей отключено отображение их типа. В окне статистики (**Statistic**) наибольший интерес представляет поле **Vias: X**, где **X** – количество переходных отверстий на схеме. По этому параметру часто оценивают качество произведенной трассировки.

## Варианты заданий к лабораторной работе №5

### Вариант 1

#### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **Lab4\_Var1.net**.

Список закрепленных (**fixed**) компонентов:

внешние выводы (компонент **STRELKA**);

светодиоды (**LED**).

При трассировке получены характеристики (**Отчет – Статистика, Report – Statistic**):

1. "Components:27" (27 компонентов).

2. "Pads:"149" (149 контактных площадок).

3. "Vias:"4" (4 переходных отверстия).

4. "Nets:"41" (41 цепь). Данная характеристика как показатель качества трассировки не должна превышать указанной.

В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top, Bottom** и **Top Silk**.

#### Вопросы к работе

1. При трассировке цепей используются различные алгоритмы:

**Daisy –Chain** – правило трассировки типа «ромашка» («звезда»), при котором цепь имеет единственный вывод – источник и несколько выводов приемников, причем не разрешается Т-образная разводка (**T-routing**);

**Mid-driven daisy chain topology** – способ трассировки цепей, при котором источники (**Source**), соединенные в цепочку, находятся в центре цепи, а два приемника (**Terminator**) – на ее концах;

**Starburst** – метод трассировки цепей, использующий трассировку в виде звезды для каждого вывода (термин системы SPECCTRA и т.д.).

Какие возможны различия в качестве результатов реализаций этих алгоритмов?

2. Каким образом указывается связь цепей питания и земли с соответствующими выводами радиодеталей в P-CAD 2006 Schematic?

3. Термин **Capacitor** в системе SPECCTRA понимается как фильтрующий (блокировочный) конденсатор по цепям питания (**decoupling capacitor**). При размещении компонентов в автоматическом режиме система SPECCTRA стремится расположить его максимально близко к выводам питания компонента. Почему это необходимо?

## Вариант 2

### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **Lab4\_Var2.net**.

Список закрепленных (**fixed**) компонентов:  
внешние выводы (компонент **STRELKA**);  
светодиоды (**LED**).

При трассировке получены характеристики (**Отчет – Статистика, Report – Statistic**):

1. "Components:20" (20 компонентов).
2. "Pads:"141" (141 контактная площадка).
3. "Vias:"6" (6 переходных отверстий).
4. "Nets:"44" (44 цепи). Данная характеристика как показатель качества трассировки не должна превышать указанной.

В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top**, **Bottom** и **Top Silk**.

### Вопросы к работе

1. Какие специфические действия необходимо произвести в P-CAD 2006 PCB для подготовки платы к авторазмещению в пакете SPECCTRA?

2. По каким характеристикам можно оценить качество технологичности изготовления МПП? Где задаются параметры трассировки для пакета SPECCTRA (ширина проводников, направление трасс в слоях и т.д.)?

3. Технология FST поддерживает:  
контроль максимальной длины параллельных проводников, расположенных на одном и том же или смежных слоях;  
контроль задержек распространения сигналов;  
разводку дифференциальных проводников;  
сглаживание прямых углов дугами;  
введение экранирующих цепей.

С какой целью и для каких устройств разработана данная технология?



### Вариант 3

#### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **Lab4\_Var3.net**.

Список закрепленных (**fixed**) компонентов:  
внешние выводы (компонент **STRELKA**);  
светодиодные матрицы (**TC23-11SRWA**).

При трассировке получены характеристики (**Отчет – Статистика, Report – Statistic**):

1. "Components:17" (17 компонентов).
2. "Pads:"145" (145 контактных площадок).
3. "Vias:"15" (15 переходных отверстий).
4. "Nets:"44" (44 цепи). Данная характеристика как показатель качества трассировки не должна превышать указанной.

В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top**, **Bottom** и **Top Silk**.

#### Вопросы к работе

1. Термин **Capacitor** в системе SPECCTRA понимается как фильтрующий (блокировочный) конденсатор по цепям питания (**decoupling capacitor**). При размещении компонентов в автоматическом режиме система SPECCTRA стремится расположить его максимально близко к выводам питания компонента. Почему это необходимо?

2. Каким образом указывается связь цепей питания и земли с соответствующими выводами радиодеталей в P-CAD 2006 Schematic?

3. В чем заключаются преимущества бессеточных (**Shape-Based**) алгоритмов трассировки, реализованных в пакете SPECCTRA. В каких случаях они позволяют существенно снизить затраты памяти?

### Вариант 4

#### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **Lab4\_Var4.net**.

Список закрепленных (**fixed**) компонентов:  
внешние выводы (компонент **STRELKA**);  
кнопка (**BUTTON**).

При трассировке получены характеристики (**Отчет - Статистика, Report – Statistic**):

1. "Components:52" (52 компонента).

2. "Pads:"181" (181 контактная площадка).
3. "Vias:"12" (12 переходных отверстий).
4. "Nets:"55" (55 цепей). Данная характеристика как показатель качества трассировки не должна превышать указанной.

В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top**, **Bottom** и **Top Silk**.

### Вопросы к работе

1. В чем заключаются преимущества бессеточных (**Shape-Based**) алгоритмов трассировки, реализованных в пакете SPECCTRA? В каких случаях они позволяют существенно снизить затраты памяти?
2. Какую информацию, кроме конфигурации контактных площадок, существенную для программы трассировки, включает посадочная площадка элемента?
3. За счет чего может снижаться плотность монтажа при использовании алгоритмов трассировки, основанных на использовании сеток?

## Вариант 5

### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **Lab4\_Var5.net**.

Закрепленный (**fixed**) компонент:

внешние выводы (компонент **STRELKA**).

При трассировке получены характеристики (**Отчет - Статистика, Report – Statistic**):

1. "Components:20" (20 компонентов).
2. "Pads:"122" (122 контактные площадки).
3. "Vias:"15" (15 переходных отверстий).
4. "Nets:"39" (39 цепей). Данная характеристика как показатель качества трассировки не должна превышать указанной.

В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top**, **Bottom** и **Top Silk**.

### Вопросы к работе

1. По каким характеристикам можно оценить качество технологичности изготовления МПП? Где задаются параметры трассировки для пакета SPECCTRA (ширина проводников, направление трасс в слоях и т.д.)?
2. Технология FST поддерживает:
  - контроль максимальной длины параллельных проводников, расположенных на одном и том же или смежных слоях;

контроль задержек распространения сигналов;  
 разводку дифференциальных проводников;  
 сглаживание прямых углов дугами;  
 введение экранирующих цепей.

С какой целью и для каких устройств разработана данная технология?

3. При трассировке цепей используются различные алгоритмы:

**Daisy-Chain** – правило трассировки типа «ромашка» («звезда»), при котором цепь имеет единственный вывод – источник и несколько выводов приемников, причем не разрешается T-образная разводка (**T-routing**);

**Mid-driven daisy chain topology** – способ трассировки цепей, при котором источники (Source), соединенные в цепочку, находятся в центре цепи, а два приемника (Terminator) – на ее концах;

**Starburst** – метод трассировки цепей, использующий трассировку в виде звезды для каждого вывода (термин системы SPECCTRA и т.д.).

Какие возможны различия в качестве результатов реализаций этих алгоритмов?

## Вариант 6

### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **Lab4\_Var6.net**.

Список закрепленных (**fixed**) компонентов:  
 внешние выводы (компонент **STRELKA**);  
 светодиоды (**LED**).

При трассировке получены характеристики (**Отчет – Статистика, Report – Statistic**):

1. "Components:27" (27 компонентов).
2. "Pads:"149" (149 контактных площадок).
3. "Vias:"4" (4 переходных отверстия).
4. "Nets:"41" (41 цепь). Данная характеристика как показатель качества трассировки не должна превышать указанной.

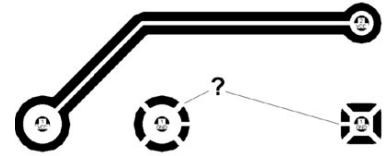
В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top**, **Bottom** и **Top Silk**.

### Вопросы к работе

1. Технология FST поддерживает:  
 контроль максимальной длины параллельных проводников, расположенных на одном и том же или смежных слоях;  
 контроль задержек распространения сигналов;  
 разводку дифференциальных проводников;  
 сглаживание прямых углов дугами;  
 введение экранирующих цепей.

С какой целью и для каких устройств разработана данная технология?

2. Почему при заливке платы медной полосой (**Copper Pour**) некоторые контактные площадки оказались соединены с ней перемычками (см. рис.)?



3. Термин **Capacitor** в системе SPECCTRA понимается как фильтрующий (блокировочный) конденсатор по цепям питания (**decoupling capacitor**). При размещении компонентов в автоматическом режиме система SPECCTRA стремится расположить его максимально близко к выводам питания компонента. Почему это необходимо?

### Вариант 7

#### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **lab4\_var7.net**.

Список закрепленных (**fixed**) компонентов:  
внешние выводы (компонент **STRELKA**);  
светодиоды (**LED**).

При трассировке получены характеристики (**Отчет – Статистика, Report – Statistic**):

1. "Components:20" (20 компонентов).
2. "Pads:"141" (141 контактная площадка).
3. "Vias:"6" (6 переходных отверстий).
4. "Nets:"44" (44 цепи). Рассматривая четвертую характеристику как показатель качества трассировки, необходимо добиться того, чтобы она не превышала указанной.

В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top**, **Bottom** и **Top Silk**.

#### Вопросы к работе

1. Какие специфические действия необходимо произвести в P-CAD 2006 PCB для подготовки платы к авторазмещению в пакете SPECCTRA?

2. В чем заключаются преимущества бессеточных (**Shape-Based**) алгоритмов трассировки, реализованных в пакете SPECCTRA, и в каких случаях они позволяют существенно снизить затраты памяти?

3. За счет чего может снижаться плотность монтажа при использовании алгоритмов трассировки, основанных на использовании сеток?

## Вариант 8

### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **lab4\_var8.net**.

Список закрепленных (**fixed**) компонентов:  
внешние выводы (компонент **STRELKA**);  
светодиодные матрицы (**TC23-11SRWA**).

При трассировке получены характеристики (**Отчет – Статистика, Report – Statistic**):

1. "Components:17" (17 компонентов).
2. "Pads:"145" (145 контактных площадок).
3. "Vias:"15" (15 переходных отверстий).
4. "Nets:"44" (44 цепи). Рассматривая четвертую характеристику как

показатель качества трассировки, необходимо добиться того, чтобы она не превышала указанной.

В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top**, **Bottom** и **Top Silk**.

### Вопросы к работе

1. Какую информацию, кроме конфигурации контактных площадок, существенную для программы трассировки, включает посадочная площадка элемента?

2. По каким характеристикам можно оценить качество технологичности изготовления МПП? Где задаются параметры трассировки для пакета SPECCTRA (ширина проводников, направление трасс в слоях и т.д.)?

3. Технология FST поддерживает:

контроль максимальной длины параллельных проводников, расположенных на одном и том же или смежных слоях;  
контроль задержек распространения сигналов;  
разводку дифференциальных проводников;  
сглаживание прямых углов дугами;  
введение экранирующих цепей.

С какой целью и для каких устройств разработана данная технология?

## Вариант 9

### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **lab4\_var9.net**.

Список закрепленных (**fixed**) компонентов:

внешние выводы (компонент **STRELKA**);  
кнопка (**BUTTON**).

При трассировке получены характеристики (**Отчет – Статистика, Report – Statistic**):

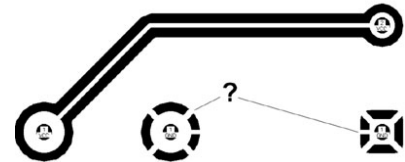
1. "Components:52" (52 компонента).
2. "Pads:"181" (181 контактная площадка).
3. "Vias:"12" (12 переходных отверстий).

4. "Nets:"55" (55 цепей). Рассматривая четвертую характеристику как показатель качества трассировки, необходимо добиться того, чтобы она не превышала указанной.

В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top**, **Bottom** и **Top Silk**.

### Вопросы к работе

1. Почему при заливке платы медной полосой (**Copper Pour**) некоторые контактные площадки оказались соединены с ней перемычками (см. рис.)?



2. При трассировке цепей используются различные алгоритмы:

**Daisy-Chain** – правило трассировки типа «ромашка» («звезда»), при котором цепь имеет единственный вывод – источник и несколько выводов приемников, причем не разрешается T-образная разводка (**T-routing**);

**Mid-driven daisy chain topology** – способ трассировки цепей, при котором источники (Source), соединенные в цепочку, находятся в центре цепи, а два приемника (Terminator) – на ее концах;

**Starburst** – метод трассировки цепей, использующий трассировку в виде звезды для каждого вывода (термин системы SPECCTRA и т.д.).

Какие возможны различия в качестве результатов реализаций этих алгоритмов?

3. Какие специфические действия необходимо произвести в P-CAD 2006 PCB для подготовки платы к авторазмещению в пакете SPECCTRA?

## Вариант 10

### Задание

Произвести трассировку МПП, воспользовавшись списком соединений, содержащимся в файле **lab4\_var10.net**.

Закрепленный (**fixed**) компонент:

внешние выводы (компонент **STRELKA**).

При трассировке получены следующие характеристики (**Отчет – Статистика, Report – Statistic**):

1. "Components:20" (20 компонентов).
2. "Pads:"122" (122 контактные площадки).
3. "Vias:"15" (15 переходных отверстий).
4. "Nets:"39" (39 цепей). Рассматривая четвертую характеристику как показатель качества трассировки, необходимо добиться того, чтобы она не превышала указанной.

В качестве результатов трассировки привести экспортированные (копированием в буфер обмена) в графический формат слои **Top**, **Bottom** и **Top Silk**.

### Вопросы к работе

1. По каким характеристикам можно оценить качество технологичности изготовления МПП? Где задаются параметры трассировки для пакета SPECCTRA (ширина проводников, направление трасс в слоях и т.д.)?
2. В чем заключаются преимущества бессеточных (**Shape-Based**) алгоритмов трассировки, реализованных в пакете SPECCTRA, и в каких случаях они позволяют существенно снизить затраты памяти?
3. Какую информацию, кроме конфигурации контактных площадок, существенную для программы трассировки, включает посадочная площадка элемента?

### Библиографический список

1. Овчинников, В.А. Проектирование печатных плат : учебное пособие / В.А. Овчинников, А.Н. Васильев, В.В. Лебедев. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2005.
2. Пирогова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат : учебник / Е.В. Пирогова. М.: Форум, Инфра-М, 2005.
3. Алексеев, О.В. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств / О.В. Алексеев. М.: Высшая школа, 2001.
4. Овчинников, В.А. Алгоритмизация комбинаторно-оптимизационных задач при проектировании ЭВМ и систем / В.А. Овчинников. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2001.
5. Медведев, А.М. Технология производства печатных плат / А.М. Медведев. М.: Техносфера, 2005.
6. Стешенко, В.Б. P-CAD технология проектирования печатных плат / В.Б. Стешенко. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
7. Лопаткин, А.В. P-CAD 2004 / А.В. Лопаткин. СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
8. Савельев, М.В. Конструкторско-техническое обеспечение производства ЭВМ / М.В. Савельев. М.: Высшая школа, 2001.
9. Савельев, А.Я. Конструирование ЭВМ и систем / А.Я. Савельев, В.А. Овчинников. М.: Высшая школа, 1989.

10. Пикуль, М.И. Конструирование и технология производства ЭВМ / М.И. Пикуль, И.М. Русак, Н.А. Цырельчук. М.: Высшая школа, 1996.
11. Грачев, А.А. Конструирование электронной аппаратуры / А.А. Грачев М.: НТ ПРЕСС ООО МОСКВА, 2006.
12. Морозов, К.К. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры / К.К. Морозов, В.Г. Одинокоев [и др.]. М.: Радио и связь, 1983.
13. Стешенко, В.Б. ACCEL EDA технология проектирования печатных плат / В.Б. Стешенко. М.: Инфра-М, 2000.
14. Резевич, В.Д. Система проектирования печатных плат P-CAD 2000 / В.Д. Резевич. М.: Салон-Р, 2000.
15. Саврушев, Э.Ц. P-CAD 2006. Руководство схемотехника, администратора библиотек, конструктора / Э.Ц. Саврушев. М.: Бином Пресс, 2007.

*Овчинников Владимир Анатольевич  
Васильев Алексей Николаевич  
Лебедев Владимир Владимирович*

**Автоматизация проектирования  
и технология производства печатных плат**

*Учебное пособие  
Издание первое*

Редактор И.В. Шункова  
Корректор В.А. Крылова  
Технический редактор Г.В. Комарова

---

Подписано в печать

Формат 60x84/16

Физ. печ. л. 14,25

Тираж 250 экз.

Усл. печ. л. 13,25

Заказ №

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 12,39

С – 47

---

Редакционно-издательский центр  
Тверского государственного технического университета  
170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22  
Отпечатано в типографии