

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

**Н.Ю. Иванова, Е.Б. Романова**

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА  
КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

**Учебное пособие**



**Санкт-Петербург**

2013

УДК 004.896

Иванова Н.Ю., Романова Е.Б., «Инструментальные средства конструкторского проектирования электронных средств» Учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2013. 121 с.

В учебном пособии рассмотрены примеры использования инструментальных средств в различных системах автоматизированного проектирования. Первый раздел посвящен разработке библиотек в различных САПР: электронных (используемых для сквозного проектирования печатных плат), машиностроительных (используемых для конструирования деталей и сборочных единиц) и электротехнических (используемых для сквозного проектирования кабелей и жгутов). В пособии затронуты вопросы разработки схем, т.к. это является неотъемлемой частью сквозного проектирования электронных средств. Двухмерное и трехмерное моделирование рассмотрено на примере использования электронной САПР Altium Designer.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 211000 «Конструирование и технология электронных средств» по дисциплине «Инструментальные средства конструкторского проектирования электронных средств».

Рекомендовано к печати Советом факультета КТиУ (протокол №5 от 14 мая 2013 года).

В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».



© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики 2013

© Н.Ю. Иванова, Е.Б. Романова 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>I. РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕК .....</b>	<b>5</b>
1. Маршруты проектирования электронных средств.....	5
2. Организация библиотек в САПР печатных плат .....	16
3. Разработка библиотек в машиностроительной САПР.....	21
4. Разработка библиотек в электротехнической САПР .....	25
<b>II. РАЗРАБОТКА СХЕМ.....</b>	<b>29</b>
<b>III. МОДЕЛИРОВАНИЕ.....</b>	<b>48</b>
1. Двухмерное моделирование ПП.....	48
2. Трехмерное моделирование корпусов ЭК.....	56
<b>IV. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....</b>	<b>60</b>
1. УГО электронных компонентов .....	60
2. Посадочное место под корпус ЭК .....	69
3. Принципиальная электрическая схема .....	76
4. Компоновка платы и размещение компонентов на плате .....	85
5. Разработка топологии ПП.....	90
6. Пример отчета по лабораторным работам .....	101
<b>VI. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ .....</b>	<b>109</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>118</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>119</b>

---

## **ВВЕДЕНИЕ**

---

Инструментальные средства – это набор утилит в графическом интерфейсе. Утилита (англ. utility или tool) – компьютерная программа, расширяющая стандартные возможности оборудования и операционных систем, выполняющая узкий круг специфических задач. Под инструментальными средствами конструкторского проектирования понимают проблемно ориентированное программное обеспечение, встроенное в систему автоматизированного проектирования (САПР).

Инструментальные средства позволяют проектировщику сосредоточиться на решении поставленной задачи и решать ее в наиболее удобной форме, что позволяет снизить затраты на проектирование и повысить удобство выполнения проектных работ. В общем, инструментальные средства – это программные средства, предназначенные для автоматизации создания, редактирования и отладки различных продуктов. А инструментальные средства конструкторского проектирования электронных средств – это набор утилит, используемый для конструирования электронных средств.

Инструментальными средствами проектирования изделий являются системы автоматизированного проектирования (САПР), их программные модули, утилиты (подпрограммы) и команды. Для конструирования электронных средств (ЭС) используют САПР печатных плат, машиностроительные САПР и САПР кабелей и жгутов (САПР кабелей и жгутов используют, как правило, в виде программного модуля, встроенного в машиностроительную САПР). САПР печатных плат используются для сквозного проектирования печатных плат, основными задачами конструкторского проектирования в них являются: размещение электронных компонентов на плате и трассировка проводников. Машиностроительные САПР используются для проектирования механических устройств, в них конструируют детали и сборочные единицы электронных средств. САПР кабелей и жгутов предназначена для автоматизации процесса моделирования электрических кабелей и жгутов. Все эти САПР предоставляют возможность автоматизированного выпуска конструкторской документации на изделия.

---

# **I. РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕК**

---

Для оптимальной организации библиотек в САПР необходимо изучить этапы и маршруты проектирования ЭС.

## **1. Маршруты проектирования электронных средств**

### Маршрут проектирования ЭС

Автоматизированное проектирование предполагает определенную последовательность действий при разработке различных изделий [1]. Разработка ЭС отличается предварительной разработкой схем. Первым этапом проектирования ЭС является разработка структурных и функциональных схем (Рис. 1). Схемы структурные разрабатывают при проектировании изделий (установок) на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и пользуются ими для общего ознакомления с изделием (ГОСТ 2.701). Схемы являются результатом компоновки ЭС. Схема функциональная – схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или в изделии (установке) в целом. Схематическими функциональными пользуются для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте. Функциональные схемы рекомендуется разрабатывать на начальном этапе проектирования электронных устройств.

Наиболее удобно разрабатывать электронные средства снизу вверх: программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), печатные платы (ПП), детали, сборочные единицы; тогда проще регулировать электрические параметры во время разработки. Но разработка любого изделия основана на заказе. Помимо функциональных требований заказчику важна форма, габаритные размеры и множество других параметров конструкции, в связи с этим необходимо вести параллельную разработку ПП и узлов ЭС. Разработка узлов ЭС включает разработку трехмерных деталей и сборочных единиц. В маршруте проектирования ЭС этап проектирования ПП представлен предопределенным процессом, т.к. проектирование ПП представляет собой трудоемкий процесс, выполняемый в специальной САПР. В рамках данного пособия маршрут проектирования ПП рассмотрен в следующем параграфе.

Затем производят механические и тепловые расчеты сборочных единиц.

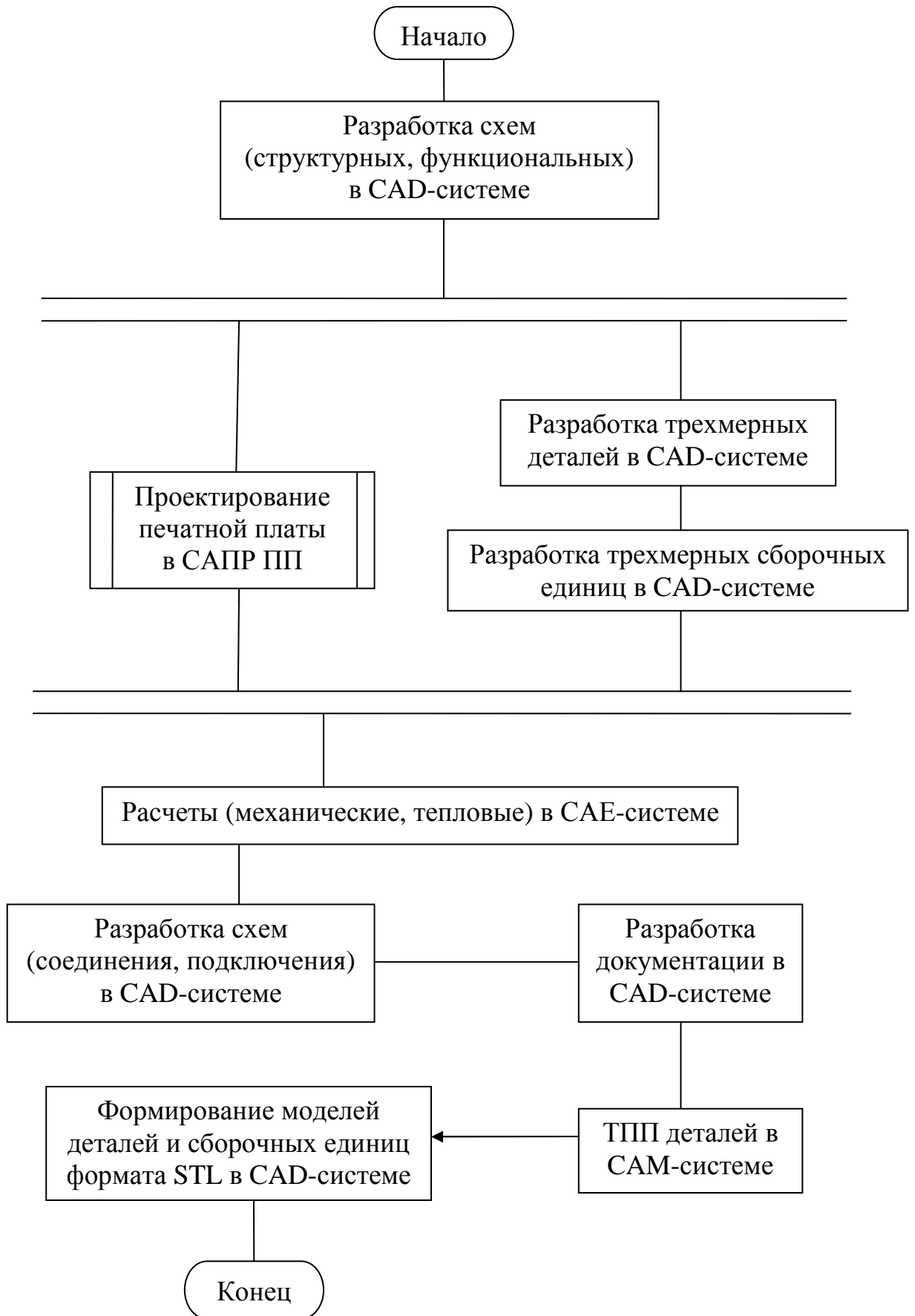


Рис. 1. Маршрут проектирования электронного средства

После разработки трехмерных деталей и сборочных единиц (в т.ч. ПП) следует разработка схем (соединения, подключения). Схема соединений (монтажная) – схема, показывающая соединения составных частей изделия (установки) и определяющая провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т. п.). Схематическими соединениями (монтажными) пользуются при разработке других конструкторских документов, в первую очередь, чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей или трубопроводов в изделии (установке), а также для осуществления присоединений и при контроле, эксплуатации и ремонте изделий (установок). Схема подключения – схема, показывающая внешние подключения изделия. Схематическими подключениями пользуются при разработке других конструкторских документов, а также для осуществления подключений изделий и при их эксплуатации.

Заключительным этапом конструирования является разработка конструкторской документации: спецификаций, сборочных чертежей и др. Конструкторская документация необходима для технологической подготовки производства изделий, а также для комплектации, сборки, эксплуатации и ремонта изделий. Для изготовления изделий необходима технологическая подготовка производства каждой детали. Задачей технологической подготовки производства (ТПП) является обеспечение полной технологической готовности фирмы к производству новых изделий с заданными технико-экономическими показателями (высоким техническим уровнем, качеством изготовления, а также с минимальными трудовыми и материальными издержками при конкретном техническом уровне предприятия и планируемых объемах производства) [2].

Важно идти в ногу со временем и использовать современные информационные технологии в проектировании. Проектирование электронных средств надо осуществлять в соответствии с CALS-технологией и RP-технологией (технологией быстрого прототипирования). В соответствии с CALS-технологией проектирование ПП и других узлов ЭС необходимо осуществлять в едином информационном пространстве, построенном на применении международных стандартов представления данных. В данном случае используются CAD/CAM/CAE-система. А для поддержки Rapid Prototyping-технологии необходимо формировать модели в формате STL, которые можно распечатать на 3D-принтере. При проектировании ЭС изготавливается прототип всего изделия или прототипы сборочных единиц изделия в зависимости от конструктивных особенностей изделия.

### Маршрут проектирования ПП

Предварительным этапом проектирования ПП (Рис. 2) является разработка принципиальной электрической схемы. Принципиальная электрическая схема состоит из УГО (условно-графических обозначений) и электрических связей. УГО электронных компонентов (ЭК) выбираются из библиотек компонентов. Если плата содержит микроэлектронные изделия (ПЛИС, микросборки), то предварительно необходимо их спроектировать (перед разработкой принципиальной электрической схемы).

На любом предприятии, где разрабатывается ЭС, существуют библиотеки компонентов. При разработке нового проекта предварительно (до разработки принципиальной электрической схемы) необходимо изучить элементную базу и при необходимости пополнить библиотеки компонентов.

Библиотека ЭК содержит условно-графическое обозначение и посадочное место под корпус компонента, а также в библиотеке проведена взаимосвязь УГО и посадочного места. УГО используется для разработки принципиальной электрической схемы. Форма и размеры УГО регламентированы ГОСТ ЕСКД.

Посадочное место (ПМ) под корпус компонента содержит сведения о типе контактных площадок (штыревые или планарные) и конструктиве (форме) корпуса. Посадочное место используется для разработки топологии ПП. Посадочное место под корпус компонента создается на основании чертежа ЭК. При создании посадочного места важно внимательно просчитать размеры посадочного места под компонент. Посадочное место представляет собой модель корпуса с набором контактных площадок.

В библиотеке должен быть описан каждый тип ЭК, т.е. для каждого компонента необходимо создать УГО (в некоторых ЭК их два и более) и посадочное место, а затем описать компонент, т.е. упаковать секции (элементы) ЭК в корпус, такой подход используется в САПР P-CAD [3]. Практически во всех САПР имеется набор библиотек. Но большинство САПР, используемых в России, – зарубежные, и УГО не соответствуют российским ГОСТам. В связи с чем приходится создавать новые УГО. С использованием посадочных мест тоже есть проблемы, т.к. во-первых – у разных производителей ЭК конструктивные размеры могут отличаться, а во-вторых – создание посадочного места под ЭК определяется технологическим процессом изготовления, качеством технологического оборудования и качеством изготовления ПП, что вносит некоторые изменения в посадочное место (например, при расчете контактных площадок [4]).



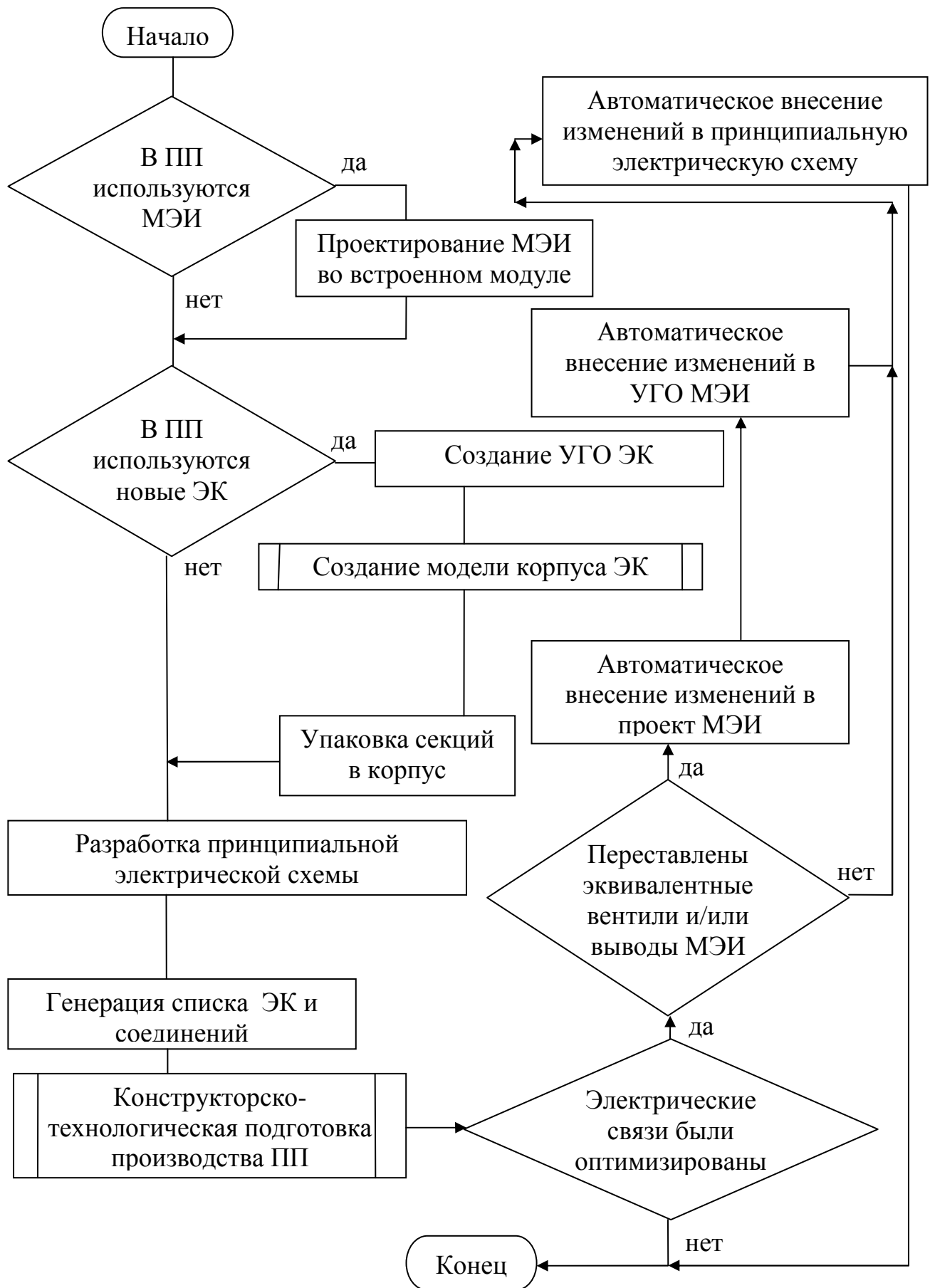


Рис. 2. Маршрут проектирования ПП

В современных ЭС часто используют ПЛИС. Преимуществом ПЛИС являются: габаритные размеры, помехозащищенность, стабильность электрических параметров. Проектирование ПЛИС заключается в назначении номеров выводов определенным электрическим сигналам схемы с последующим программированием, в соответствии с этим формируется УГО ПЛИС. Т.е. ПЛИС необходимо проектировать перед пополнением библиотек ЭК. Для сквозного проектирования ПП в САПР ПП необходим модуль проектирования ПЛИС (в САПР Altium Designer такой модуль включен). В ходе разработки топологии ПП для оптимальной трассировки можно изменять номера ножек в корпусе ПЛИС, при этом изменяется УГО и программа ПЛИС. В САПР реализовано автоматическое внесение изменений (функция ESO) между ПЛИС, принципиальной электрической схемой и топологией ПП.

Разработка принципиальной электрической схемы завершается генерацией списка электрических соединений для возможности сквозного проектирования ПП. Конструирование ПП основано на этом списке и взаимосвязи каждого символа определенному КТО, описанного в библиотеке.

В маршруте проектирования ПП на Рис. 2 конструкторско-технологическая подготовка производства (КТПП) ПП представлена предопределенным процессом, а маршрут КТПП ПП подробно рассмотрен далее. Процесс создания посадочного места под корпус ЭК с трехмерной моделью корпуса представлен на Рис. 3. Во многих САПР ПП имеется так называемый «Мастер создания посадочного места» (Pattern Wizard), и при использовании такого «Мастера» алгоритм создания посадочного места намного проще, чем в описанном алгоритме. Использование такого «Мастера» оптимально при создании микросхем, а остальные ЭК зачастую приходится создавать «вручную», в таком случае рекомендуется следовать приведенному алгоритму.

В КТПП ПП производится оптимизация электрических связей для уменьшения длины связей и уменьшения количества перекрестий связей. После оптимизации электрических связей изменяются подключения между контактами УГО. Эти изменения необходимо внести в принципиальную электрическую схему. Данная процедура осуществляется автоматически – посредством функции ESO (автоматическое внесение изменений). Процесс внесения изменения может быть и обратным: из схемы в топологию, например, при изменении схемы в ходе коррекций.

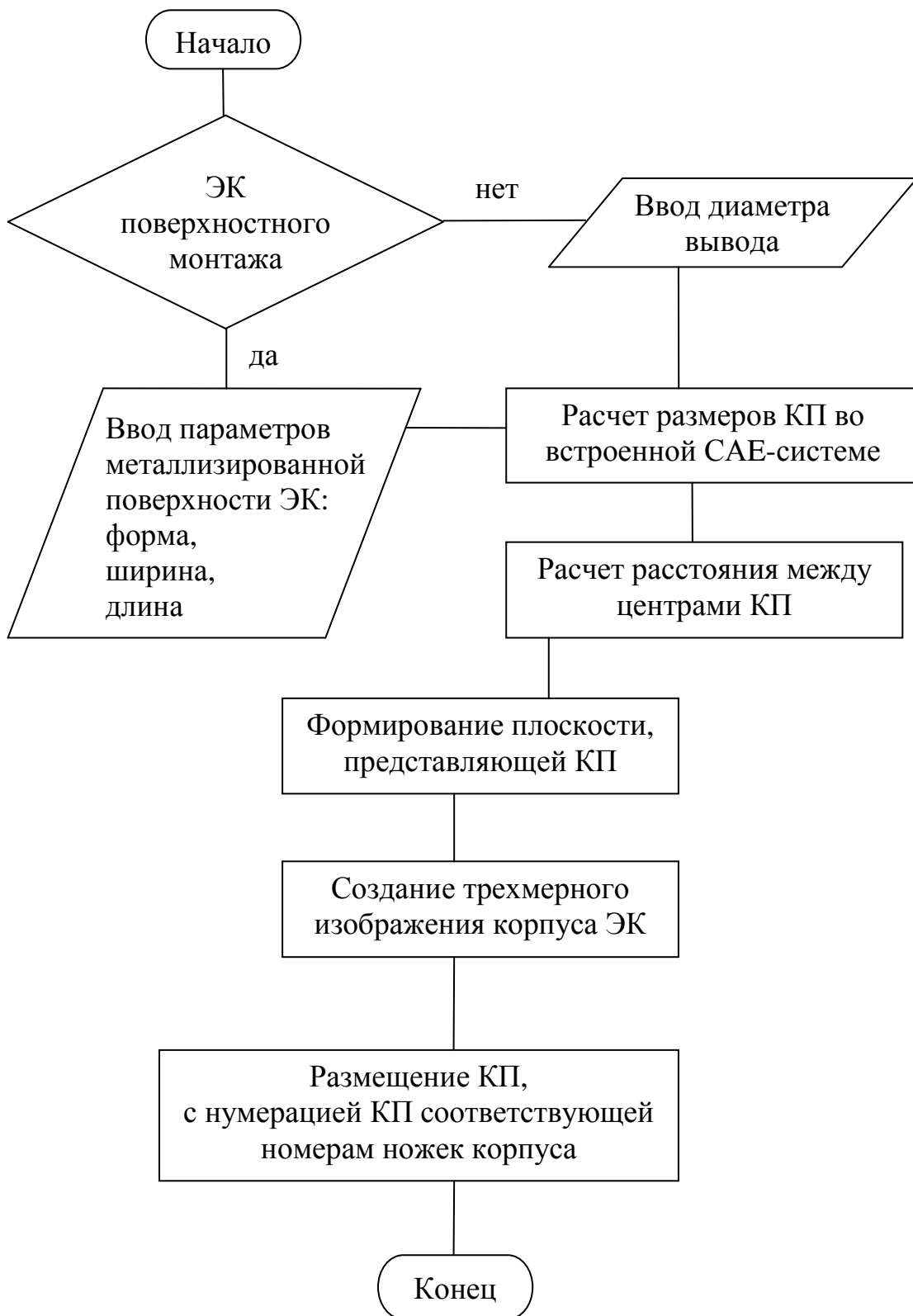


Рис. 3. Алгоритм создания посадочного места под корпус ЭК

### Этапы КТПП ЭУз

1) Загрузка посадочных мест ЭК и электрических соединений в файл топологии ПП. Электрические соединения генерируются из принципиальной электрической схемы. Посадочные места ЭК подгружаются из библиотеки ЭК.

2) Создание конструктива ПП.

3) Разработка деталей для ЭК. Для ЭК может потребоваться установка деталей (прокладки, радиатора, угольника и т.д.). Эти детали необходимо отразить в топологии ПП. Детали для ЭК в САПР ПП, как правило, вычерчиваются в посадочном месте.

4) Установка и фиксация соединительных ЭК. Разъемы и другие присоединительные ЭК необходимо установить наперед других ЭК и зафиксировать для того, чтобы впоследствии не перемещать их с обозначенных координат.

5) Конструкторские расчеты. Перед размещением ЭК необходимо рассчитать шаг расстановки ЭК, для чего вначале рассчитывают ширину шин и проводников, а также технологические зазоры между объектами топологии ПП. Результаты расчетов вносятся в проект.

6) Авторазмещение ЭК на ПП. Программы авторазмещения могут рекомендоваться только как вспомогательный инструмент при интерактивном размещении, когда часть компонентов предварительно размещается вручную и блокируется.

7) Ручное размещение ЭК на ПП. Размещение на практике часто производят вручную. Вначале расставляют крупные ЭК (трансформаторы) и многовыводные ЭК (микросхемы), затем мелкие (конденсаторы, резисторы и др.).

8) Оптимизация электрических связей производится автоматически или вручную. Оптимизация электрических связей возможна за счет перестановки эквивалентных вентилях микросхем и за счет перестановки эквивалентных выводов в ЭК.

9) После размещения необходимо произвести некоторые расчеты: механические, тепловые и др. После расчетов может возникнуть необходимость переразмещения ЭК.

10) Трассировка шин питания на практике производится вручную (интерактивно). Значения ширины шин питания лежит, как правило, в пределах 1÷2мм. Трассировку необходимо выполнять с учетом ориентации проводников, иначе впоследствии могут возникнуть трудности при трассировке проводников. В ходе трассировки шин питания может возникнуть необходимость переразмещения ЭК.

11) Автотрассировка. Автотрассировку используют для разводки цифровых устройств и устройств, работающих на невысокой тактовой частоте. Трассировку ПП аналоговых и аналогово-цифровых устройств осуществляют интерактивно (полуавтоматически).

12) Интерактивная трассировка проводников. На этом этапе осуществляется ручная трассировка платы, если отсутствовал этап автотрассировки. При использовании автотрассировки на этом этапе производится коррекция топологии трасс проводников (при автотрассировке могут оставаться не разведенные связи, могут возникнуть «петли» проводников, лишние переходные отверстия и другие погрешности). Этапы размещения и трассировки являются взаимосвязанными (итерационными) – при трассировке может возникнуть необходимость переразмещения ЭК.

13) Контроль параметров проекта. Проверка на технологические зазоры, на соответствие длин проводников заданным и др. После проверки, при наличии ошибок, необходимо подредактировать проводники.

14) Топологический анализ, включающий анализ целостности сигналов, оценку искажения сигналов, а также взаимные наводки в проводниках разрабатываемой платы.

15) Формирование гербер-слоев и файла сверловки. ТПП ЭУз включает формирование гербер-слоев для автоматизированного изготовления фотошаблонов и файла сверловки для автоматизированного сверления отверстий в плате.

16) Формирование трехмерной модели ЭУз формата STL для изготовления прототипа модели по RP-технологии.

#### Маршрут КТПП ЭУз

Маршрут КТПП ЭУз представлен на Рис. 4, в этом маршруте имеется предопределенный процесс «Размещение трёхмерных ЭК на ПП», который представлен на Рис. 5.

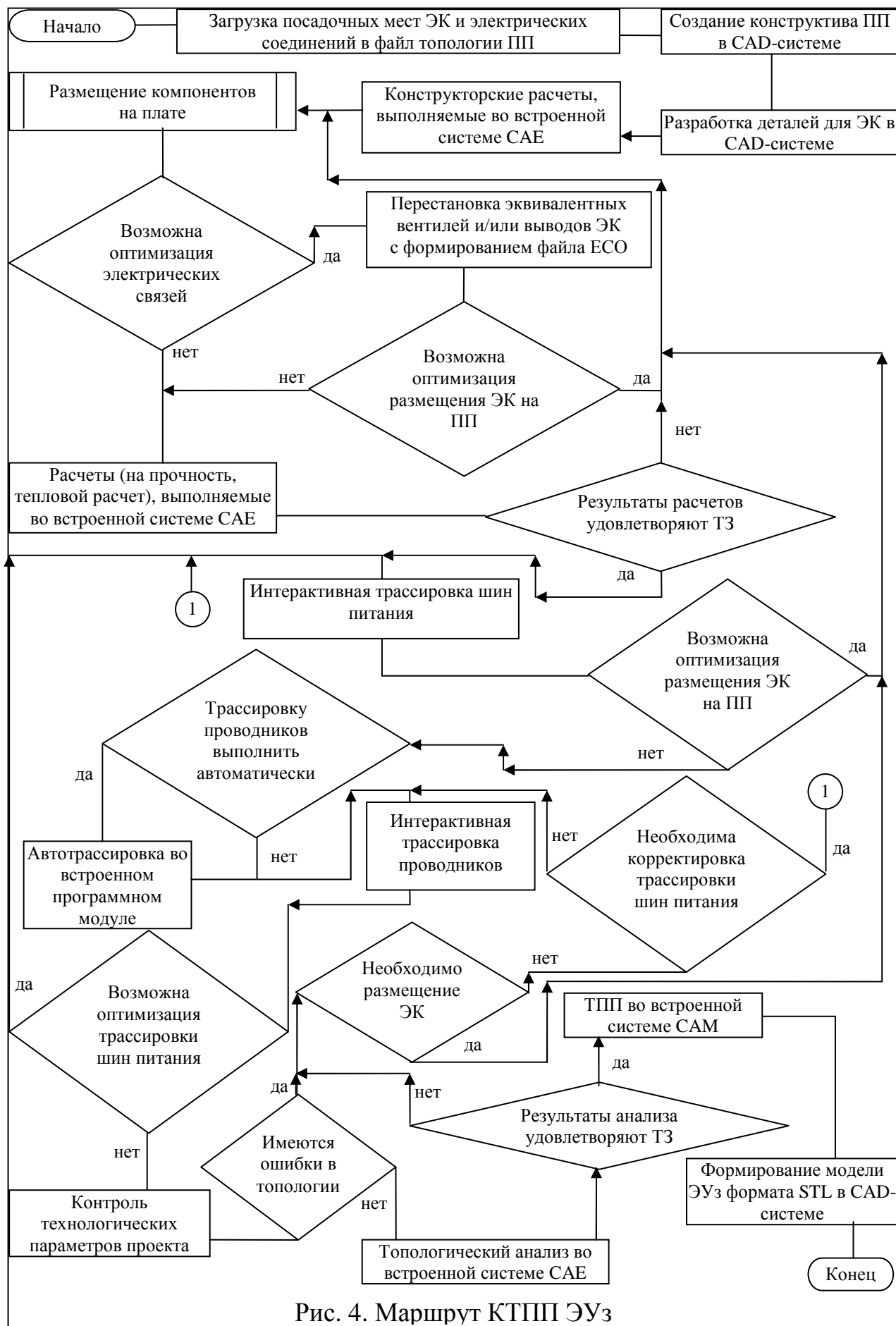


Рис. 4. Маршрут КТПП ЭУЗ

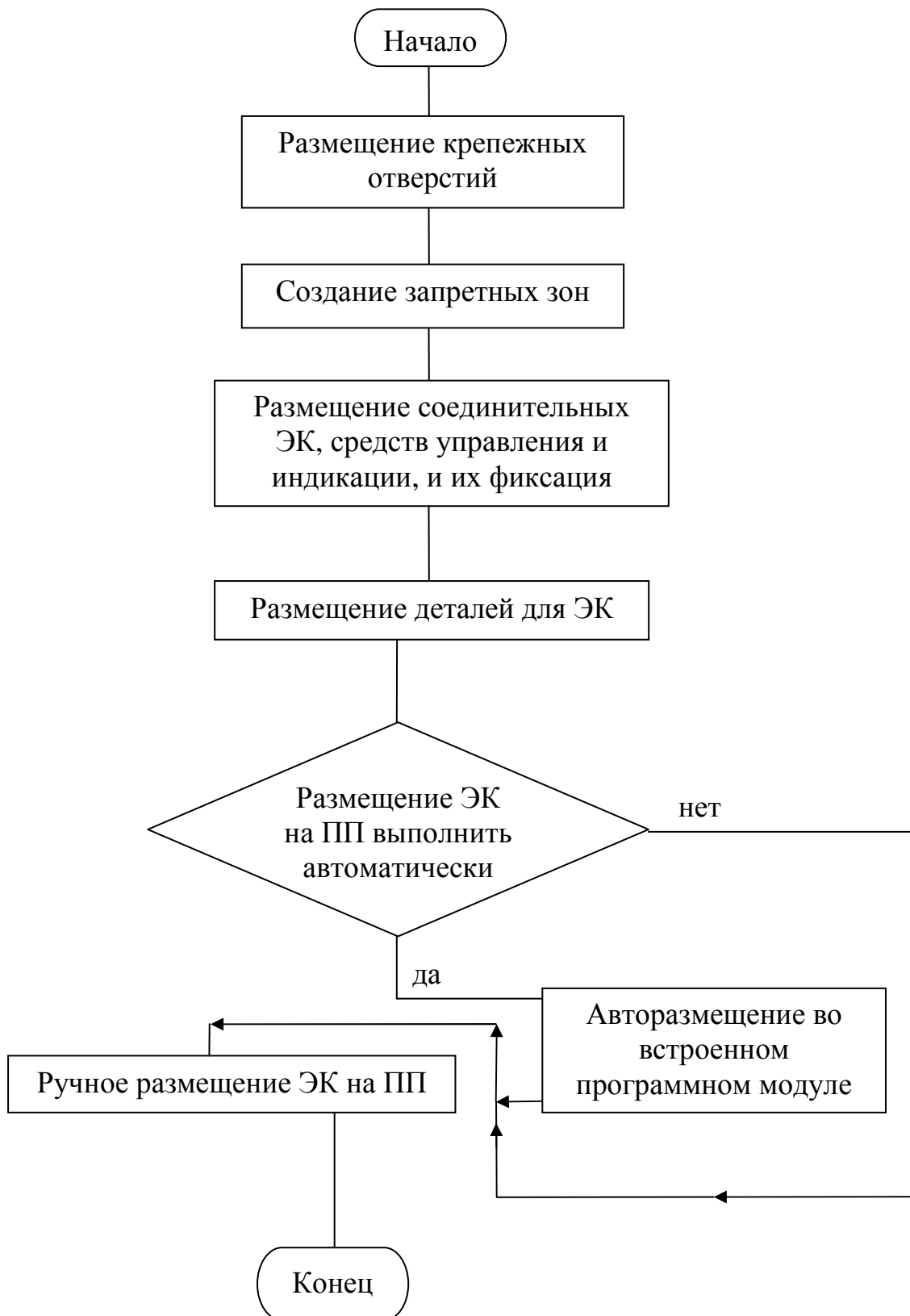


Рис. 5. Маршрут размещения ЭК на ПП

## 2. Организация библиотек в САПР печатных плат

В САПР печатных плат (ПП) библиотечный компонент включает условно-графическое обозначение (УГО) и посадочное место под корпус компонента. Взаимосвязь УГО и посадочного места в различных САПР обеспечивается по-разному.

В САПР P-CAD основой является компонент, созданный в программном модуле Library Executive, который включает: УГО, посадочное место и описание компонента (таблицы Component Information и Pins View). При этом УГО и посадочное место создаются в отдельных программных модулях системы – в графических редакторах Symbol Editor и Pattern Editor. В результате компонент включает три наименования: Component Type, Symbol Name и Pattern Name.

В САПР Altium Designer УГО является основой библиотечного компонента, к которому можно подключать посадочные места и другие модели в виде ссылок.

Важно правильно именовать составляющие библиотеки электронных компонентов (ЭК) для того, чтобы каждый пользователь библиотеки легко ориентировался по наименованиям. На практике наименования составляющих библиотеки ЭК настолько разнообразны и не однозначны, что иногда проще создать свою библиотеку, чтобы свободно в ней ориентироваться, чем выискивать нужные компоненты в готовой библиотеке.

В некоторых САПР ПП (например, P-CAD) типовое УГО, созданное один раз, может быть присвоено нескольким разным компонентам. Важно именовать УГО наиболее информативно. Резисторы рекомендуется называть: резистор 0,25Вт; резистор 0,5Вт; резистор подстроечный (Рис. 6) и т.д. по ГОСТ 2.728 «ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы» (кстати, сначала всегда должно быть существительное, потом прилагательные). Элементы цифровых микросхем необходимо называть: элемент И; элемент ИЛИ-НЕ и т.д.

Некоторые САПР не поддерживают символы в названиях (но подчеркивание поддерживают практически все САПР) и кириллицу поддерживают не все САПР, в таком случае рекомендуется присваивать имена латиницей с использованием подчеркивания – resistor\_025, resistor\_05, resistor\_podstroechnyj. Транслитерировать рекомендуется по системе Б (это транслитерация с использованием буквосочетаний) в соответствии с ГОСТ 7.79 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом», при этом не нужно использовать диакритические знаки, см. табл.1.



Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
<p>1. Резистор постоянный</p> <p>Примечание. Если необходимо указать величину номинальной мощности рассеяния резисторов, то для диапазона от 0,05 до 5 Вт допускается использовать следующие обозначения резисторов, номинальная мощность рассеяния которых равна:</p> <p>0,05 Вт</p> <p>0,125 Вт</p> <p>0,25 Вт</p> <p>0,5 Вт</p> <p>1 Вт</p> <p>2 Вт</p>		<p>в) с двумя</p> <p>Примечание. Если резистор имеет более двух дополнительных отводов, то допускается длинную сторону обозначения увеличивать, например, резистор с шестью дополнительными отводами</p> <p>3. Шунт измерительный</p> <p>Примечание. Линии, изображенные на продолжении коротких сторон прямоугольника, обозначают выводы для включения в измерительную цепь</p> <p>4. Резистор переменный</p>	

Рис. 6. Резисторы по ГОСТ 2.728

Табл. 1

### Рекомендуемая транслитерация

Русская буква	Латинское буквосочетание	Русская буква	Латинское буквосочетание	Русская буква	Латинское буквосочетание	Русская буква	Латинское буквосочетание	Русская буква	Латинское буквосочетание	Русская буква	Латинское буквосочетание
<b>А</b>	a	<b>Е,Э</b>	e	<b>Й</b>	j	<b>О</b>	o	<b>У</b>	u	<b>Ш</b>	sh
<b>Б</b>	b	<b>Ё</b>	yo	<b>К</b>	k	<b>П</b>	p	<b>Ф</b>	f	<b>Щ</b>	shh
<b>В</b>		<b>Ж</b>	zh	<b>Л</b>	l	<b>Р</b>	r	<b>Х</b>	x	<b>Ы</b>	y
<b>Г</b>	g	<b>З</b>	z	<b>М</b>	m	<b>С</b>	s	<b>Ц</b>	cz	<b>Ю</b>	yu
<b>Д</b>	d	<b>И</b>	i	<b>Н</b>	n	<b>Т</b>	t	<b>Ч</b>	ch	<b>Я</b>	ya

Когда наименования транслитерируются по одной системе, тогда меньше проблем с интерпретацией наименований. Использование латиницы в наименованиях также дает преимущество при конвертации данных в другие САПР, поскольку при конвертации часто наблюдается несовместимость шрифтов, и наименования в другой САПР становятся нечитаемыми. Можно использовать английские наименования, если все пользователи библиотек имеют базовые знания технического английского языка. Если нет необходимости в передаче данных о наименованиях компонентов в другие САПР и используемая САПР ПП поддерживает

кириллицу, то все же лучше именовать по-русски, т.к. русскому человеку легче ориентироваться в русских названиях, а при корпоративной работе с библиотеками возможны существенные ошибки при неверной интерпретации имен, а также это упрощает автоматизированное создание перечней и спецификаций.

В других САПР ПП (например, в Altium Designer) УГО является основой библиотечного компонента, к которому можно подключать посадочные места и другие модели. В таком случае наименование должно отражать не само УГО, а название ЭК. Например резистор типа МЛТ мощностью 0,125 Вт надо назвать в библиотеке schlib «МЛТ 0,125».

Рекомендуется также подход с использованием образцов УГО. Для этого надо создать «Резистор 0,125» без посадочного места, и он не будет использоваться в проектах, а будет использоваться только для создания новых резисторов мощностью 0,125 Вт, такой элемент библиотеки schlib называется «образцом УГО». Образец создается перед компонентом. Образцы рекомендуется именовать кириллицей. Образец резистора проще найти в библиотеке, чем «МЛТ 0,125». Это, конечно, загромождает библиотеку, но помимо быстрого поиска дает еще одно преимущество: при редактировании УГО все новые элементы будут содержать последнюю версию изображения. Стоит отметить, что при этом существующие элементы останутся прежними, – это недостаток Altium Designer в сравнении с P-CAD. Важно именовать образцы УГО наиболее информативно, чтобы не было дублирования элементов в библиотеке. Элементы цифровых микросхем в качестве образцов необходимо называть: «Элемент И»; «Элемент ИЛИ-НЕ» и т.д. Образец имеет смысл создавать только тогда, когда его можно назвать настолько информативно, что пользователи библиотек с большой вероятностью смогут воспользоваться этим образцом ориентируясь по названию. Когда образцов немного (до 2х десятков, напр. резисторов), то их недолго просмотреть и выбрать необходимое УГО. Но когда образцов более 50 (например, для микросхем), то на поиск по изображению уходит много времени, а нужное УГО может быть так и не найдено. Образцы УГО резисторов, конденсаторов, диодов и т.д. надо называть в соответствии с ГОСТ: резистор 0,125, конденсатор постоянный, транзистор PNP, см. Табл. 2.

Посадочные места именуют по типу корпуса. Важно разбираться в классификации корпусов. Например, корпуса типа SO бывают 3 подтипов. Такие корпуса могут иметь различную ширину. Существует три распространенных размера 150, 208 и 300 тысячных дюйма (3.81, 5.28 и 7.62 мм). Обычно обозначаются как SOxx-150, SOxx-208 и SOxx-300. В библиотеке можно назвать SO8\_150. Также нужно различать корпуса SO, TSSOP и им подобные. Корпуса SOT23 бывают с различным количеством ножек, их надо именовать: SOT23-3, SOT23-5, SOT23-6, SOT23-8, см.

Рис. 7. Некоторые разновидности корпусов можно посмотреть на сайте <http://www.compel.ru/package/>. Если корпус нестандартный (нетиповой), то его именуют по типу компонента.

Табл. 2

**Примеры использования образцов УГО**

<b>Образец УГО (без моделей)</b>	<b>Наименование УГО (в schlib)</b>
Резистор 0,125	0805 МЛТ 0,125 С1-4 0,125
Элемент И-НЕ	SN7400N К176ЛА7 К155ЛА1
Микросхема AD8561	AD8561AN AD8561ARU AD8561AR
Конденсатор постоянный	0805 1206 К10-176
Транзистор PNP	BF421 BC212 КТ502



Рис. 7. Разновидности корпуса типа SOT23

Для автоматизированного создания перечня и спецификации в Altium Designer все составляющие записи в спецификации надо добавить в schlib. Сначала надо определить структуру записи исходя из нормативных документов (ТУ) или технического описания, например как показано на Рис. 8. Автоматизированное создание перечня возможно посредством различных утилит, например «Генератор перечней» Брагина И. В. (verzak.ru) или «TDD» компании GeeTeeSoft (www.euointech.ru/geeteesoft).

<b>Описание (Descriptions)</b>	<b>Наименование (Symbol Reference)</b>	<b>Номинал (Value)</b>	<b>Допуск (Допуск)</b>
Резистор	МЛТ 0,125	100	±5%
Резистор	0805	1к	±5%

<b>Описание</b>	<b>Наименование</b>	<b>Номинал</b>	<b>Допуск</b>	<b>Напряжение</b>	<b>ТКЕ</b>
Конденсатор	K50-35	1мк	±20%	400 В	
Конденсатор	0805	4,7	±5%	50 В	NPO

«Допуск» – параметр компонента созданный вручную

Рис. 8. Структура записи резисторов и конденсаторов

Демонстрационная версия программы «Генератор перечней» [5]:

- не изменяет параметры (атрибуты) компонентов схем;
- вставляет одинаковые позиционные обозначения в создаваемые документы;
- в спецификации и в ведомости покупных изделий переводит шрифт в верхний регистр.

В демоверсии программы «TDD» отсутствуют возможности:

- печати созданных документов;
- экспорта документов в файл формата RTF;
- копирования текстовой информации в буфер обмена.

А также можно использовать полуавтоматический режим создания перечня: копировать информацию для перечня из файла BOM в шаблон бланка перечня, например в Word. Основную надпись в Word рекомендуется выполнять в колонтитулах. Для формирования перечня элементов в Altium Designer добавляется новый отчет посредством Add New Report Output, и выбора Bill of Materials и своей схемы. В конфигурации, в зоне All Columns оставить четыре галочки – напротив Designator, LibRef, Quantity и Value (и при необходимости другие атрибуты). Нажать клавишу Export и сохранить файл. По умолчанию файл будет сохранен в папку Project Outputs for ... - внутри папки, где хранится проект. Файл будет иметь расширение xls.

### 3. Разработка библиотек в машиностроительной САПР

В данном параграфе рассмотрен пример разработки библиотечного элемента для библиотеки двумерных деталей в программе КОМПАС-Shaft 2D [6].

Сначала надо раскрыть папку «Расчет и построение» (Рис. 9), в которой надо открыть библиотеку КОМПАС-Shaft 2D и затем выбрать раздел «Построение вала» (Рис. 10).

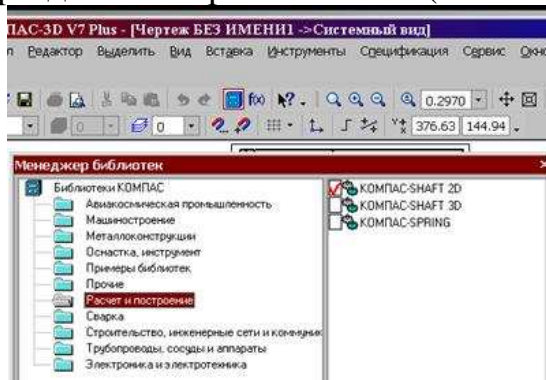


Рис. 9. Библиотека «Расчет и построение»

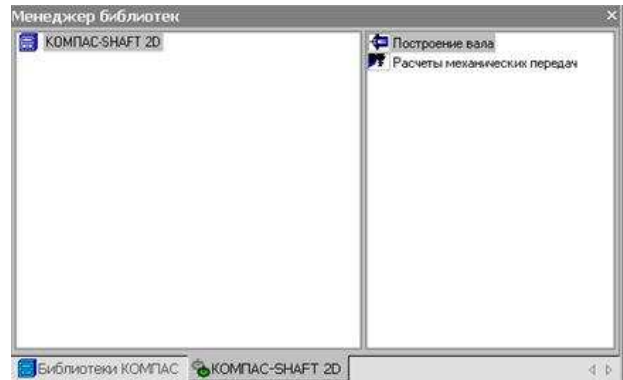


Рис. 10. Выбор раздела «Построение вала»

В открывшемся окне следует щелкнуть по кнопке «Новый вал». Откроется окно «Выбор типа отрисовки вала» (Рис. 11). Обе детали, которые надо построить, имеют сквозные отверстия, поэтому надо выбрать строку «Вал в разрезе».

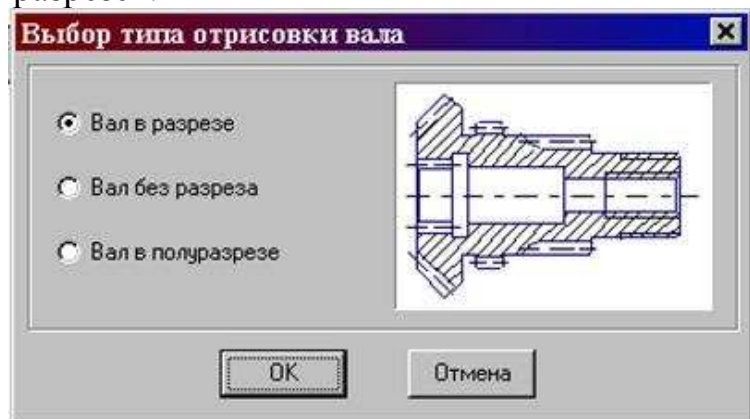


Рис. 11. Выбор типа отрисовки вала

На экране появится курсор в виде перекрестия, компьютер ждет, что этим перекрестием будет зафиксирована самая левая точка вала на чертеже. Дальнейшие построения вала будут вестись вправо от указанной точки. Если точка указана неудачно, то впоследствии чертеж детали можно выделить и сдвинуть в нужное место. После того, как будет указано крайнее левое положение вала, на экране откроется окно (Рис. 12) для построения наружной поверхности вала (поле Внешний контур) и различных по форме отверстий в вале (поле Внутренний контур).

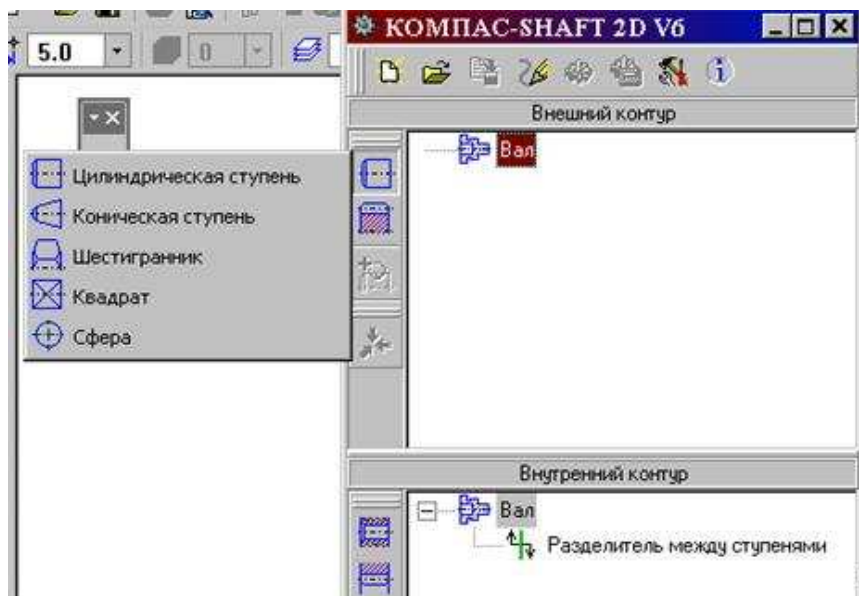


Рис. 12. Построение внешнего и внутреннего контура вала

Внешний контур детали создается последовательно отдельными ступенями, которые могут иметь цилиндрическую, коническую, шестигранную, квадратную или сферическую форму. Для первой детали – «Вал» построение надо начать с цилиндрической ступени, ее диаметр (например, 40 мм) и длину (например, 60 мм) задать в открывшемся окне (Рис. 13). При необходимости возможно на торцах ступени сделать притупление в виде фасок. Построение ступени заканчивается при нажатии на кнопку ОК (кнопка с зеленой галочкой на панели инструментов). На поле чертежа автоматически вычерчивается цилиндрическая ступень вала.

Если имеется необходимость, то на построенной цилиндрической ступени с помощью кнопки «Дополнительный элемент» (Рис. 14) можно вычертить: канавки, резьбу, шлицы, шпоночные пазы, подшипники, кольцевые пазы, лыски.

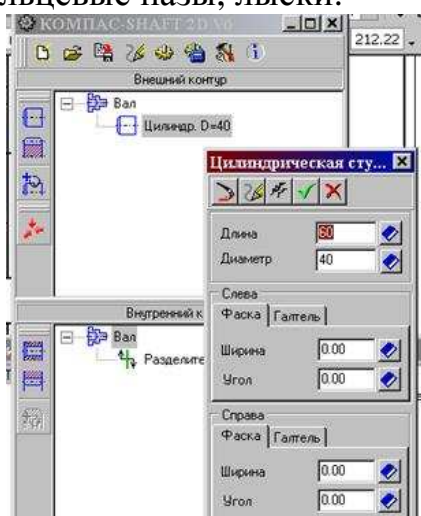


Рис. 13. Построение цилиндрической ступени вала

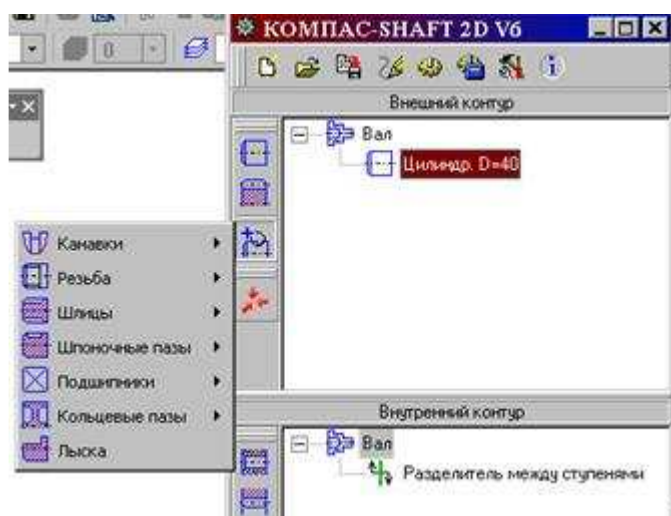


Рис. 14. Дополнительные элементы ступеней



Следующая ступень вала имеет шестигранную форму, ее построение показано на Рис. 15.

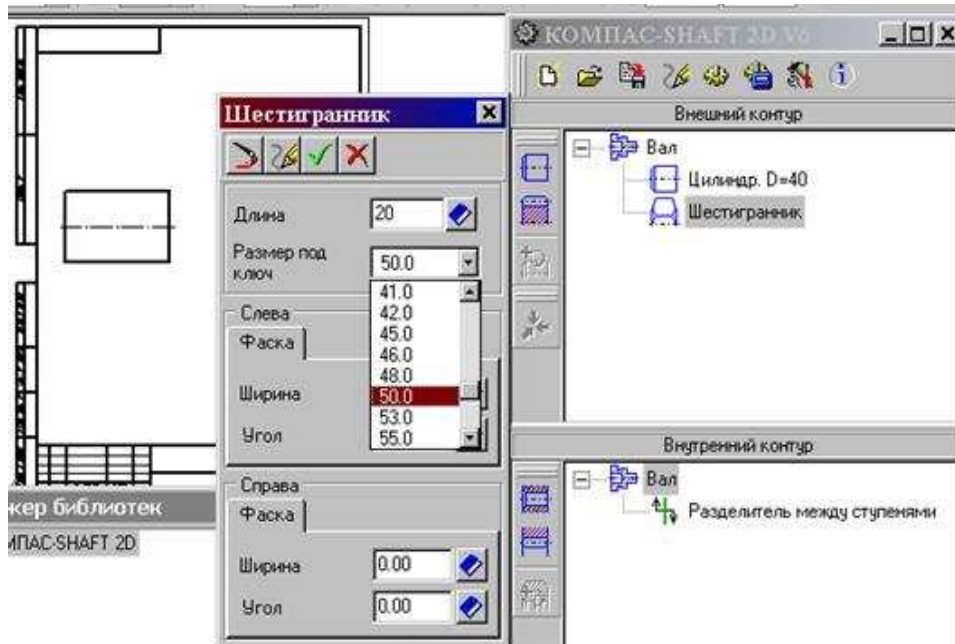


Рис. 15. Построение шестигранной ступени вала

Внутренний контур детали может быть различных форм. На Рис. 16 показаны возможные формы отверстий.

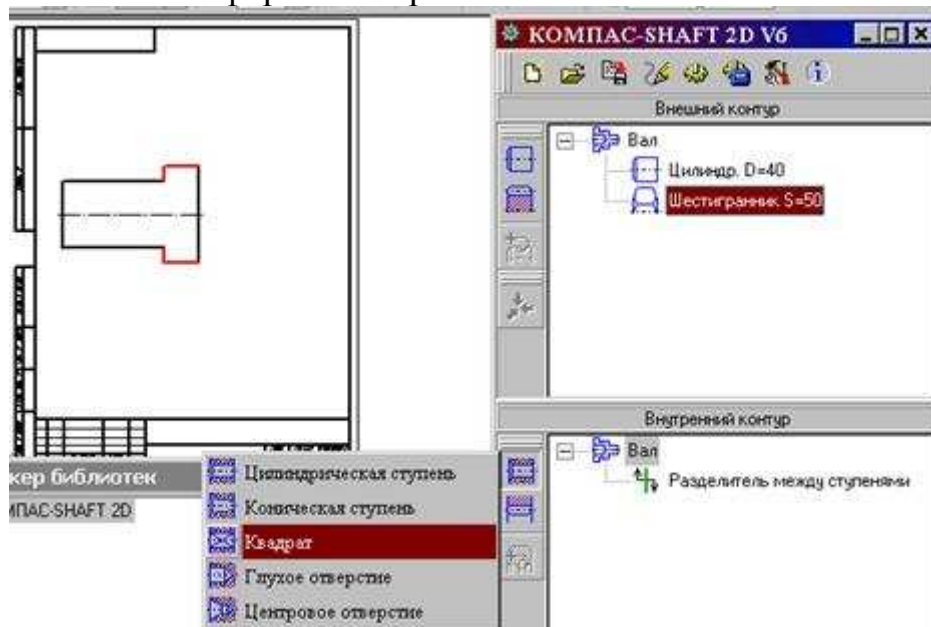


Рис. 16. Построение внутреннего контура деталей

Например, внутренний контур у вала может представлять собой сквозное квадратное отверстие длиной 80 мм и со стороной квадрата 20 мм, построение которого представлено на Рис. 17.

На чертеже автоматически построен лишь один вид спереди с разрезом, для построения вида слева следует из меню кнопки

«Дополнительные построения» (Рис. 18) выбрать строку «Построить вид слева». Если на построенном виде слева не будет отображен контур отверстия, его следует достроить вручную.

В КОМПАС-Shaft 2D возможно автоматическое построение трехмерной твердотельной модели, для этого используется кнопка «Генерация 3D модели».

Заканчивается построение нажатием на кнопку «Сохранить вал и выйти».

На построенном чертеже вала надо еще нанести осевые линии, размеры, заполнить основную надпись. Чертеж и модель сохранить в памяти компьютера.

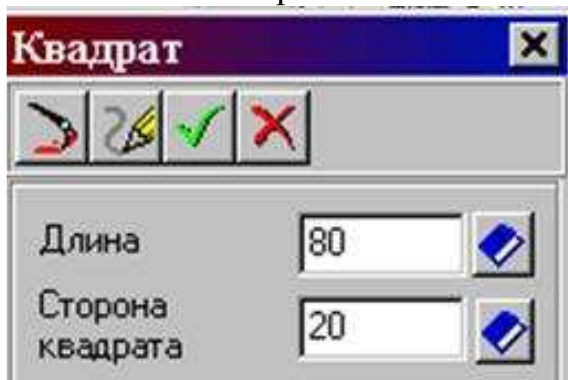


Рис. 17. Построение сквозного квадратного отверстия



Рис. 18. Создание вида слева и твердотельной модели детали



## 4. Разработка библиотек в электротехнической САПР

### Разработка УГО в ElectriCS Pro

Система ElectriCS Pro предназначена для проектирования электрооборудования изделий общего машиностроения, железнодорожного подвижного состава, продукции авиастроения, судостроения, приборостроения, станкостроения, а также может применяться в энергетике [7]. ElectriCS Pro 7 позволяет разрабатывать и поддерживать цифровую модель электрооборудования изделий в производстве, обеспечивает разработку принципиальной схемы, создание схемы соединений/подключений, автоматическое получение проектной и монтажной документации, автоматизирует процесс разработки монтажных решений электрооборудования. Для создания УГО необходима САПР AutoCAD.

### Работа с библиотекой УГО

Для создания статических условных графических обозначений (УГО) элементов электрических устройств (ЭУ) необходимо загрузить библиотеку УГО используя меню Инструменты (Рис. 19). Затем надо выбрать команду создания статического УГО и указать шаблон (Рис. 20).

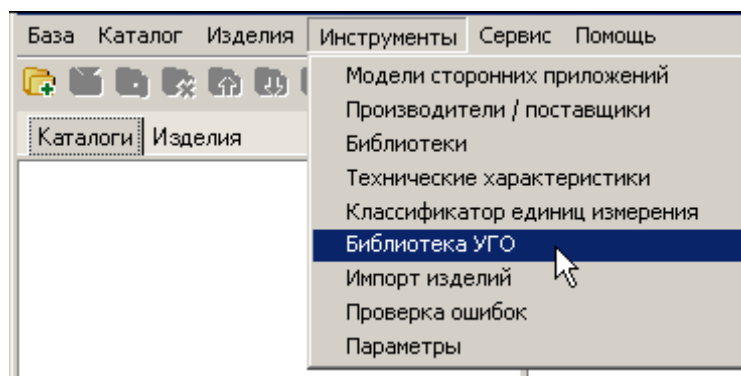


Рис. 19. Загрузка библиотеки УГО

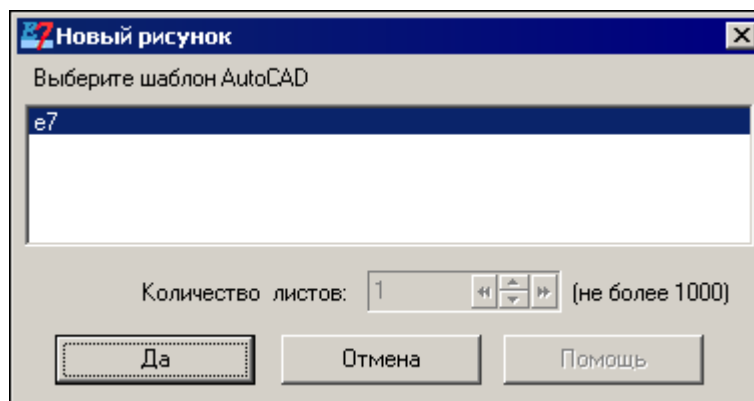


Рис. 20. Выбор шаблона

Далее нужно создать графику УГО стандартными средствами AutoCAD (Рис. 21). Затем выбрать команду создания УГО ЭУ (Рис. 22).

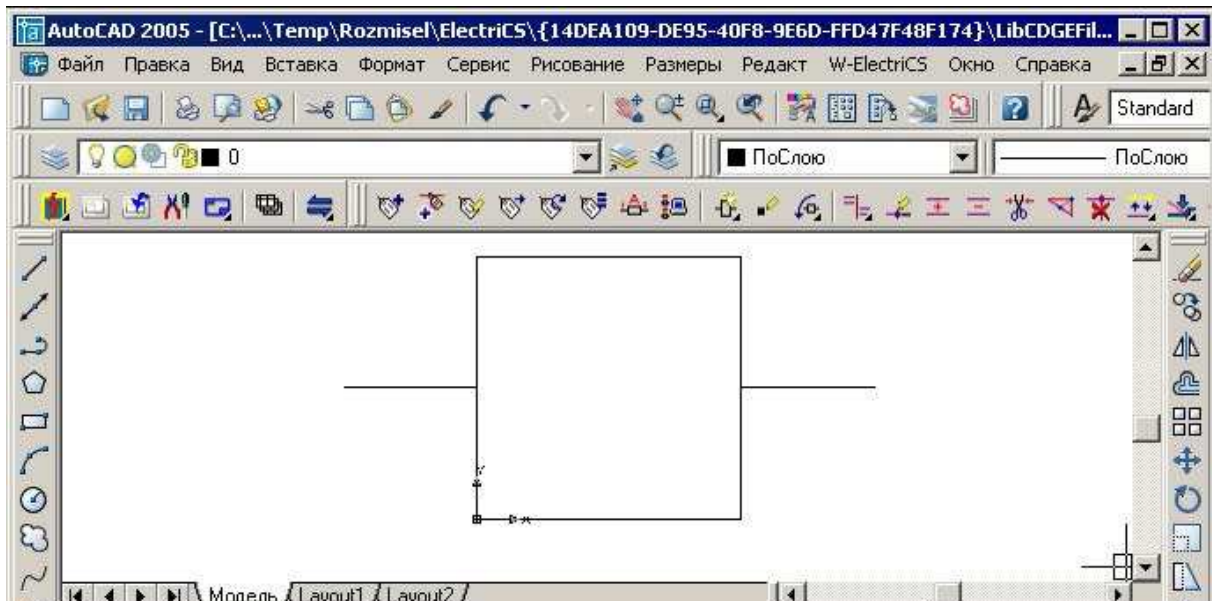


Рис. 21. Графика УГО в AutoCAD

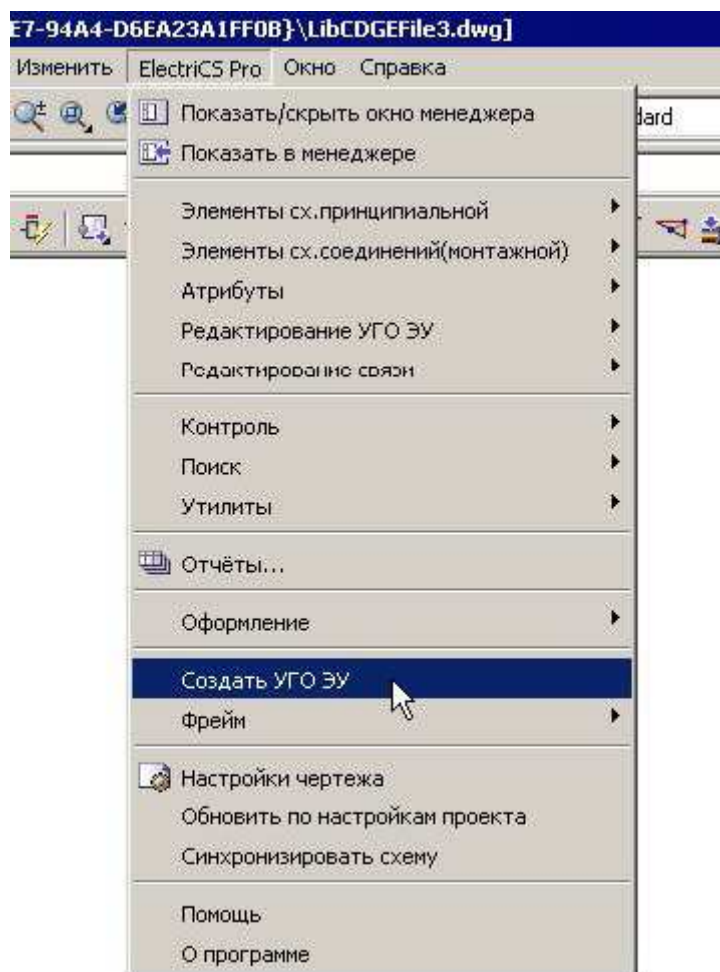


Рис. 22. Создание УГО ЭУ

В появившемся окне «Создания/редактирования УГО» (Рис. 23) надо выполнить следующие действия:

- Кнопкой «Выбор примитивов» указать графические примитивы на листе, которые следует включить в УГО. В подтверждении выбора нажать Enter или правую кнопку мыши. Кнопкой «Указать точку» - указать точку вставки УГО, рекомендуется – левый верхний контакт элемента.
- Указать тип: УГО (Рис. 24).
- Указать расположение контактов, для этого нажать кнопку Добавить, а потом указать на графике размещение первого контакта и вектор – направление подключения провода по умолчанию.
- Обозначив подобным образом другой контакт, в подтверждении расстановки контактов и векторов нажать Enter или правую кнопку мыши для появления окошко «Создания/редактирования УГО».
- Установить флажок «Добавить в библиотеку».
- По завершению всех установок надо нажать Ок. Закроется окошко. Далее можно закрыть и файл AutoCAD, при этом файл сохранять не надо, данный УГО уже сохранён в базе покупных изделий в библиотеке УГО (Рис. 25).

Аналогичным образом создаются остальные УГО элементов электрических устройств, которые потребуются для создания проекта (Рис. 26).

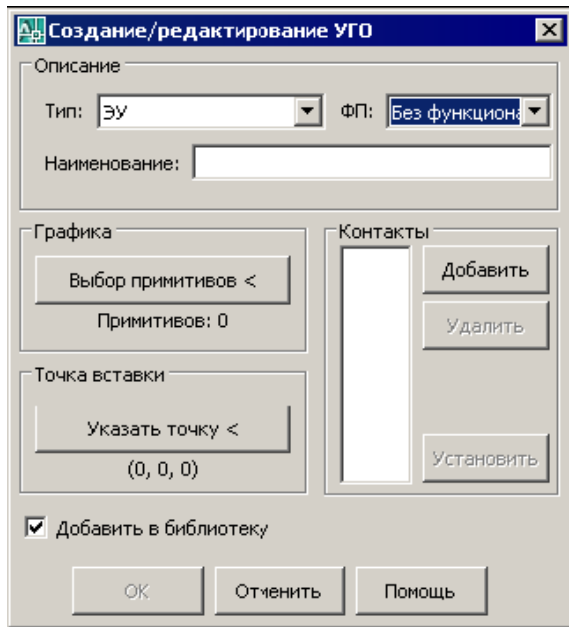


Рис. 23. Первоначальное окно редактирования УГО

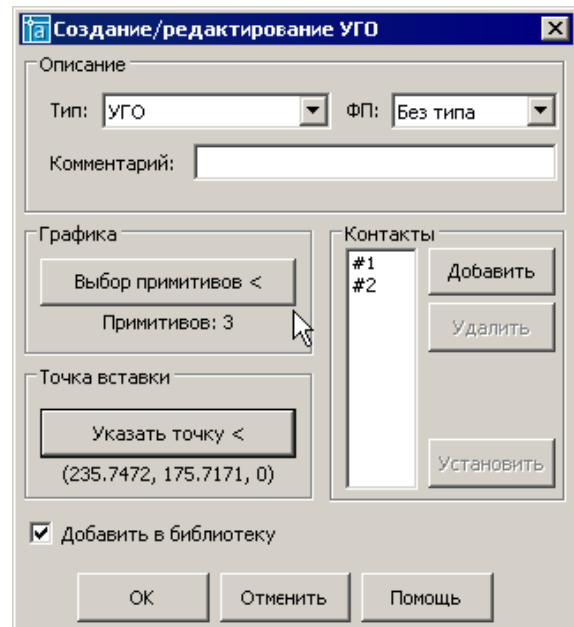


Рис. 24. Окно редактирования УГО с установленными параметрами

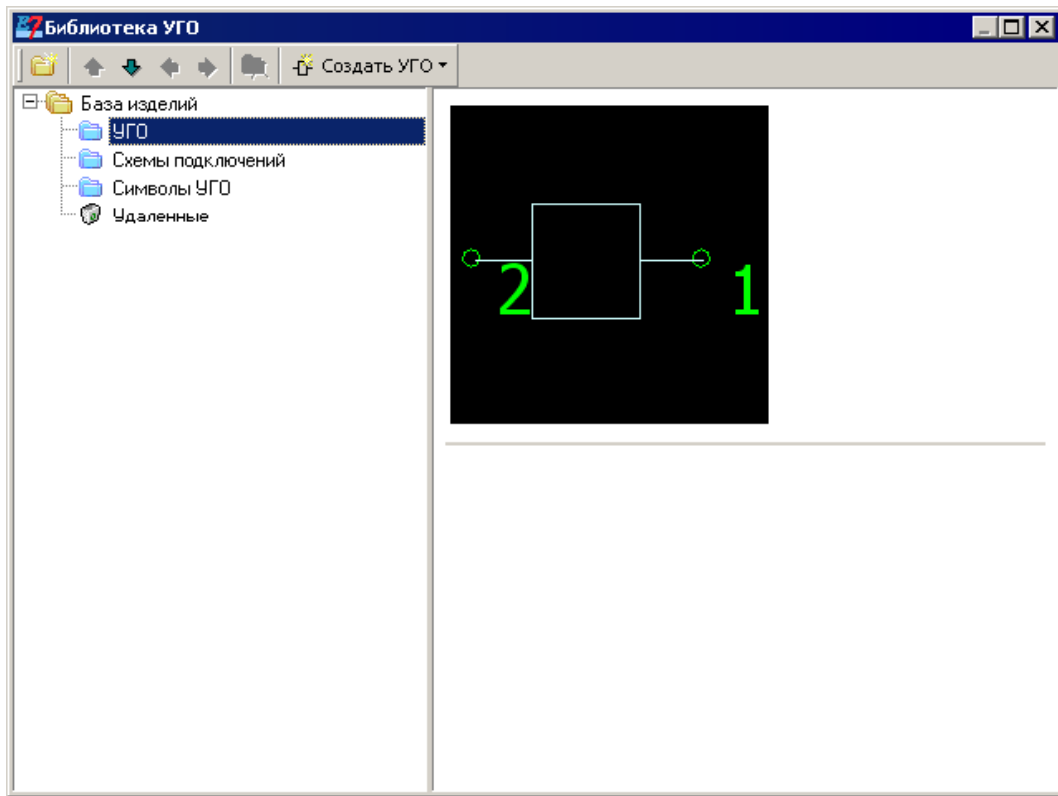


Рис. 25. Одно УГО в библиотеке

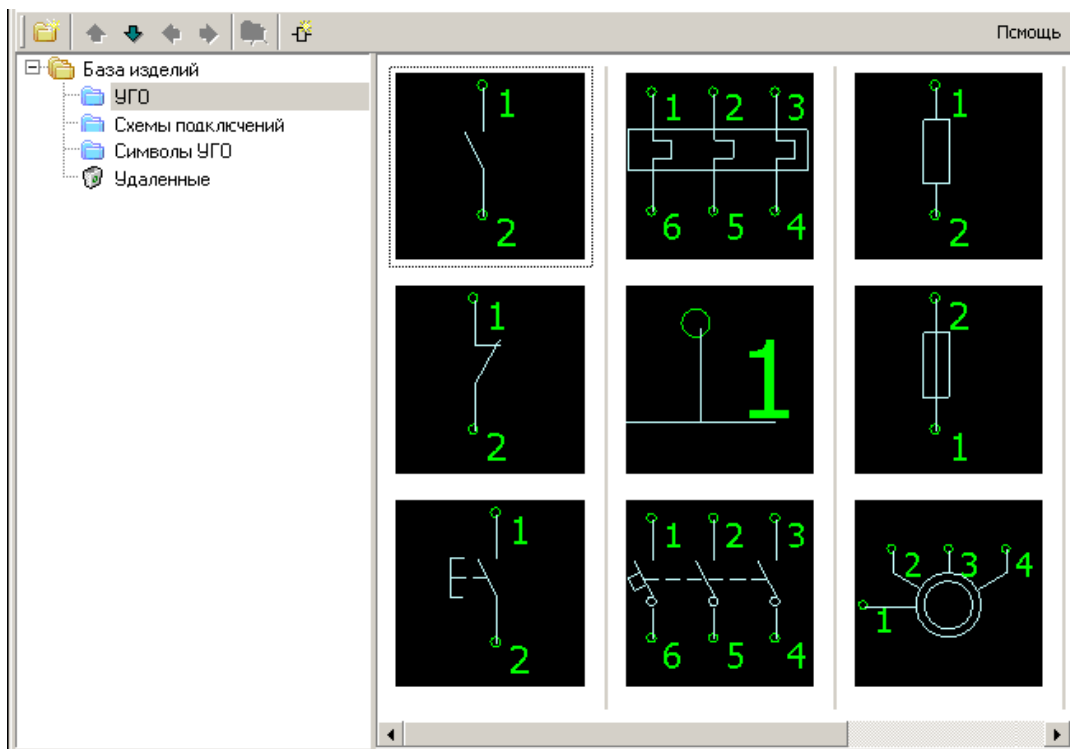


Рис. 26. Множество УГО в библиотеке

---

## II. РАЗРАБОТКА СХЕМ

---

При проектировании электронных средств, схемы разрабатывают в основном для сквозного проектирования печатных плат. Некоторые САПР ПП даже не поддерживают несквозное проектирование, т.е. в таких САПР нельзя сконструировать плату без схемы. Хотя бывает наоборот, т.е. САПР ПП включает только графический редактор топологии ПП (и не включает схемный редактор), такие САПР используются в основном для однослойных плат, используемых в бытовой аппаратуре. Разработка принципиальной электрической схемы, необходимой для разработки топологии ПП, описана в курсе лабораторных работ в данном учебном пособии.

Для сквозного проектирования кабелей и жгутов в сложной электронной аппаратуре также возникает необходимость в разработке электрической схемы перед конструированием кабелей и жгутов. Ниже описана последовательность использования инструментальных средств в электротехнической САПР ElectricS Pro.

### Добавление электрического устройства в проект

В Менеджере надо нажать кнопку создать ЭУ (электрическое устройство), см. Рис. 27. Для выбора типа устройства из базы покупных изделий надо нажать кнопку «многоточие» и выбрать тип устройства (Рис. 28). Затем надо ввести позиционное обозначение устройства в проекте, и назначить устройству проект и оболочку (Рис. 29). Далее надо нажать кнопку Создать, и в Менеджере, на закладке ЭУ появится строка с наименованием УГО, например «Пускатель магнитный» (Рис. 30). Зелёный кружок в элементе электрического устройства показывает, что данный элемент еще не вставлен в схему. Из менеджера надо выбрать требуемый элемент и добавить его в проект.

### Создание шин в проекте

В Менеджере надо перейти на закладку Шины и нажать кнопку «Создать шину», затем ввести параметры шины и нажать кнопку «Создать» (Рис. 31).

Далее нужно создать контакты. Для шины «А» создать два контакта – нажать на кнопку «Создать контакт шины» (Рис. 32). Будет создан контакт 1. Таким же образом создается контакт 2. Аналогично создаются остальные шины и в результате для магнитного пускателя должно получиться так, как показано на Рис. 33. Затем надо выбрать шину и разместить ее на листе схемы (Рис. 34). Таким же образом размещаются на листе схемы все шины и контакты шин (Рис. 35).

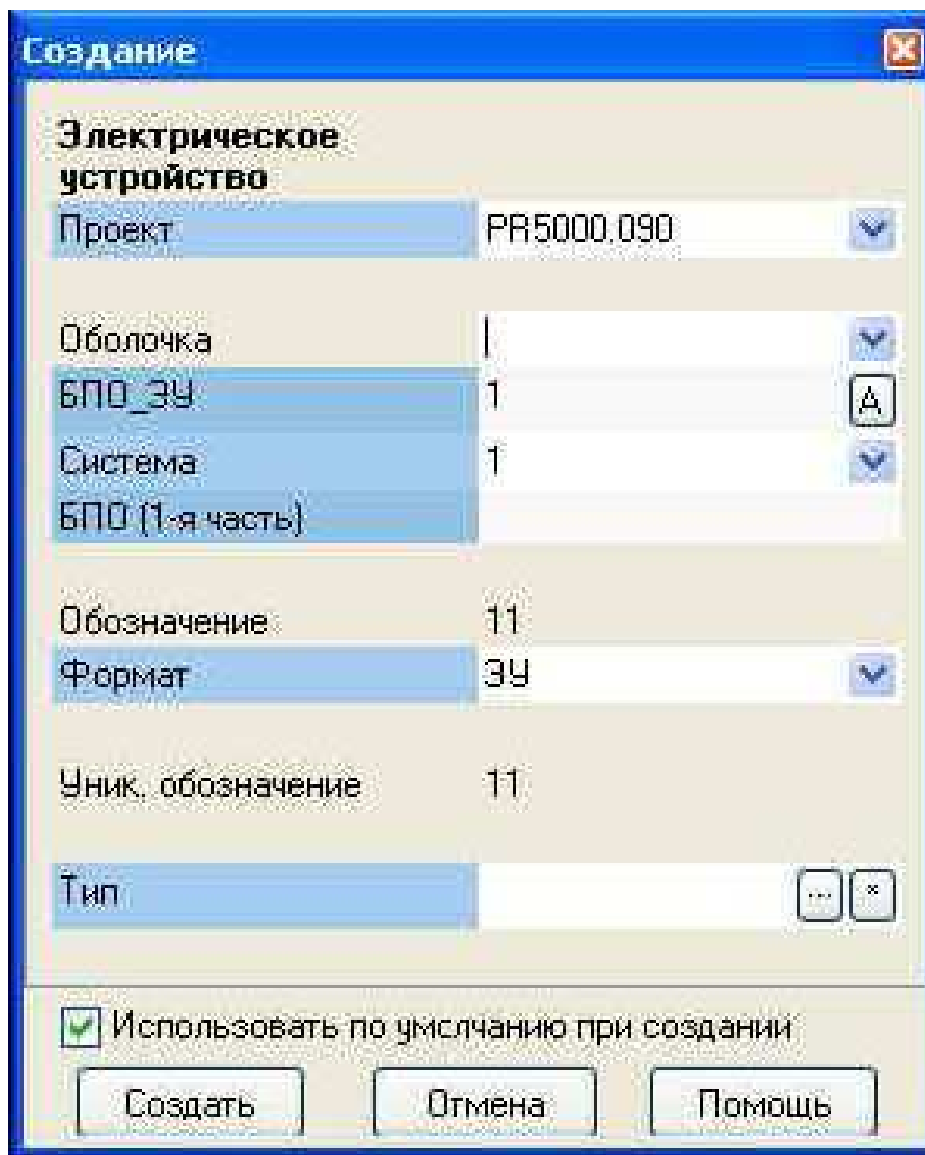


Рис. 27. Добавление электрического устройства

Имя каталс	Обозн.изд.	Заказ	Применяемость	Постав	Функциональное	Нормо
Выключате	ВА51Г25-340010P00YХЛ3,5 А,14 In ТУ 16	Выключатель автома	Всегда применяется:		Выключатель авт	✓
Электродви	АИР160S2 У3 , 50 Гц, 380 В, 1М1001, ТУ1Е	Двигатель АИР160S2	Всегда применяется:		Двигатель	✓
Кнопки	XB4 с контактом 1NO ZBE-101	Кнопка Белая XB4 с к	Всегда применяется:		Выключатель кно	✓
Кнопки	Красная XB4 с контактом 1NC ZBE-102	Кнопка Красная XB4 с	Всегда применяется:		Выключатель кно	✓
Лампы	зеленая ZBV-M3 230В	Лампа зеленая ZBV-M	Всегда применяется:		Прибор световой	✓
Предохран	ЗНЕ4118	Предохранитель ЗНЕ4	Всегда применяется:		Предохранитель г	✓
Преобразо	ЗГЗRV-A4185	Преобразователь час	Всегда применяется:		Преобразователь	✓
Пускатели	ПМЛ 1100	Пускатель магнитный	Всегда применяется:		Контактор, магни	✓
Разъемы	2РТТ206ПН4Г68 АШДК.434410.060 ТУ	Разъем цилиндрическ	Всегда применяется:		Разъем (розетка)	✓
Разъемы	2РТТ20КПН4Ш68 АШДК.434410.060 ТУ	Разъем цилиндрическ	Всегда применяется:		Разъем (вилка)	✓
Резисторы	МЛТ2-1,0 кОм	Резистор МЛТ2-1,0 кО	Всегда применяется:		Резистор	✓
Реле	РТЛ-1004 0*4 0,38-0,65А ТУ 16-523.549-82	Реле электротеплов	Всегда применяется:		Реле электротепл	✓

Рис. 28. Выбор покупного изделия

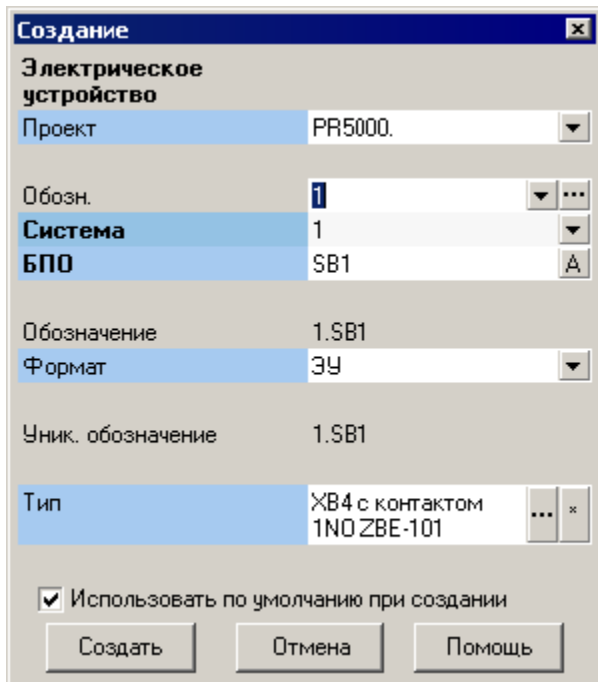


Рис. 29. Параметры электрического устройства

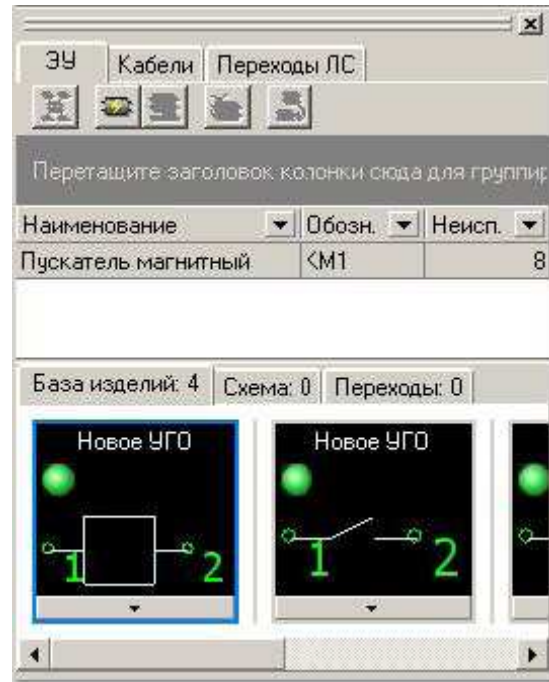


Рис. 30. Менеджер элементов схемы

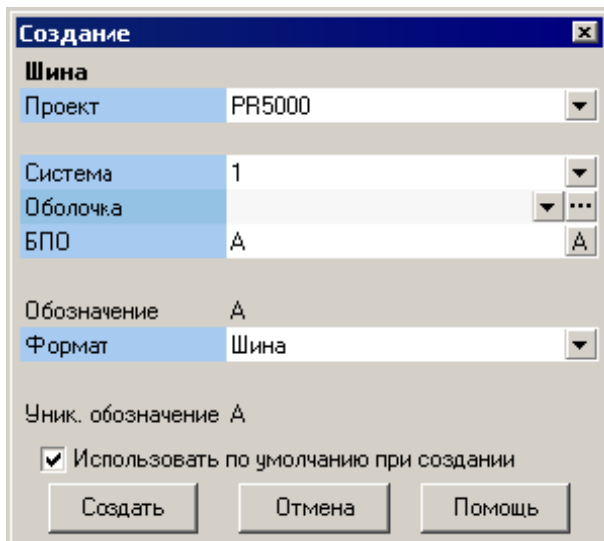


Рис. 31. Параметры шины

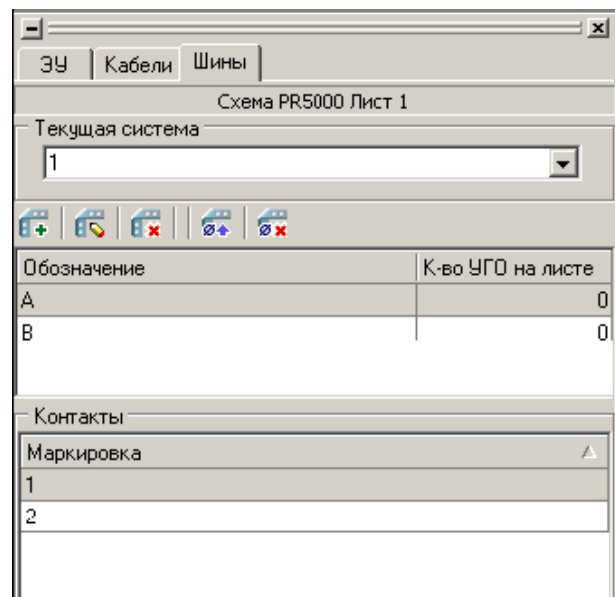


Рис. 32. Добавление контактов к шине

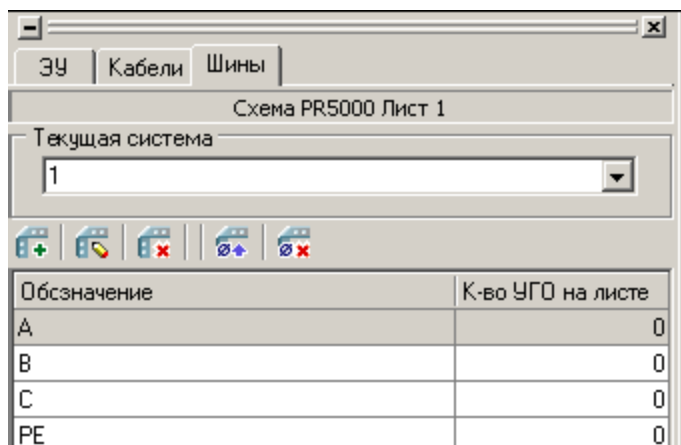


Рис. 33. Список шин для магнитного пускателя

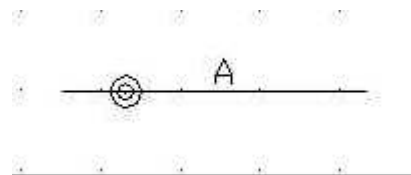


Рис. 34. Размещение шины «А» на листе схемы

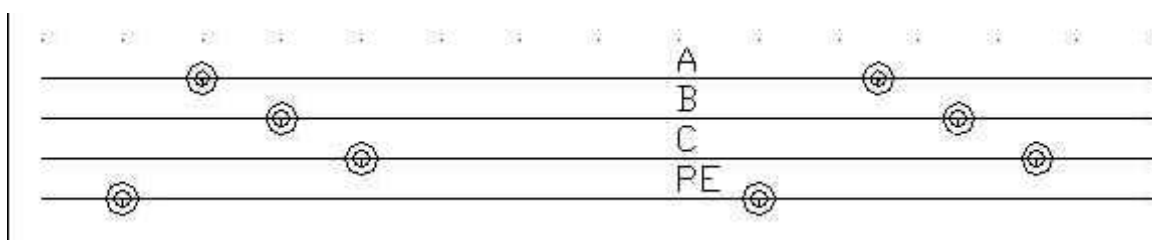


Рис. 35. Размещение 4х шин на листе схемы

#### Размещение УГО электрических устройств на листе схемы

Перейти на закладку «ЭУ» (Рис. 32). Выбрать в списке ЭУ выключатель автоматический QF1. Поместить УГО устройства QF1 на схему. Для этого в нижней части менеджера выделить мышкой УГО элемента и, удерживая нажатой левую кнопку мыши, перенести его на поле листа схемы. И указать точку вставки УГО на листе схемы (Рис. 36).

Примечание: символ в виде сиреневого квадрата на контакте указывает, что контакт не подсоединён. Данный символ находится на специальном слое, который не выводится на печать.

Перенести атрибут контакта «С3». В панели инструментов нажать кнопку «Перенести атрибут». Указать на текст «С3» и перенести его в новую точку размещения атрибута (Рис. 37).

Для устройства FU1 (предохранителя) после вставки всех УГО рекомендуется воспользоваться командой «RW\_CDGROUP» для совмещенного обозначения. Эту же операцию можно выполнить из меню «Редактирование УГО ЭУ» выбрав команду «Совмещенное обозначение» (Рис. 38). После ввода команды указать обозначение, которое должно оставаться на схеме, после чего выбрать все УГО этого устройства, которых не должно быть на схеме. В подтверждении команды нажать Enter или правую кнопку мыши. В результате получится так, как показано на Рис. 39.

Аналогичным образом располагаются остальные элементы на листе схемы (Рис. 40).



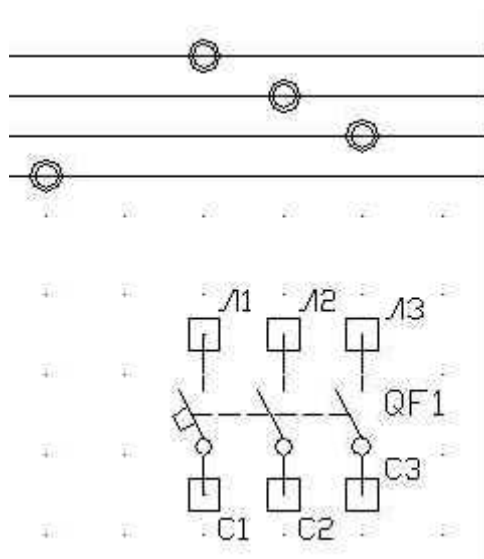


Рис. 36. Автоматический выключатель на листе схемы

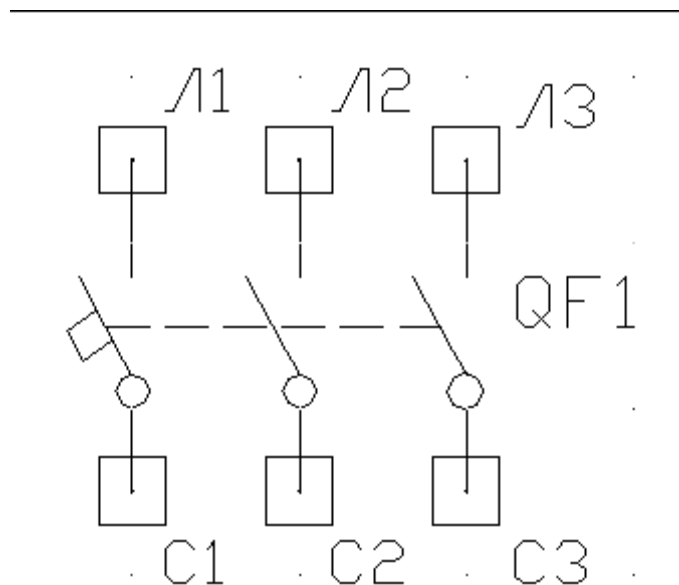


Рис. 37. Редактированное УГО автоматического выключателя

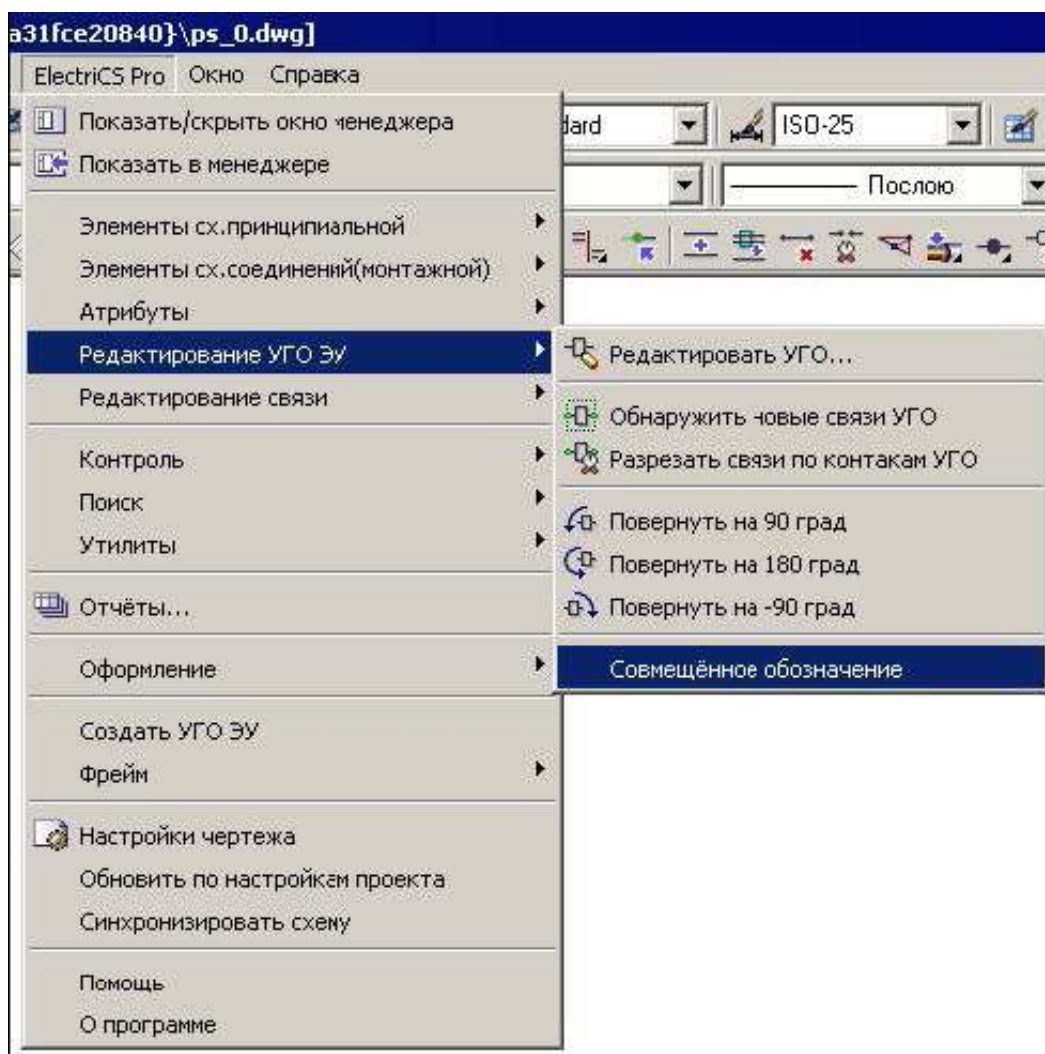


Рис. 38. Команда «Совмещённое обозначение»

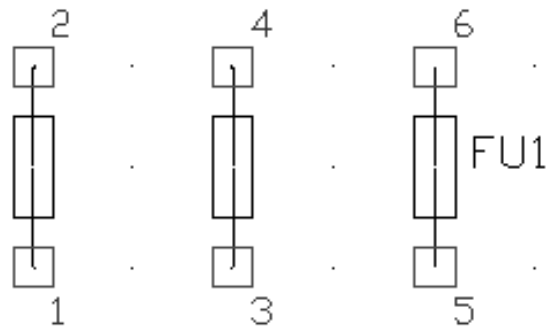


Рис. 39. Совмещенное обозначение предохранителя

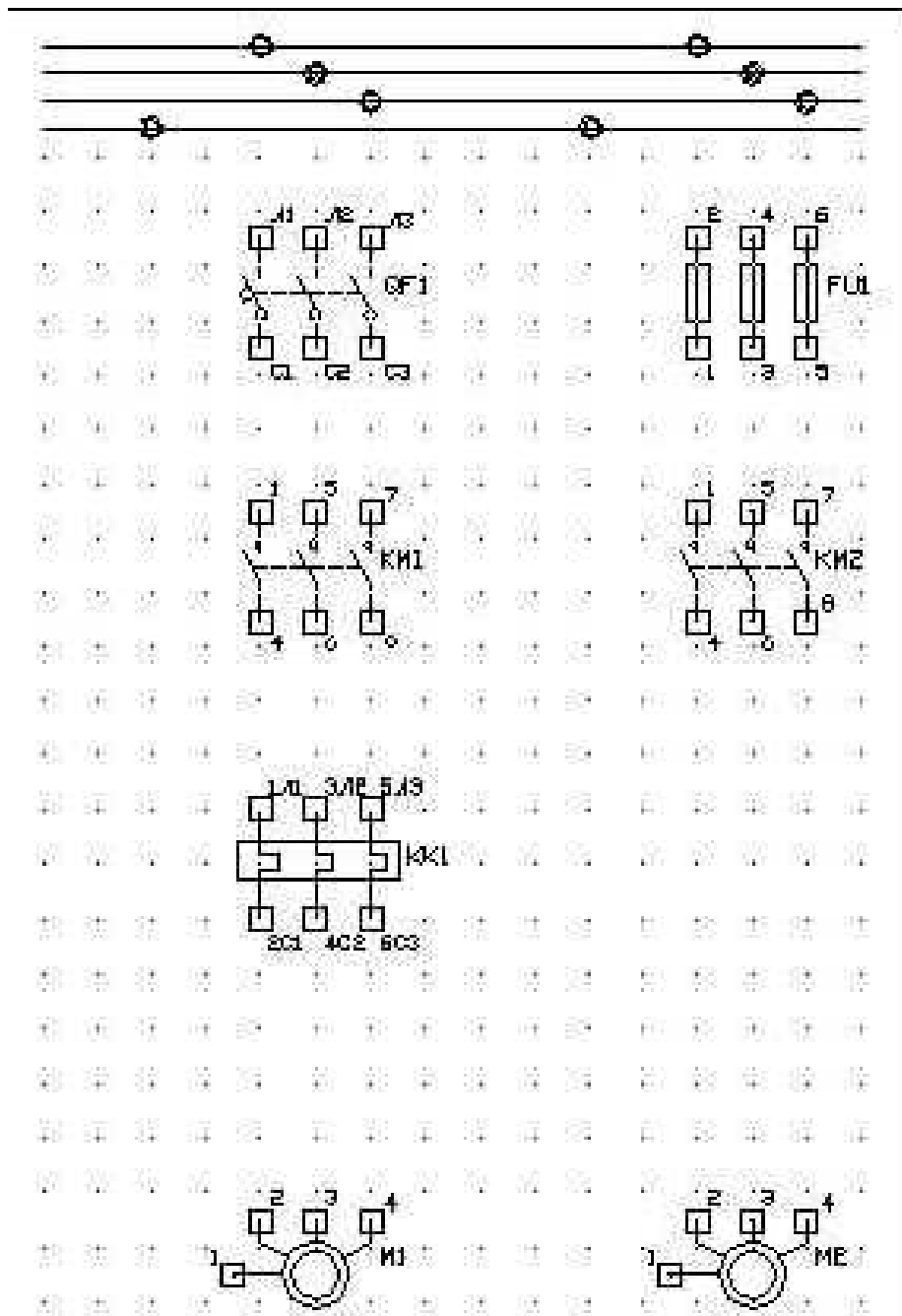


Рис. 40. Множество УГО ЭУ на листе схемы

### Размещение динамического УГО на листе схемы

В списке ЭУ выбрать преобразователь частотный UZ1. В нижней части менеджера выделить мышкой УГО типа «таблица». Удерживая нажатой левую кнопку мыши перенести УГО на лист схемы (Рис. 41).

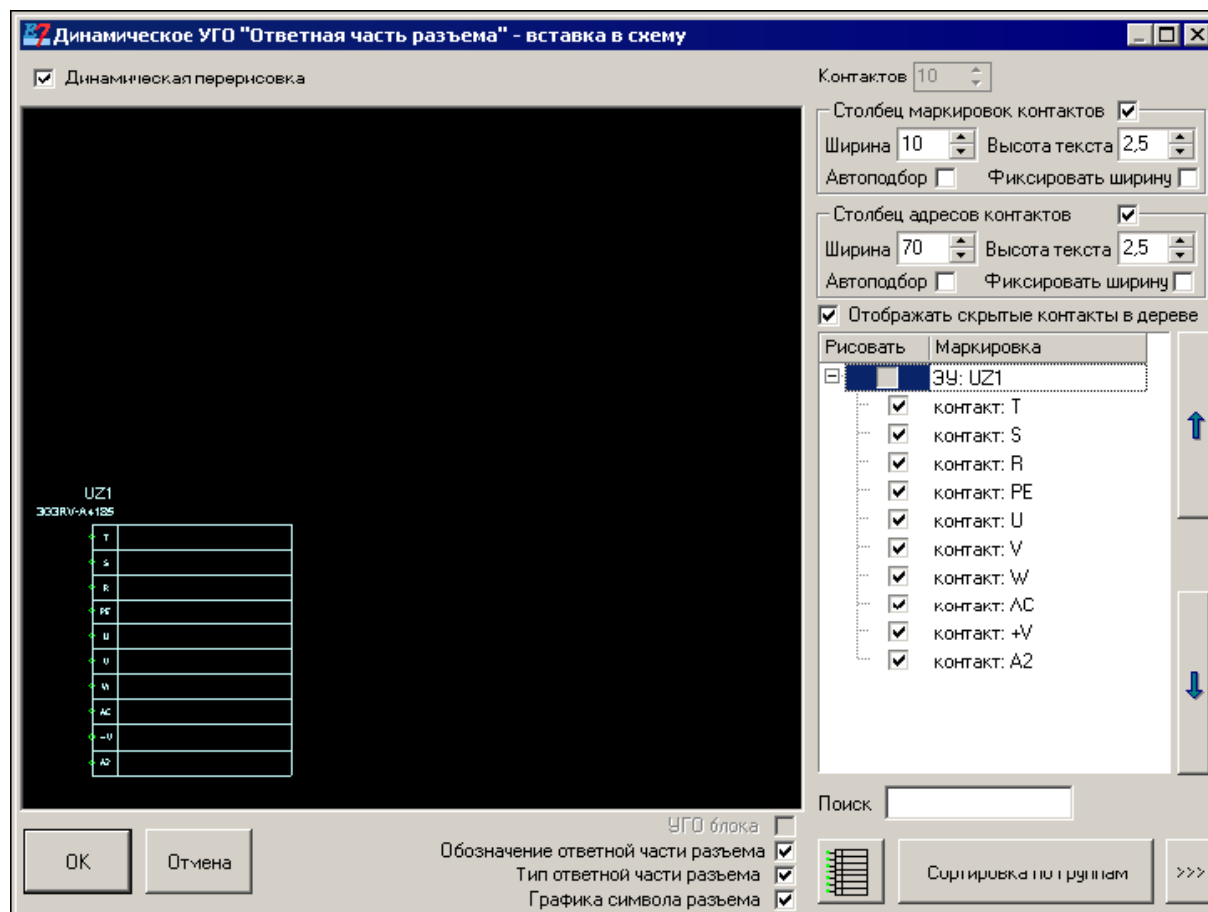


Рис. 41. Динамическое УГО частотного преобразователя

Отредактировать параметры динамического УГО. Снять флажки у всех контактов, кроме T, S и R (Рис. 42). Снять флажки: «Столбец адресов контактов» и «Тип ответной части разъема». Установить направление контактов «вверх» нажатием на соответствующую кнопку.

Нажать кнопку «ОК» и указать точку вставки УГО на листе схемы. Следующим шагом вставить таким же образом контакты: U, V, W. В параметрах установить направление контактов «вниз» и снять галочки «Обозначение ответной части разъема» и «Тип ответной части разъема». Затем вставить УГО на лист схемы (Рис. 43).

Вставить контакт «PE», установить направление контактов «влево» (Рис. 44). Вставить УГО блока. В нижней части менеджера выделить мышкой УГО типа «блок». Удерживая нажатой левую кнопку мыши перенести УГО на лист схемы. Установить ширину и высоту блока и нажать кнопку «ОК». Указать точку вставки УГО на листе схемы.

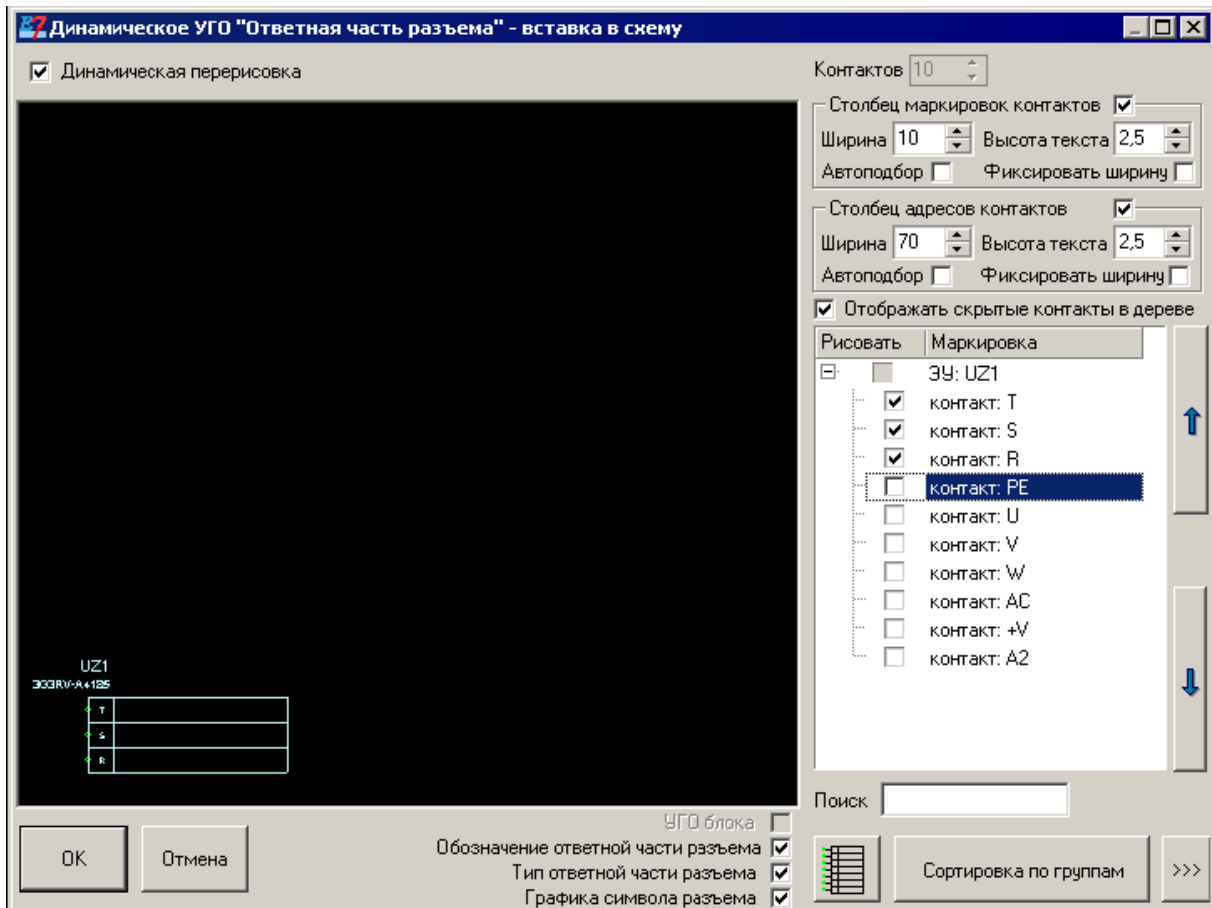


Рис. 42. Редактированное динамическое УГО частотного преобразователя

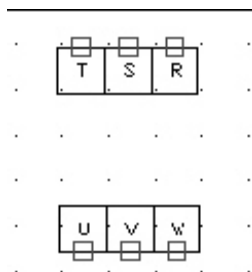


Рис. 43. Шесть контактов частотного преобразователя

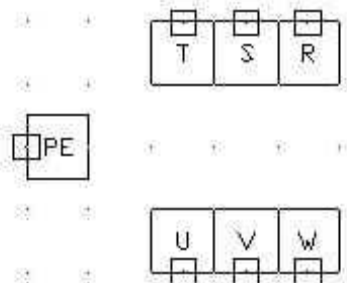


Рис. 44. Семь контактов частотного преобразователя (с заземлением)

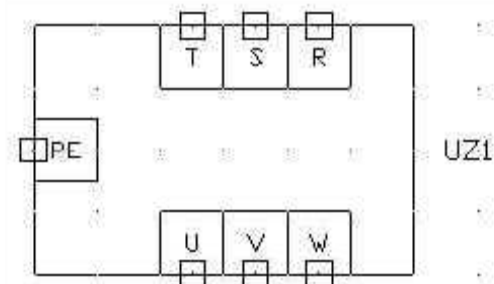


Рис. 45. УГО частотного преобразователя на листе схемы

В результате схема примет вид, показанный на Рис. 46.

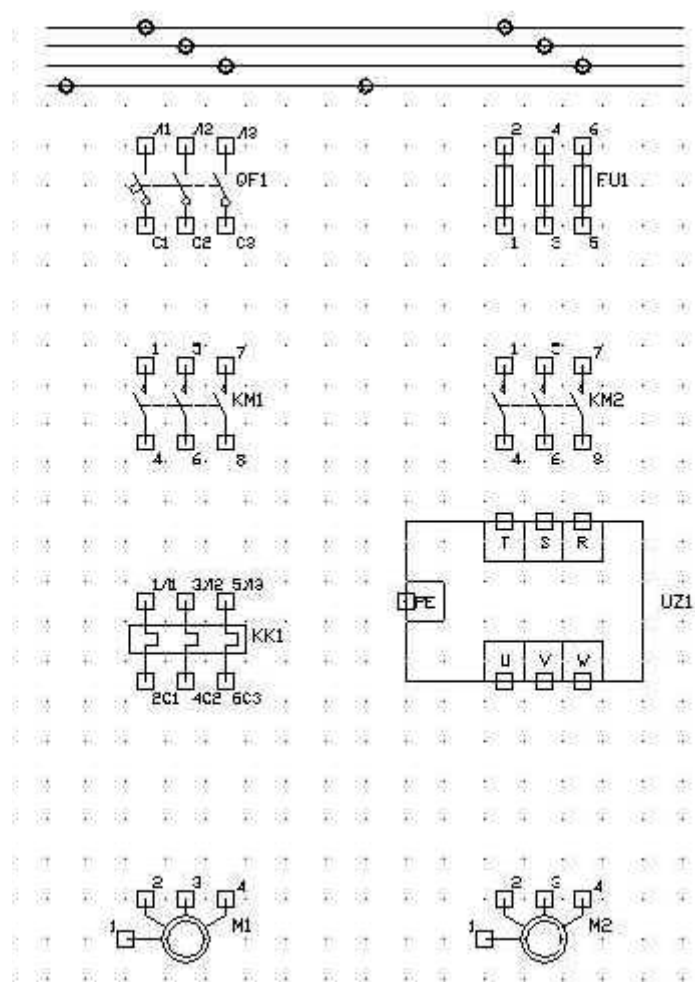


Рис. 46. Шины и УГО первого листа схемы

Аналогичным образом вставить УГО устройств на следующий лист схемы. При вставке на лист схемы кнопки SB2 надо повернуть УГО устройства на 270 градусов. Удерживая нажатой левую кнопку мыши перенести УГО устройства на лист схемы. Отпустить левую кнопку мыши и для указания поворота элемента вызвать контекстное меню нажатием на правую кнопку мыши. Затем выбрать значение «270» и указать точку вставки УГО на листе схемы (Рис. 47).

#### Создание линий электрических связей

Для создания линий электрической связи, надо, нажав соответствующую кнопку, указать первый и второй контакты (Рис. 48).

Примечание: символ в виде зелёного кружка на контакте показывает, что данный контакт стал иметь соединение. Данный символ находится на специальном слое, который не выводится на печать.

В результате создания электрических связей между всеми УГО получится изображение, показанное на Рис. 49.

Далее надо подключить контакты QF1 и FU1 к шинам (Рис. 50).

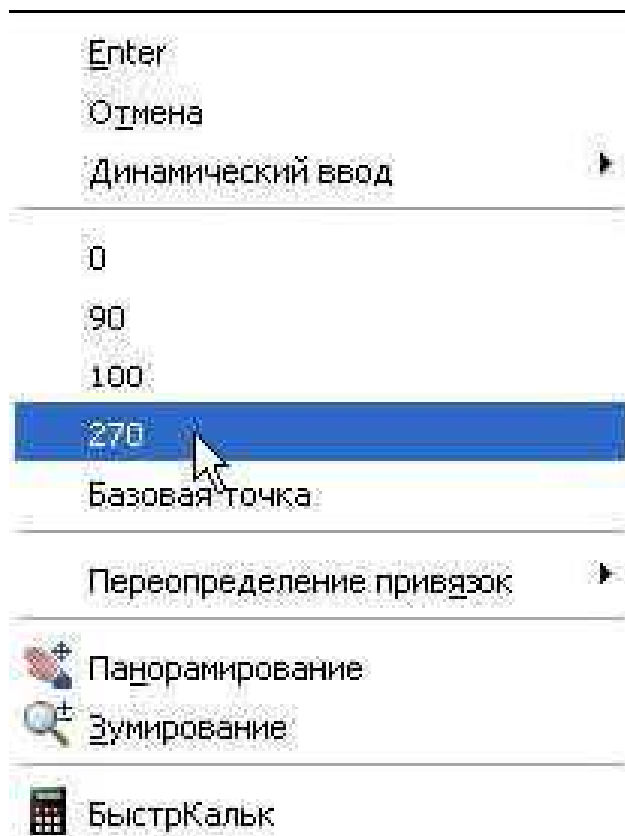


Рис. 47. Поворот УГО на 270 градусов

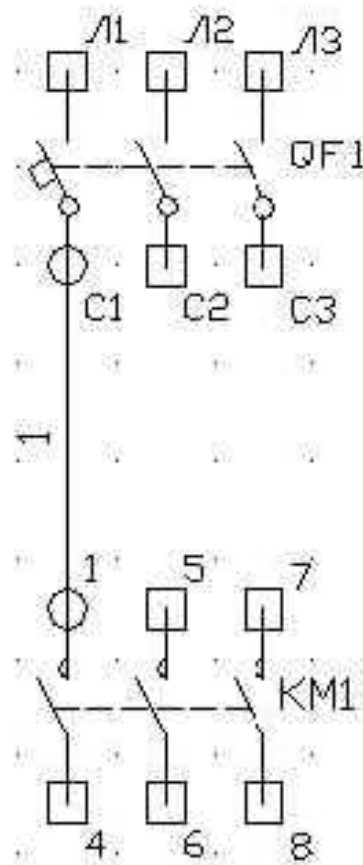


Рис. 48. Одна линия связи между QF1 и KM1

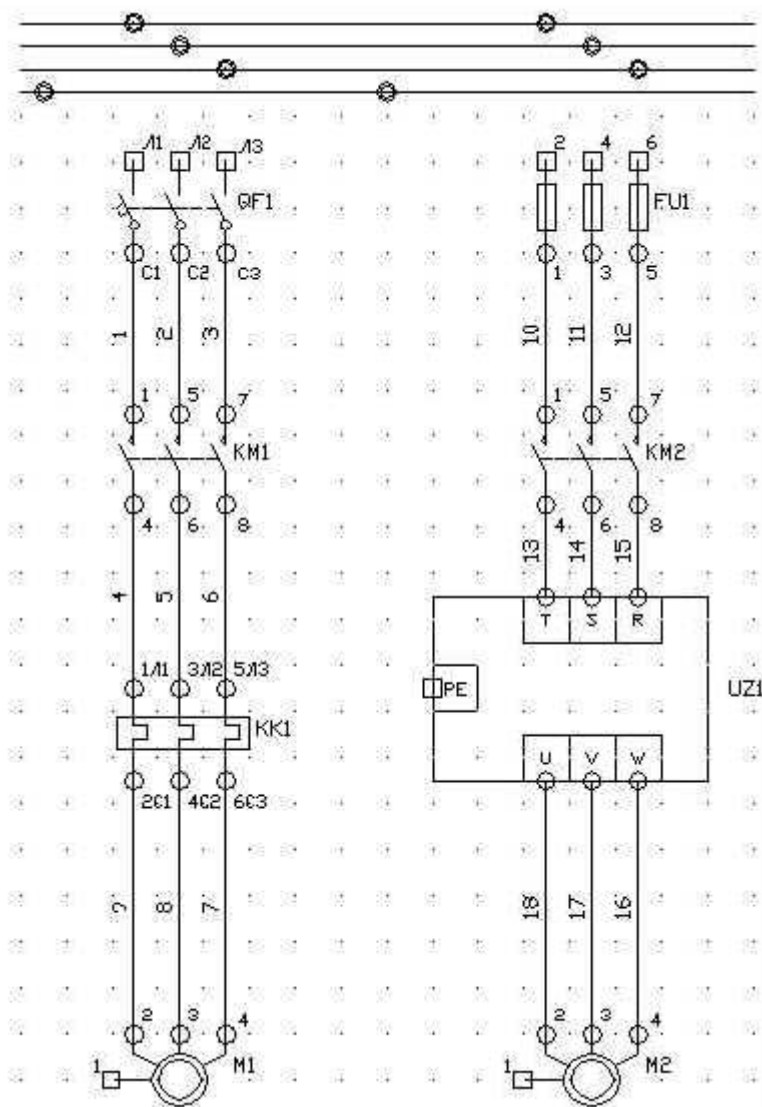


Рис. 49. Линии связи между всеми УГО

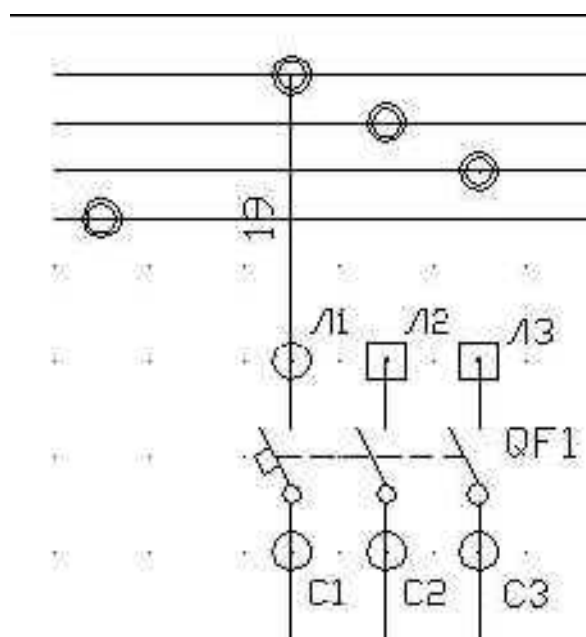


Рис. 50. Подключение QF1 к шине

Затем необходимо изменить обозначение линии связи. Для этого надо нажать в панели инструментов кнопку «Редактировать атрибут» и указать на обозначение линии связи. И в поле «БПО\_ЛС» изменить обозначение на «А1» (Рис. 51).

Аналогичным образом подключаются остальные контакты к шинам. В результате получается рисунок, показанный на Рис. 52.

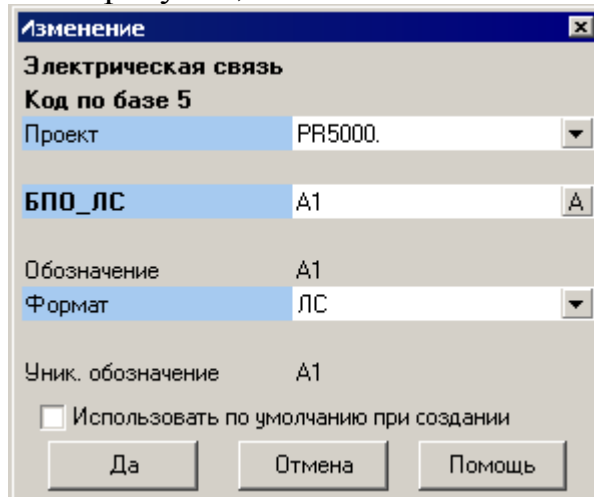


Рис. 51. Редактирование электрической связи

Для выравнивания положения обозначений линий связи А1, А2, В1, В2, С1 и С2 в панели инструментов надо нажать на кнопку «Выровнять атрибуты связей». Указать на листе схемы первую и вторую точку линии выравнивания таким образом, чтобы эта линия прошла через те линии связи, обозначения которых надо выровнять. В результате получится схема, представленная на Рис. 53.



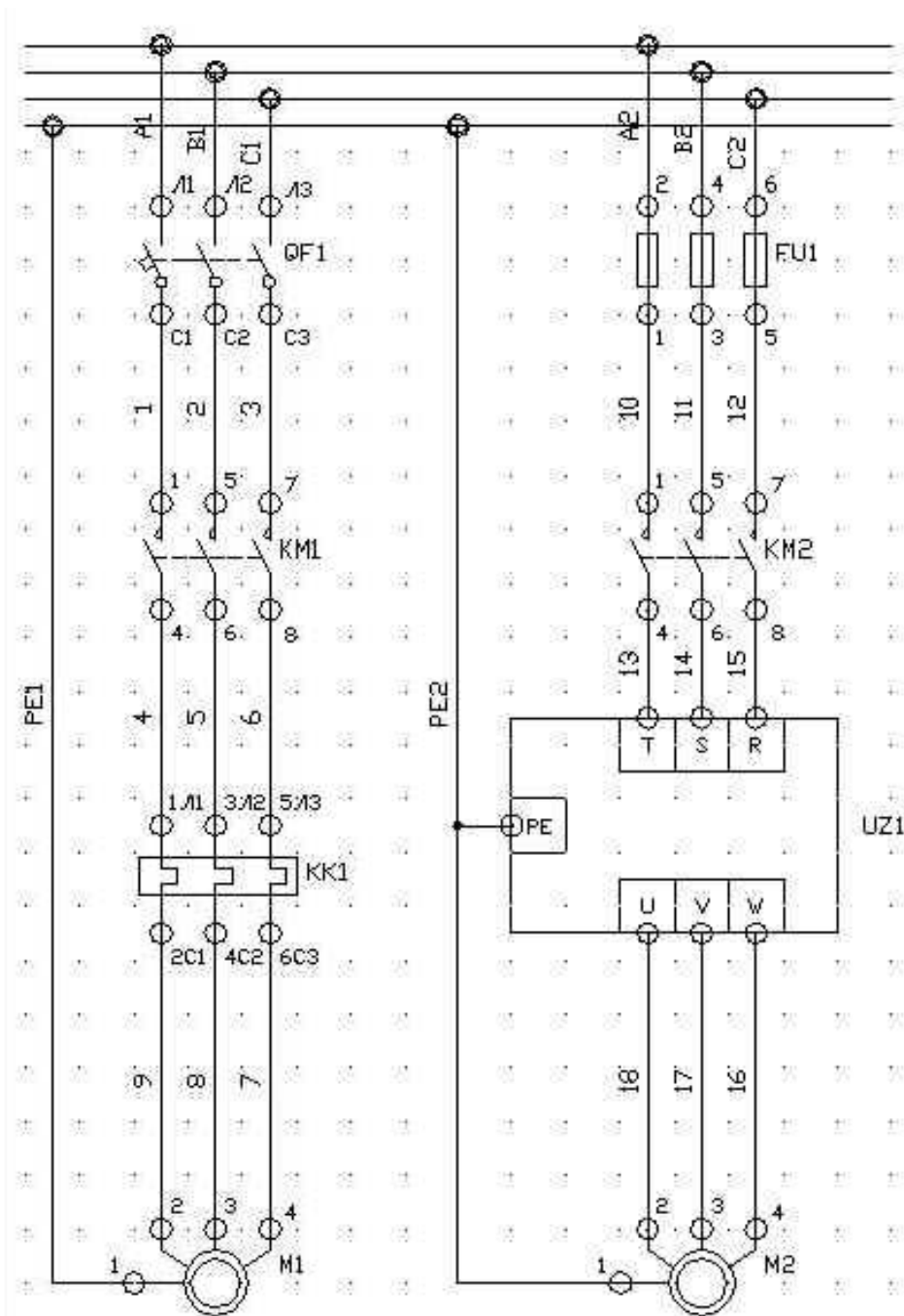


Рис. 52. Все подключения к шинам

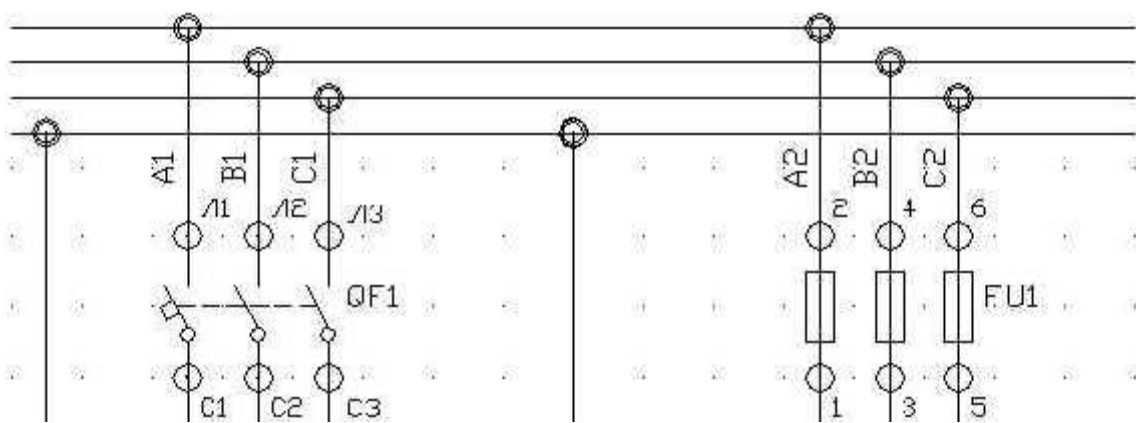


Рис. 53. Выровненные обозначения линий связей

### Объединение электрических связей, расположенных на разных листах

Предположим, что требуется объединить линию связи между контактами: «2» устройства SB2 и «X1» устройства HL1 (Рис. 54.) с линией связи «1» на предыдущем листе схемы. Для этого надо дважды щёлкнуть на обозначении линии связи и присвоить ей имя «1». Выведется предупреждение о наличии электрической связи с таким обозначением с предложением объединить их, в этом окошке надо нажать «Да». Аналогично можно создать линию связи между контактами «А» устройства KM1 и контактом X2 устройства HL1. И объединить созданную линию связи с линией связи 3.

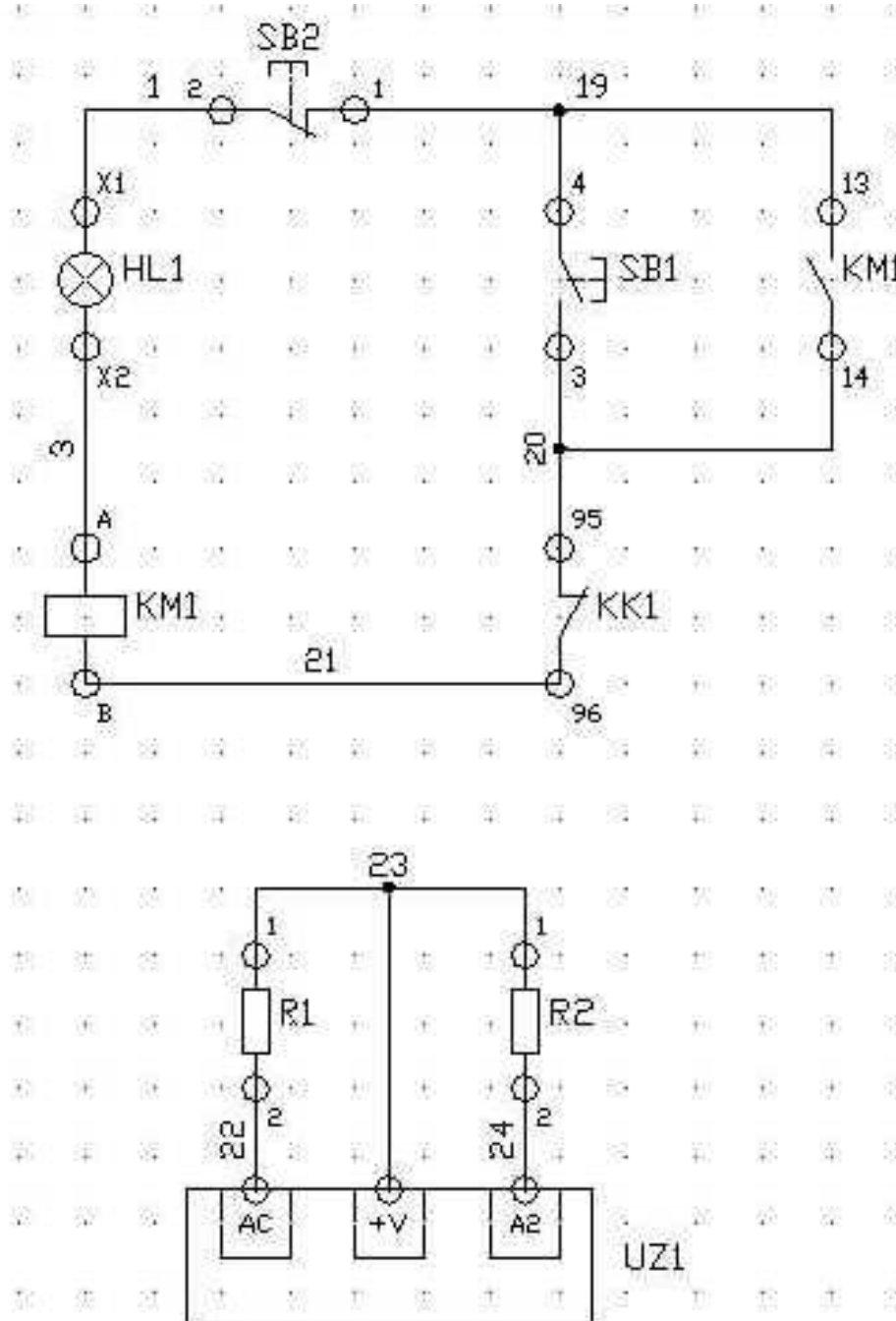


Рис. 54. Второй лист схемы

### Вставка символов перехода линии электрической связи на другой лист

В менеджере надо перейти на закладку «Переходы ЛС». Выбрать ЛС «1» для которой нужно будет вставить переход. Справа выбрать закладку «На лист схемы» (Рис. 55.).

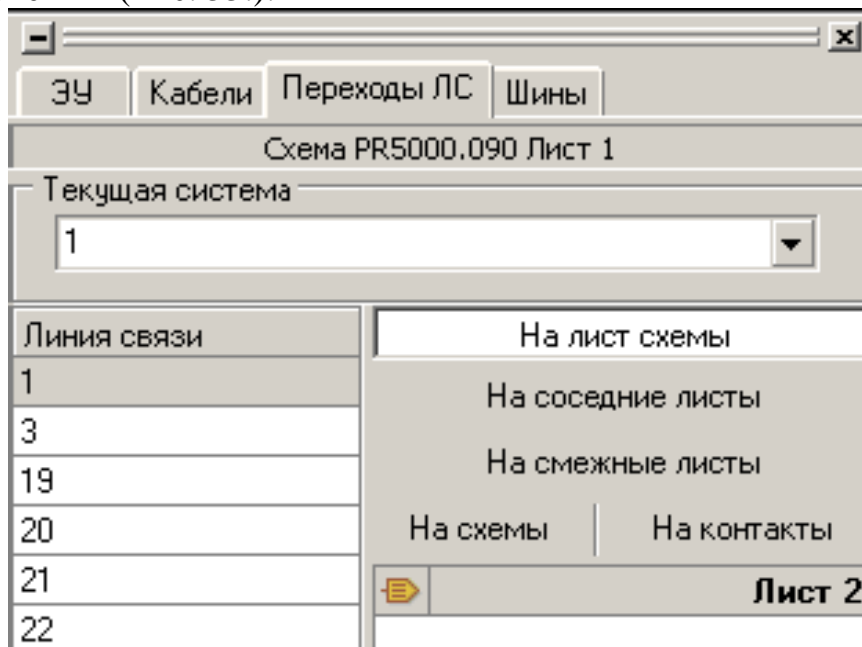


Рис. 55. Вкладка «Переходы ЛС»

На закладке «На лист схемы» подсказывается, что данная ЛС есть также на листе с номером 2. Выбрать строку «Лист 2» и удерживая нажатой левую кнопку мыши перенести ее на лист. Отпустить левую кнопку мыши и повернуть УГО перехода на 180 градусов, используя контекстное меню. Указать точку вставки УГО перехода на листе схемы. УГО перехода автоматически подключится с линии связи «1».

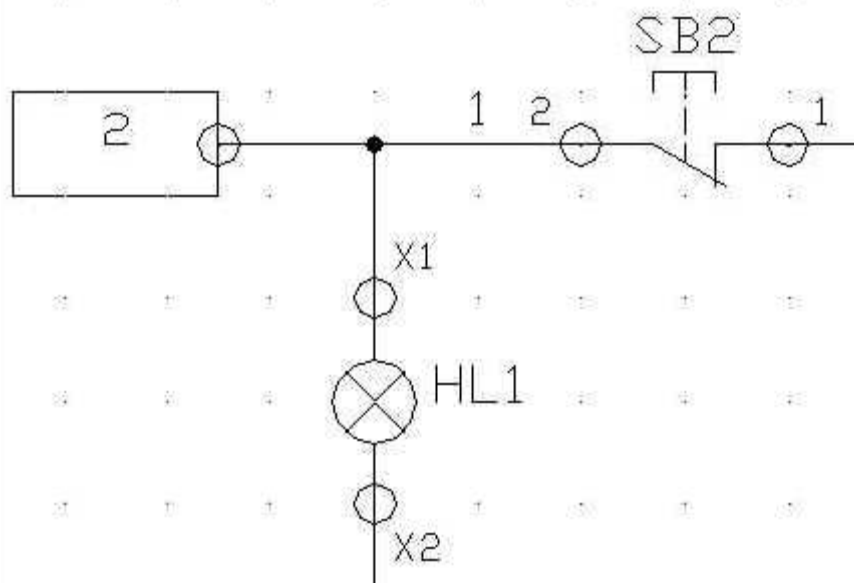


Рис. 56. Переход в схеме на второй лист

Обратите внимание – в перечне переходов строка «Лист 3» стала нормальным шрифтом (не жирным). Таким образом указывается, что данный переход уже вставлен в схему.

Аналогично можно вставить и второй переход, см. Рис. 57.

Далее надо загрузить первый лист схемы и вставить переходы линий связи на него (Рис. 58.). В случае изменения порядка листов атрибуты на переходах пересчитаются автоматически.

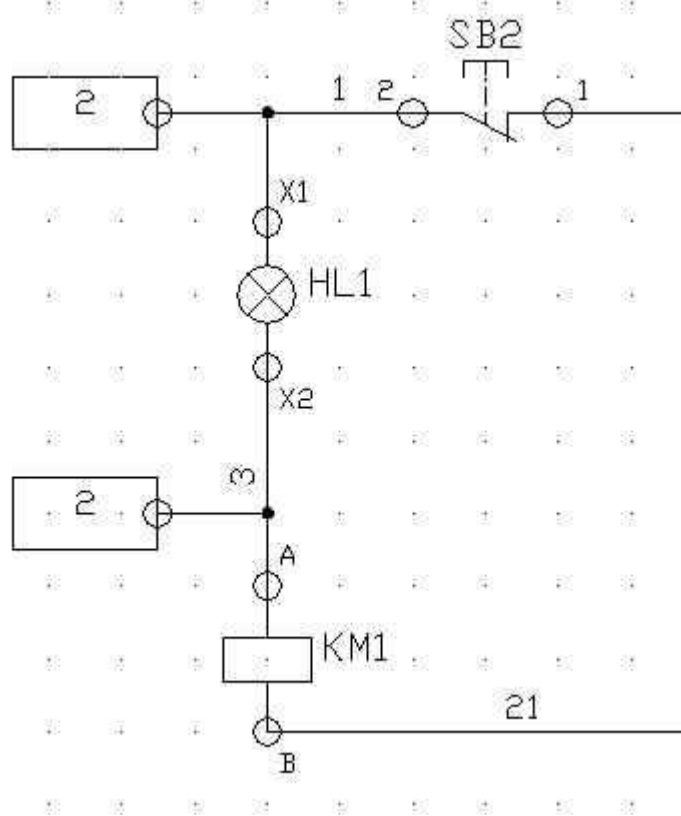


Рис. 57. Два перехода в схеме

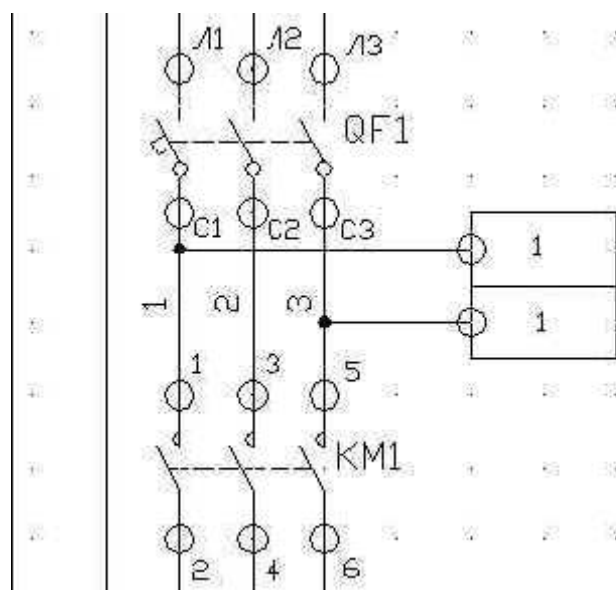


Рис. 58. Переходы в первом листе схемы

### Создание экранов и скруток на листе принципиальной схемы

Предположим, что линии связи 16, 17, 18 необходимо положить в экран. Для создания экрана на листе принципиальной схемы надо нажать в панели инструментов на кнопку «Экран». Указать первую и вторую точки экрана. Линии связи автоматически будут помещены в экран (Рис. 59).

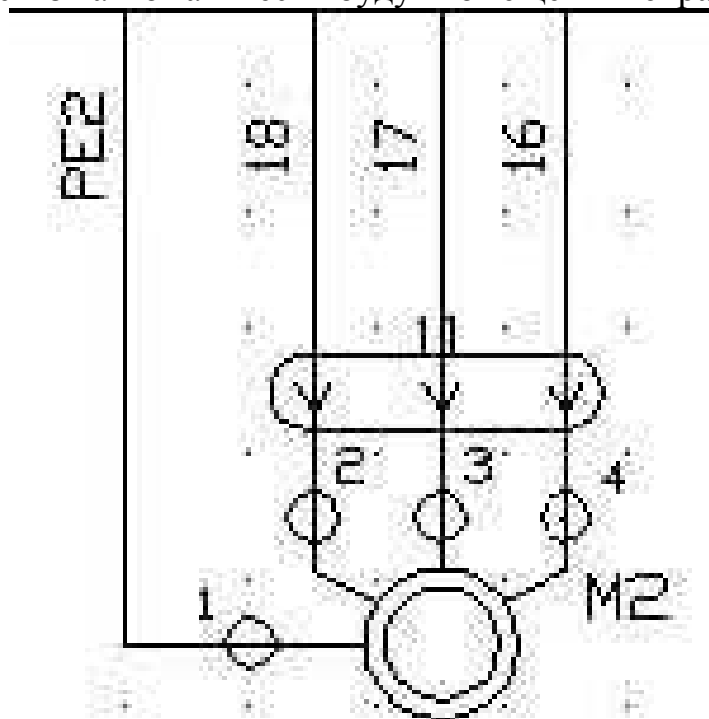


Рис. 59. Линии 16, 17, 18 в экране

Допустим, что эти же линии связи надо поместить еще и в скрутку. Для создания скрутки на листе принципиальной схемы надо нажать в панели инструментов кнопку «Скрутка». Указать первую и вторую точки скрутки. Линии связи автоматически будут помещены в скрутку (Рис. 60).

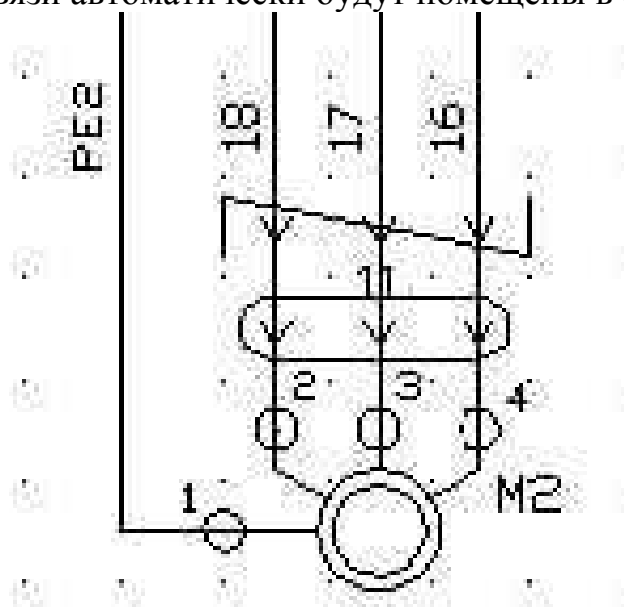


Рис. 60. Линии 16, 17, 18 в скрутке

### Подключение экрана на землю.

Сначала надо вставить УГО корпуса на лист схемы. Нажать в панели инструментов кнопку «Корпус/Земля». Повернуть УГО корпуса на 90 градусов. Нажатием на правую кнопку мыши вызвать контекстное меню и выбрать значение угла поворота «90». Указать точку вставки УГО на листе схемы (Рис. 61).

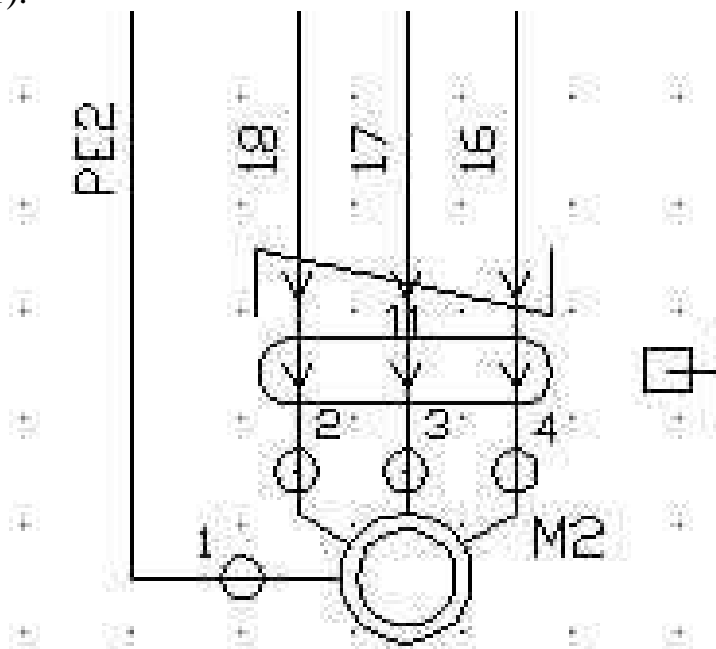


Рис. 61. УГО «земли» на схеме

Затем подключить экран на землю. В панели инструментов нажать кнопку «Подключение экрана». Указать экран и контакт УГО корпуса (Рис. 62).

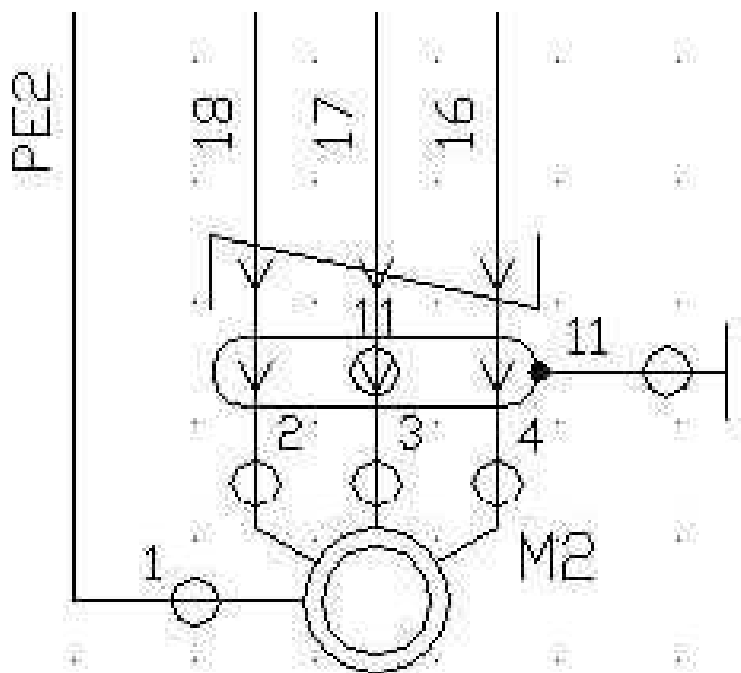


Рис. 62. Экран, подключенный к «земле»

Далее надо построить второе УГО экрана и скрутки около ЭУ UZ1. В панели инструментов нажать кнопку «Разместить кабельные структуры». Указать экран. УГО экрана и скрутки будет построено автоматически. Подключить второе УГО экрана на землю (Рис. 63).

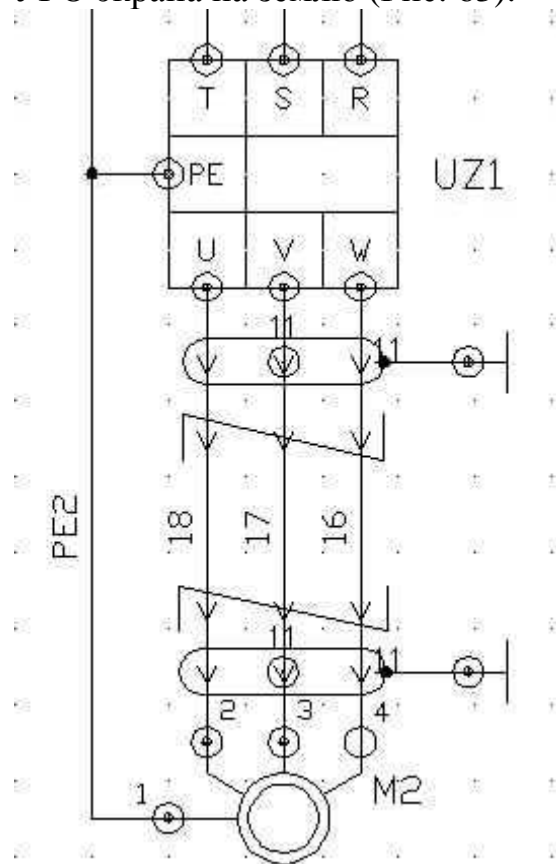


Рис. 63. Заземление двух экранов

При закрытии AutoCAD обязательно сохранять все изменения листов схем именно под теми именами файлов, которые были по умолчанию.

---

## III. МОДЕЛИРОВАНИЕ

---

### 1. Двухмерное моделирование ПП

При двухмерном моделировании печатных плат (ПП) необходимо создавать модель платы (контур) и модели корпусов электронных компонентов (ЭК). Двухмерное моделирование корпусов рассмотрено в курсе лабораторных работ в данном учебном пособии. Для моделирования контура платы в Altium Designer используется несколько подходов, пять из них рассмотрены в этом параграфе. Основными инструментальными средствами создания контура платы в «Altium Designer 10» являются: «PCB Board Wizard», «Design>Board Shape», «Place>3D Body» и File>Import.

#### 1. Создание платы посредством помощника создания бланка платы «PCB Board Wizard» с использованием шаблона

«PCB Board Wizard» позволяет выбрать стандартный промышленный типоразмер платы или же создать свой собственный типоразмер платы.

Мастер создания контура платы «PCB Board Wizard» расположен в секции «New from Template» в нижней части панели Files [8]. В начальном окне «PCB Board Wizard» надо нажать Next, а в следующем окне выбрать метрическую систему единиц Metric. Затем надо выбрать шаблон с форматкой, а потом выбирается число слоёв для платы – количество сигнальных слоёв и количество сплошных слоёв. Далее надо выбрать стили переходных отверстий, как правило, используются только сквозные отверстия, поэтому выбирают «Thruhole Vias». Следующая страница позволяет установить опции технологии трассировки. Если преимущественно на плате будут использоваться корпуса со штыревыми выводами, то выбирают «Through-hole component» и устанавливают число трасс между смежными контактными площадками – можно выбрать от одной до трёх. Если преимущественно будет поверхностный монтаж, то выбирают «Surface-Mount Components» и указывают: на одной или двух сторонах платы можно размещать компоненты. Следующая страница «Default Track and Via Size» позволяет установить несколько правил проектирования, применимые к плате: минимальная ширина проводника, минимальный диаметр контактной площадки переходного отверстия, минимальный диаметр переходного отверстия и минимальный зазор, пример показан на Рис. 64. В конце нажать кнопку Finish.



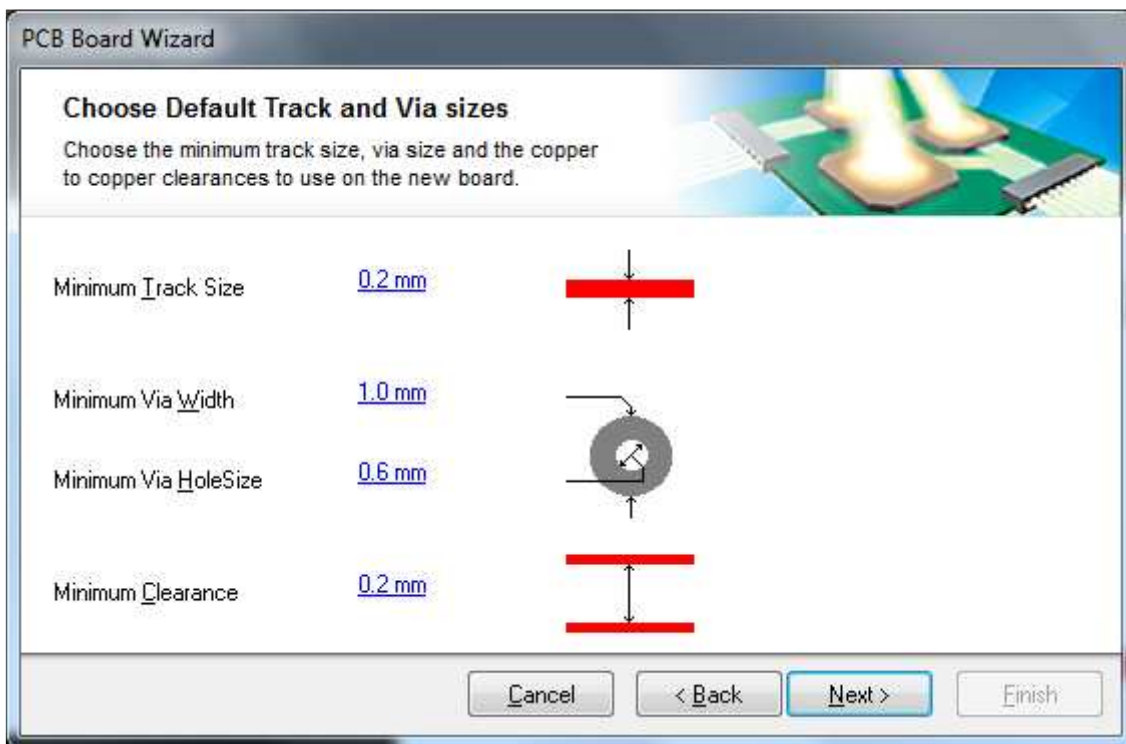


Рис. 64. Минимальные значения технологических параметров платы

## 2. Создание платы посредством «PCB Board Wizard» без шаблона

Процедура создания контура аналогична предыдущей. Но вместо шаблона выбирается параметр Custom, а на следующем шаге задаются параметры платы (Рис. 65): форма, размеры, слой размерных линий, ширина линии ограничивающей контур платы, ширина размерных линий, зазор от края платы для запретной зоны и дополнительные опции (подключение форматки, наличие описания платы, наличие размерных линий, добавление внешних и внутренних вырезов в плате). Если отмечены опции «Corner Cutoff» и «Inner Cutoff», то на следующих шагах будет предложено задать размеры вырезов. Сначала задаются наружные вырезы в плате, в данном случае они могут быть только прямоугольными по углам платы, на Рис. 66 заданы два квадратных выреза сверху (справа и слева) по 10 мм от края платы. Затем задаётся внутренний вырез посредством координат, при этом внутренний вырез может быть только один и только прямоугольной формы, см. Рис. 67. Впоследствии можно корректировать вырезы стандартными инструментальными средствами Altium Designer.

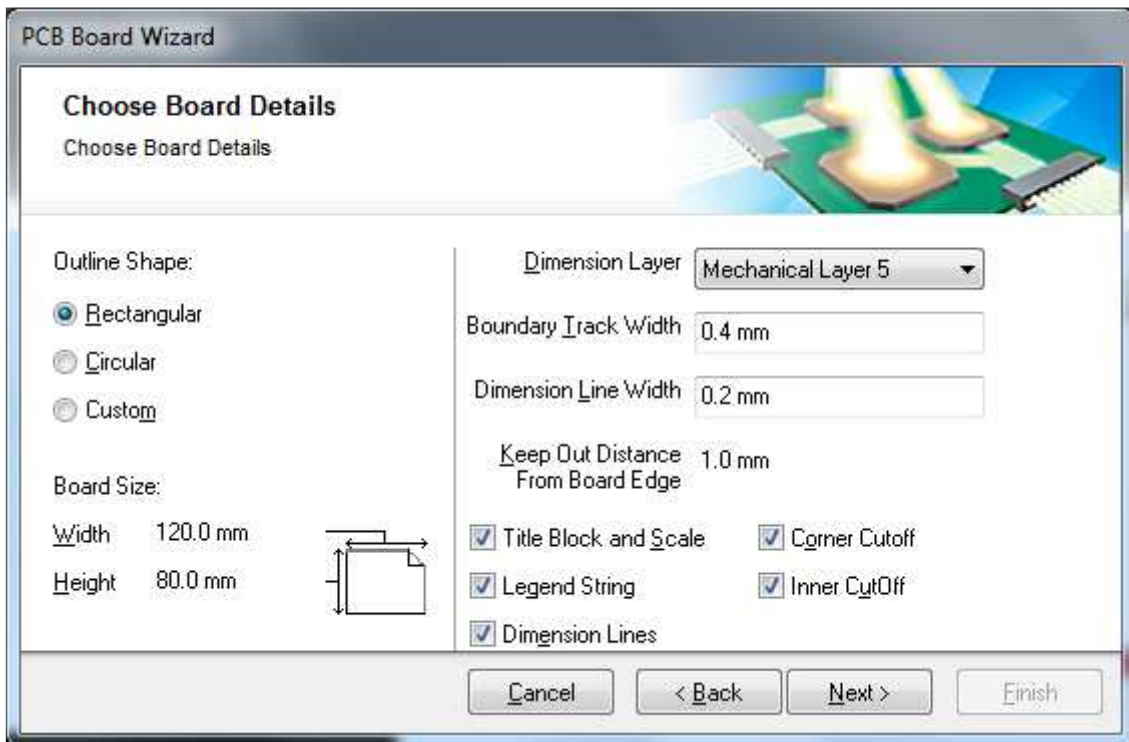


Рис. 65. Параметры платы

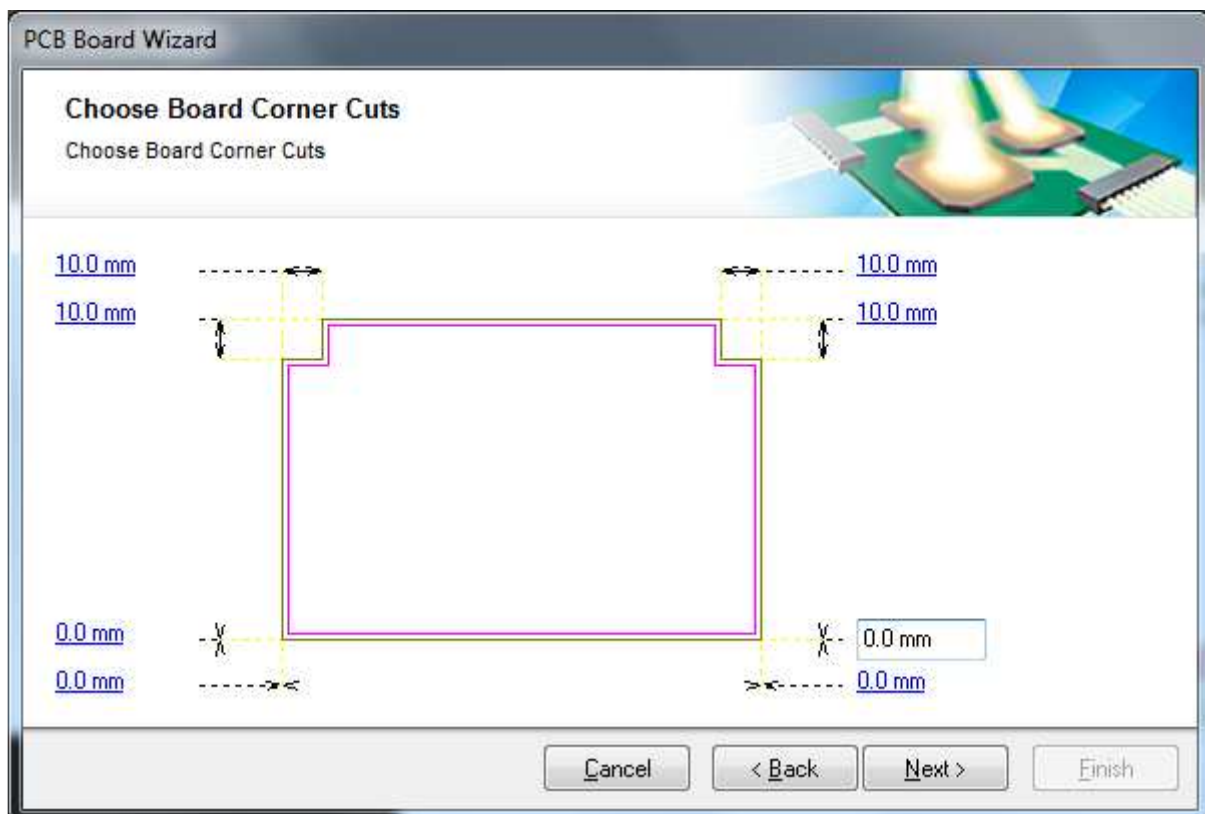


Рис. 66. Параметры наружных вырезов в плате

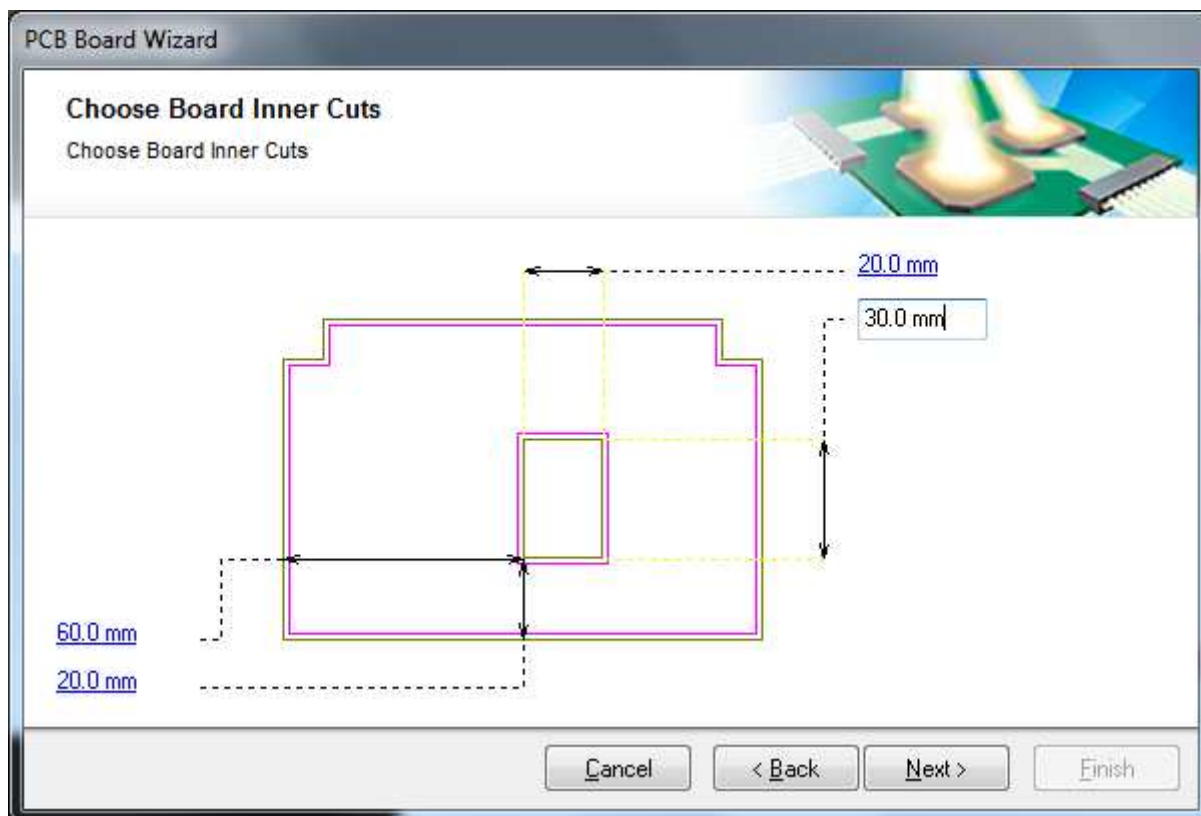


Рис. 67. Параметры внутреннего выреза в плате

### 3. Создание контура платы вручную

Сначала надо создать документ pcbdoc, и установить метрическую систему единиц. Потом выполнить команду Design>Board Shape>Redefine Board Shape. Затем фиксируя левой кнопкой мыши углы контура платы нужно нарисовать граничный рисунок, при этом комбинацией клавиш Shift+Space можно переключать режимы ортогональности для использования дуг и острых углов. При использовании дуги ее радиус меняется комбинациями клавиш Shift+«.»(точка) и Shift+«.»(запятая). Стоит отметить, что данный инструмент позволяет создавать только примитивные по форме контуры. В режиме рисования бывает сложно позиционировать курсор в необходимую точку, поэтому координаты углов во время рисования контура можно вводить с клавиатуры. Для этого при активной команде следует нажать клавишу J, затем клавишу L, после чего на экране появится окно «Jump To Location», в котором предлагается ввести координаты. Описанная команда перемещает курсор в указанную точку, а для фиксации точки контура нужно после каждого ввода координат нажимать клавишу Enter.

Например, чтобы создать контур платы в виде прямоугольника 32,5x46 мм, следует выполнить команду «Design>Board Shape>Redefine Board Shape», а затем, не трогая мышку, вводить последовательно координаты следующим образом: J>L>{100;100}>Enter>J>L>{100;132,5}>

Enter>J>L>{146;132,5}>>Enter>J>L>{146;100}>Enter>. При этом {100;100} – означает, что координаты X=100 и Y=100, см. Рис. 68. После ввода координат надо закончить формирование контура нажатием правой кнопки мыши.

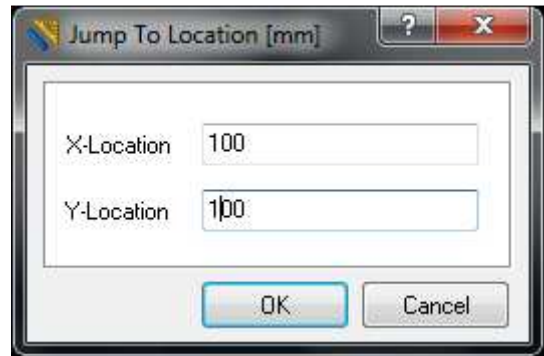


Рис. 68. Координаты перемещения курсора

#### 4. Загрузка трехмерной модели корпуса и автоматизированное формирование контура платы

Сначала надо указать путь к модели, для этого надо выбрать «DXP>Preferences>PCB Editor>Models». В появившемся окне нужно нажать кнопку «обзор папок» и указать путь к расположению моделей, после чего нажать кнопку Add. В списке подключенных папок с моделями появится новая ссылка, после чего нажать кнопку ОК (или Apply, если подключается несколько путей). Сначала, чтобы использовать STEP-модель платы ранее созданной в механической САПР, нужно переключиться в трехмерный режим работы. Переключения между двумерным и трехмерным режимами работы выполняются нажатием клавиш 2 и 3, при этом стоит помнить, что не все видеокарты поддерживают режим работы с трехмерной платой (для этой задачи нужна видеокарта с поддержкой DirectX9.0C и Shared Mode 3.0). Итак, после нажатия клавиши 3 программа переходит в трехмерный режим работы и плата отображается синим цветом. Теперь нужно включить отображение STEP моделей, которое выполняется через панель PCB, см. Рис. 69.

Далее нужно разместить STEP-модель в рабочей области, для чего выполняется команда «Place>3D Body» и на экране появится диалог «3D Body». В появившемся окне выбирается тип модели «Generic STEP Model» и в нижней части надо нажать кнопку «Link to Step Model» (тогда изменения в STEP-модели будут отражаться в топологии печатной платы). После предложения создать ссылку на модель откроется окно, в котором показана ранее заданная папка и все хранящиеся в ней модели. В списке надо выбрать файл модели \*.STEP и нажать кнопку ОК. Теперь в диалоге «3D Body» надо нажать кнопку ОК и разместить модель в рабочей области нажатием левой кнопки мыши. После размещения модели программа предлагает установить следующую модель, в нашем случае следует отказаться от этого нажатием кнопки Cancel. Последним шагом нужно указать, что добавленная модель в формате STEP является платой, для чего выполняется команда «Design>Board Shape> Define from 3D Body» и

выполняется последовательно два щелчка мыши на добавленной модели. В результате будет выдано сообщение, в котором предлагается задать контур платы из выбранной модели, с чем следует согласиться. Теперь формируется плата в трехмерном виде со ссылкой на модель STEP, причем эту плату можно вращать во всех плоскостях. Для вращения платы используется клавиша Shift, после чего на экране появится «шар со стрелками» (см. Рис. 70), на котором имеются кнопки управления поворотом. При наведении курсора на стрелки и движение мышки с нажатой правой клавишей – будет осуществляться поворот в указанном стрелкой направлении. При наведении курсора на дуги и движение мышки с нажатой правой клавишей – будет осуществляться поворот в плоскости рабочей области. При наведении курсора на точку и движение мышки с нажатой правой клавишей – будет осуществляться свободное вращение.

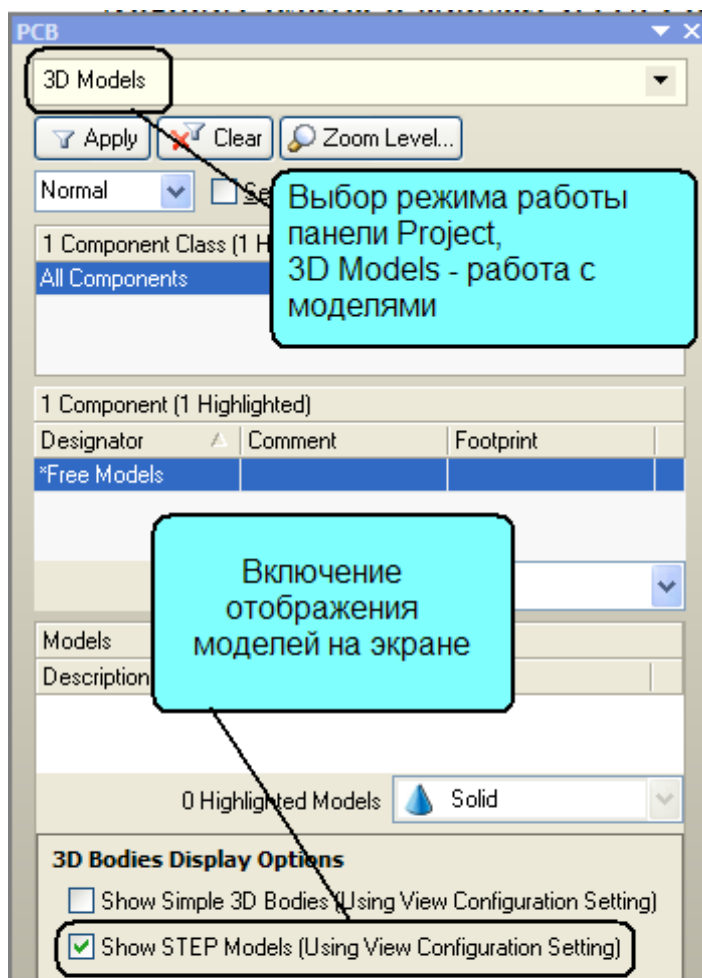


Рис. 69. Работа с 3D-моделями в панели PCB

После описанных выше действий в Altium Designer имеется контур платы со ссылкой на модель STEP, причем стоит обратить внимание, что круглые отверстия, которые были созданы в механической САПР, конвертируются в контактные площадки со свойствами обычных крепежных отверстий. Если на последующем этапе проектирования модель платы будет изменена в той программе, в которой она была создана, то в Altium Designer при обращении к этой модели будет выдано сообщение, в котором предлагается обновить модель платы в соответствии с исходной моделью в формате STEP.



Рис. 70. Манипулятор в трехмерном режиме



## 5. Импорт двухмерной заготовки, выполненной в машиностроительной САПР

Рассмотрим пример использования автокадовского файла, как наиболее часто используемого (также возможен импорт и других форматов, см. Рис. 71). Для использования файла в формате DWG(DXF), находясь в редакторе печатных плат, надо выполнить команду File>Import. В строке «Тип файлов» следует указать AutoCAD, после чего выбрать исходный файл с будущим контуром платы. После этого появится окно, в котором нужно задать единицы измерения в группе Scale (по умолчанию установлены mil – в этом случае контур будет уменьшен в 2,54 раза). Можно изменить тип блоков, по умолчанию предлагается импортировать заготовку примитивами, но можно выбрать вставку единым блоком. Толщину линий в соответствии с ГОСТ надо установить 0,4 mm. Рекомендуется указать расположение начала координат вставляемого рисунка в окне «Locate AutoCAD» и выбрать слои для импорта [9]. При выборе слоёв следует указывать на какой слой Altium Designer будет передана импортируемая информация. Для контура платы обычно используется графический слой Mechanical 1, при этом для остальных слоев устанавливается настройка Not Imported (предполагая, что контур платы вычерчен в одном слое), см. Рис. 72.

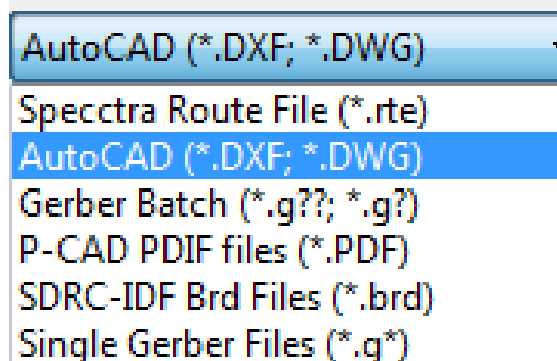


Рис. 71. Типы файлов  
при импорте заготовки

После установки всех опций и нажатия ОК, в рабочей области редактора появляется импортированный контур. Теперь программе нужно указать, что этот контур является границами платы. Для этого надо выделить весь импортированный контур и выполнить команду «Design>Board Shape>Define from Selected Objects», после чего область внутри контура становится черной, а снаружи – серой (Рис. 73), что свидетельствует о корректном создании платы. Создание контура платы посредством импорта сложного контура из механических САПР в формате DXF (DWG) является наиболее удобным, чем предыдущий вариант, но не обладает возможностью взаимобратного редактирования, что возможно при использовании формата STEP.

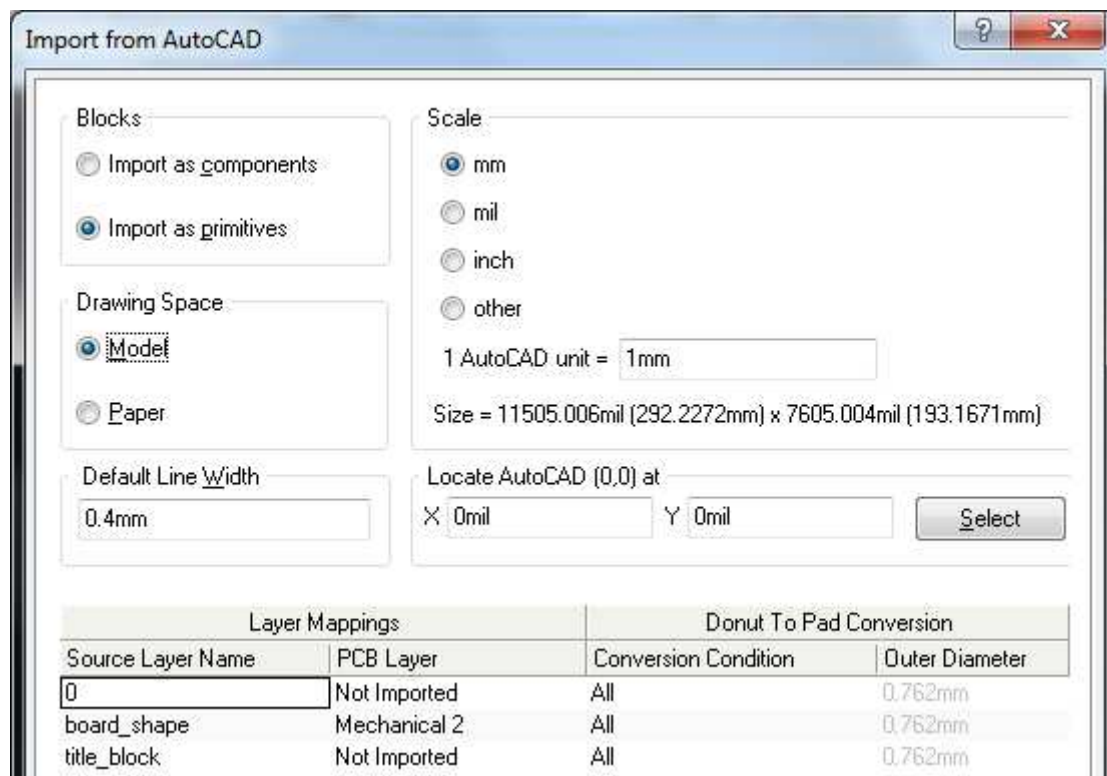


Рис. 72. Параметры заготовки, импортируемой из AutoCAD

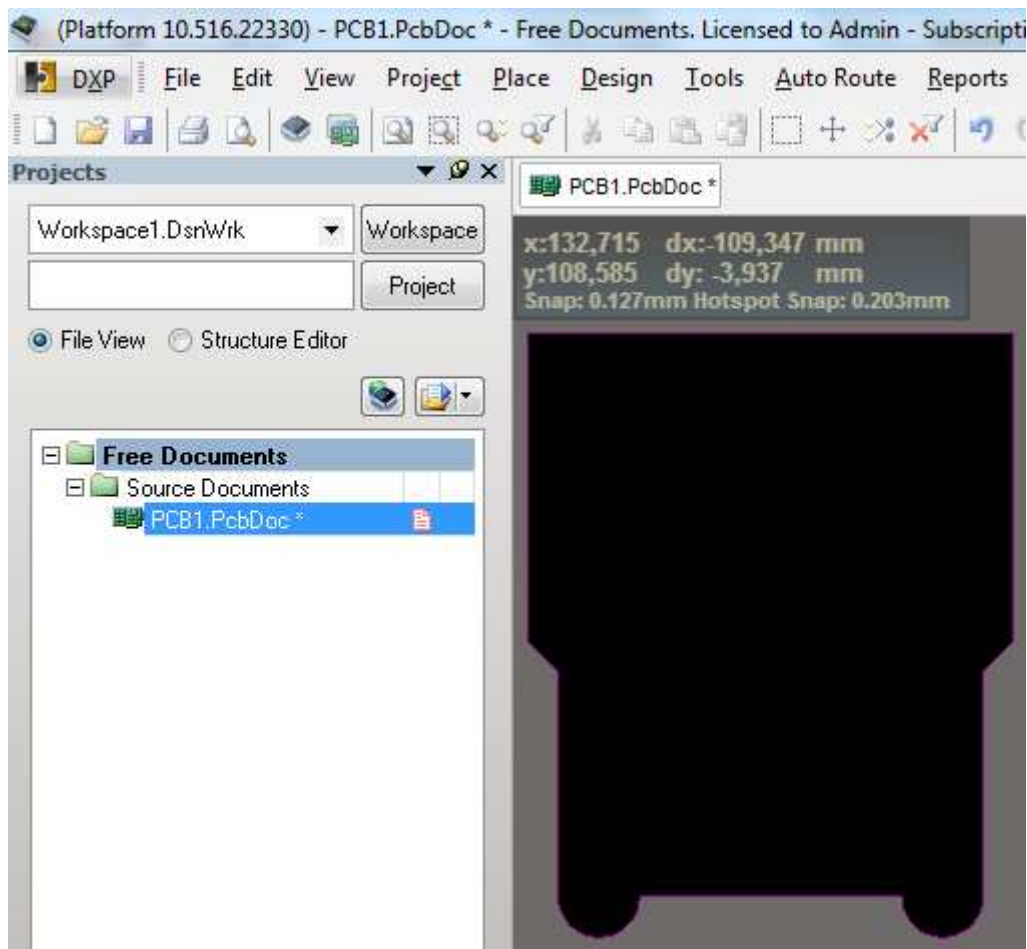


Рис. 73. Контур платы в Altium Designer

## **2. Трехмерное моделирование корпусов ЭК**

В связи с увеличением уровня сложности и плотности монтажа современных электронных устройств конструктору печатных плат необходимо не только контролировать расположение компонентов в плоскости платы, но и учитывать требования к их расположению в формате 3D. Возможность экспортировать законченную конструкцию платы в механические САПР позволяет выполнить виртуальную сборку устройства и проверить полную компоновку уже в стадии разработки. Altium Designer включает в себя ряд функций для решения этих задач.

### **1. Добавление высоты посадочного места**

Один из простейших способов контроля размеров конструкции платы в 3D-формате – это добавить атрибут высоты каждому компоненту. Для этого надо дважды щелкнуть ЛКМ (левой кнопкой мыши) на имени посадочного места в списке Components панели «PCB Library» и ввести высоту в поле Height (Высота) диалога «PCB Library Components». Ограничения высоты могут быть определены правилами проектирования печатной платы (Design>Rules), которые контролируют максимальную высоту в классах компонентов или в «комнатах» (Room Definition).

### **2. Добавление «3D Body» к посадочному месту**

Чтобы определить более детальные требования к высоте компонента, к посадочному месту можно добавить объекты «3D Body» полигональной формы. Для определения физической формы и размеров компонента могут быть добавлены один или несколько объектов «3D Body» в горизонтальной и вертикальной плоскостях на любом доступном (enabled) механическом слое. Объекты «3D Body» могут быть использованы проверкой правил проектирования для контроля наложений компонентов друг на друга и зазоров между ними, а также для визуализации 3D-вида печатной платы («View>Board in 3D» в редакторе печатных плат).

#### **2.1. Ручное размещение объектов «3D Body»**

Объекты «3D Body» могут быть размещены вручную в редакторе РСВ-библиотек (Place>3D Body) или автоматически с помощью диалога «Component Body Manager» (Tools>Manage 3D Bodies for Components on Board...).

Рассмотрим этапы ручного процесса на примере добавления «3D Body» к посадочному месту DIP14 (Рис. 74).



1. Выбрать в панели «PCB Library» компонент, к которому надо добавить «3D Body» (в данном примере – DIP14).

2. Убедиться, что нужный механический слой доступен (enabled) и является текущим.

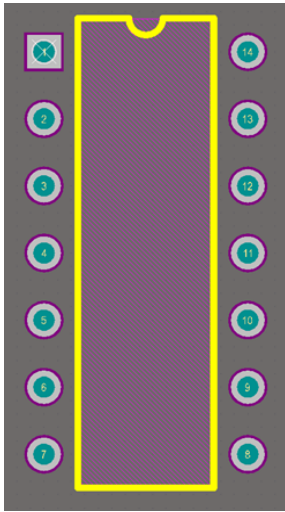


Рис. 74. Посадочное место корпуса DIP14

3. Выбрать команду «Place>Place 3D Body» (горячие клавиши: P, B). Откроется диалог «3D Body», показанный на Рис. 75. Объекты «3D Body» могут быть созданы из простейших форм (экструдированной прямоугольной, цилиндрической, сферической) или с помощью импорта модели STEP. При необходимости можно использовать комбинацию обоих методов.

4. Ввести параметры: общую высоту (overall height) и высоту над поверхностью печатной платы (standoff height), закрыть диалог.

5. Нажатием ЛКМ указать местоположение вершин «3D Body». Обратите внимание, что процесс размещения экструдированного «3D

Body» представляет собой стандартный процесс размещения многоугольного объекта (SHIFT+ПРОБЕЛ используется для переключения стиля угла и клавиша ПРОБЕЛ для переключения текущего угла размещения). На Рис. 76 представлены различные варианты трехмерного корпуса DIP14.

## 2.2. Использование 3D Body Manager

Диалог «3D Body Manager» (менеджер 3D-тел) позволяет автоматически создавать объекты «3D Body» на основе прямоугольного контура или замкнутых многоугольных очертаний примитивов, которые уже присутствуют в посадочном месте. «3D Body Manager» может быть использован как для

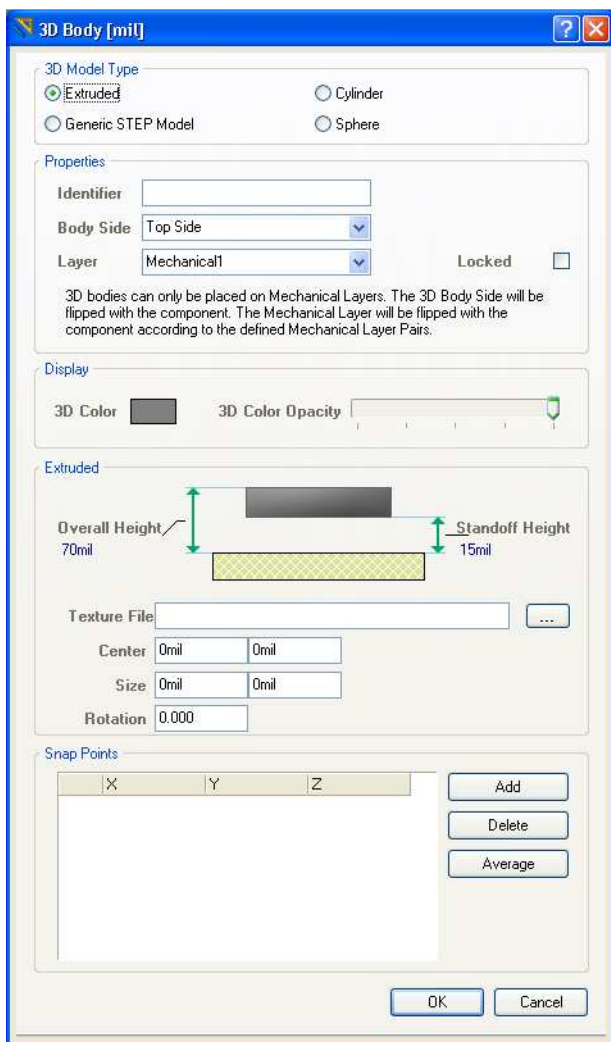


Рис. 75. Параметры 3D Body

текущего посадочного места, так и для всех компонентов текущей PCB-библиотеки [10]. На Рис. 77 изображен диалог «3D Body Manager», который используется для определения «3D Body» посадочного места SOIC8. Используя такой подход, гораздо проще создавать «3D Body»

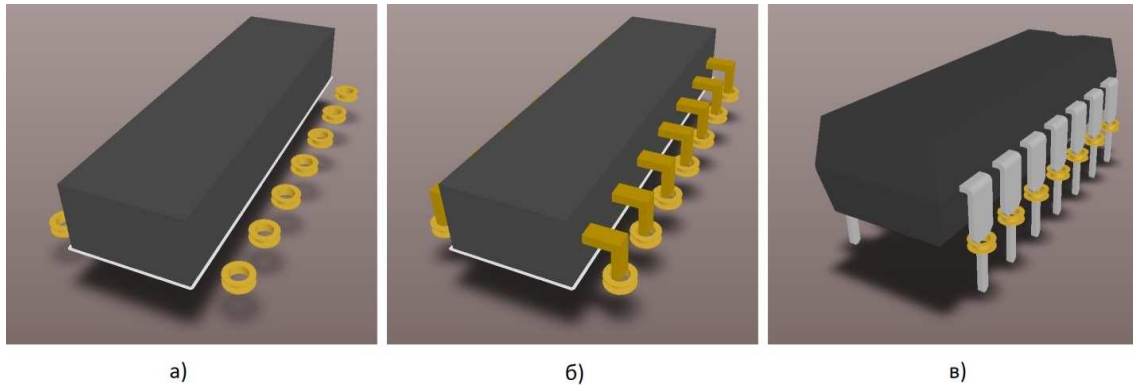


Рис. 76. Корпус DIP14, выполненный различными способами:  
 а) один объект 3D Body; б) несколько объектов 3D Body;  
 в) импортированная STEP-модель

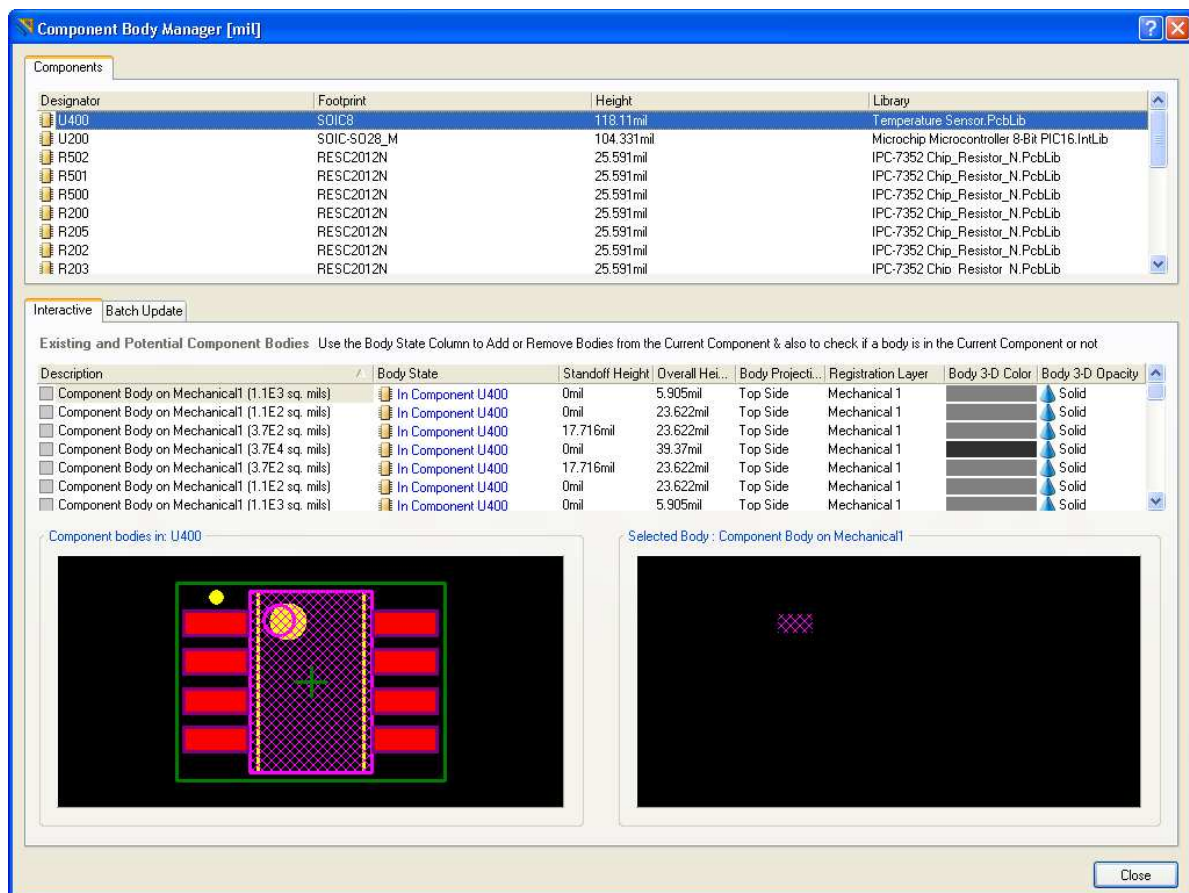


Рис. 77. Окно менеджера трехмерных тел

для компонента, корпус которого имеет сложную форму, по сравнению с ручным методом определения формы компонента.

Для создания формы, основанной на линии контура, определенного для компонента в слое шелкографии, надо выбрать опцию «Polygonal shape created from primitives on Top Overlay» (Создать многоугольную форму из примитивов на слое Top Overlay). В поле «Body State» (Статус объекта) установить для этой опции значение «In Component...» (В компоненте...), в поле «Registration Layer» (Слой регистрации) выбрать механический слой, на который будет добавлен объект «3D Body» и установить значения Overall Height и Standoff Height. Для создания «3D Body» может быть добавлено несколько 3D-форм с помощью диалога «3D Body Manager». Для этого нужно просто выбрать контуры, форму которых нужно добавить к компоненту, и установить для них значение «In Component» в колонке «Body State». Формы, созданные в «3D Body Manager», можно комбинировать с формами, созданными вручную, как показано в примере на Рис. 78.

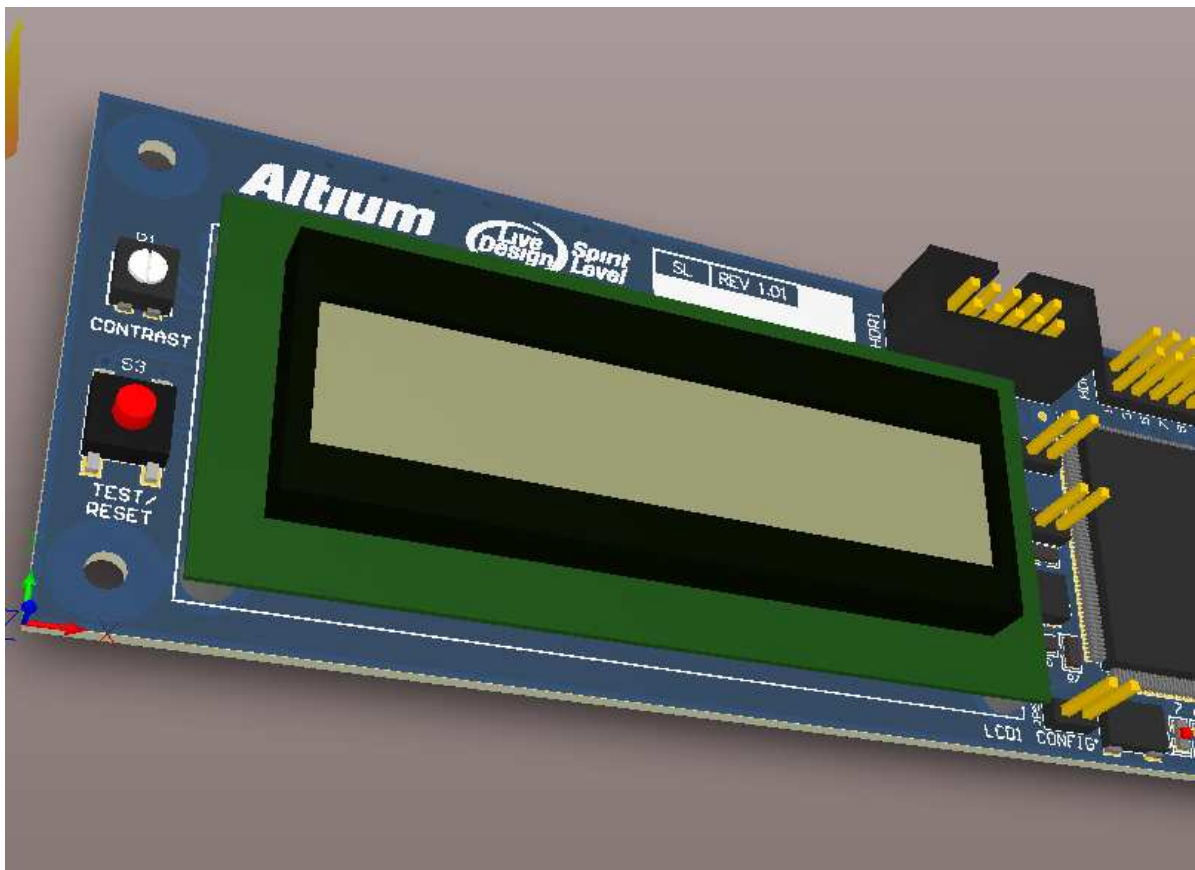


Рис. 78. Фрагмент платы, корпуса ЭК которой созданы комбинацией различных объектов 3D Body

---

## IV. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

---

Выполнение лабораторных работ дает базовые знания по эксплуатации Altium Designer при проектировании печатной платы (ПП). В ходе выполнения лабораторных работ студенты получают возможность практически освоить основные принципы и методы работы в системе Altium Designer, ознакомиться с последовательностью этапов проектирования, приобрести навыки по созданию и ведению библиотек электронных компонентов, а также по разработке конструкторской документации и ведению проекта в Altium Designer.

Этапы проектирования печатной платы в системе Altium Designer:

1. Создание библиотек электронных компонентов (ЭК), в т.ч. условно-графических обозначений (УГО) и посадочных мест под корпуса компонентов.
2. Разработка принципиальной электрической схемы.
3. Разработка топологии ПП.

### 1. УГО электронных компонентов

**Цель работы:** Создание условно-графических обозначений электронных компонентов как библиотечных элементов принципиальной электрической схемы.

**Задание на лабораторную работу:**

1. Ознакомиться с назначением ЭК и его электрической (контактной) схемой.
2. Разместить выводы УГО ЭК.
3. Вычертить графический образ УГО ЭК.
4. Сохранить УГО в библиотеке SchLib.
5. Подготовить отчет.

Наличие развитой библиотеки ЭК является необходимым условием для нормальной работы системы. Поскольку стандартные библиотеки Altium Designer практически непригодны для работы российских проектировщиков, то они вынуждены создавать свои библиотеки, содержащие условные графические изображения, как компонентов российского производства, так и зарубежного, в соответствии с действующими стандартами. Размеры условно-графических обозначений приведены в ГОСТ 2.728, 2.730, 2.743.

УГО компонента создается в графическом редакторе Schematic Library. В этом редакторе используются такие инструменты, как Place Pin, Place Line, Place Text String и другие.

Для навигации по документу предназначены команды в выпадающем меню View:

- Fit Document – подгоняет документ к размеру экрана;
- Fit All Objects – располагает в окне все элементы (без форматки);
- Area – подгоняет выбранную площадь к размеру экрана (увеличение рамкой);
- Around Point – позиционирует выбранную площадь вокруг указанной точки в размер экрана;
- Selected Objects – подгоняет к размеру экрана выделенные объекты;
- Zoom In – приближение;
- Zoom Out – отдаление;
- Zoom Last – возвращает предыдущий масштаб;
- Pan – перемещает изображение под курсором в центр экрана;
- Refresh – обновление изображения;
- Full Screen – позиционирование рабочей области во весь экран, при этом скрываются все панели, полосы прокрутки и строки статуса.

Навигация по документу с помощью мыши:

- При помощи колеса прокрутки мыши изображение перемещается вверх и вниз;
- При прокрутке колеса мыши с нажатой клавишей Shift изображение перемещается влево и вправо;
- Передвижение изображения в любую часть экрана возможно при нажатии и удержании правой кнопки мыши;
- Масштабирование изображения осуществляется прокруткой с нажатой клавишей Ctrl.

Компоненты разделяют на односекционные (включающие одну секцию) и многосекционные. К многосекционным компонентам относятся резисторные, конденсаторные, диодные и транзисторные сборки, электрические соединители, некоторые логические интегральные микросхемы.

Количество выводов УГО микросхемы (МС) цифровой логики обычно соответствует количеству ножек в корпусе за исключением ножек, которые всегда подключены к питанию или земле. Недействующие на схеме выводы таких МС должны быть изображены в УГО, т.к. при повторном использовании ЭК могут быть задействованы все выводы (или иные чем при первичном использовании). Это необходимо для ведения библиотек – чтобы каждому ЭК соответствовал один единственный элемент библиотеки, созданный в полном соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД.

УГО многосекционного компонента может быть построено целиком, со всеми секциями единым УГО. Однако для формирования принципиальной электрической схемы, которая бы легко читалась и

наглядно продемонстрировала принцип действия функционального узла, такое изображение не всегда удобно т.к.:

1) в схеме могут быть задействованы не все секции, а отображение неиспользуемых невозможно отключить, в результате схема загромождается лишними УГО;

2) при едином УГО на весь компонент невозможно изобразить схему разнесенным способом, приходится тянуть к нему линии электрической связи издалека, что затрудняет чтение схемы.

При необходимости в УГО нужно задать эквивалентность выводов. Эквивалентность – это электрическая взаимозаменяемость. Например, эквивалентными могут быть входы элементов цифровой логики, а вход резистора эквивалентен выходу. Эквивалентность в Altium Designer рекомендуется задавать цифрами.

Микросхема может состоять из нескольких вентилях, под вентилем МС понимают повторяющийся законченный логический блок. Для таких МС необходимо указать эквивалентность секций (она в таких МС одинаковая и обозначается одной и той же цифрой).

### Создание УГО односекционного компонента

На примере микросхемы AD8561.

1. Создать новую схемную библиотеку, выбрав в меню File>>New>>Library>>Schematic Library.

2. Указать единицы измерения, выбрав Tools>>Document Options и во вкладке Units выбрать метрические единицы измерения, а во вкладке Library Editor Options в области Grids установить шаг сетки 2,5 мм для двух видов сетки.

3. Активизировать в строке статуса панель-закладку SCH Library (например: View>>Workspace Panels>>SCH>>SCH Library), после чего откроется плавающая панель редактирования SCH Library. Для удобства расположить эту панель слева от рабочего поля (там же, где по умолчанию располагается панель Projects).

4. В верхнем поле панели SCH появится новый компонент Component\_1. Нужно отредактировать свойства компонента, нажав кнопку Edit: задать буквенное обозначение компонента в поле Default Designator: D, и ввести наименование микросхемы в поле Symbol Reference: AD8561 (см. Рис. 79).

5. Расположить выводы микросхемы в соответствии с УГО (для AD8561 УГО в Altium Designer будет выглядеть так, как показано на Рис. 82). Для расположения первого вывода надо выбрать команду Place>>Pin и нажать кнопку TAB, чтобы задать свойства вывода. Display Name – это логическое имя или функциональное назначение контакта. Designator – обозначение вывода (для микросхем – это номер вывода). В зоне Graphical



нужно установить длину линии вывода 5,0 мм (параметр Length), см. Рис. 80.

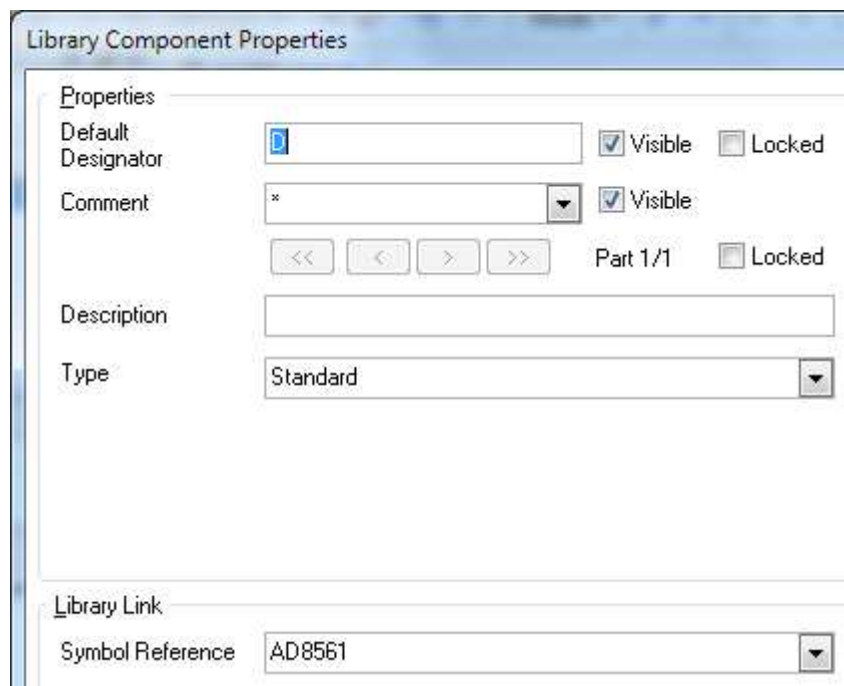


Рис. 79. Свойства компонента

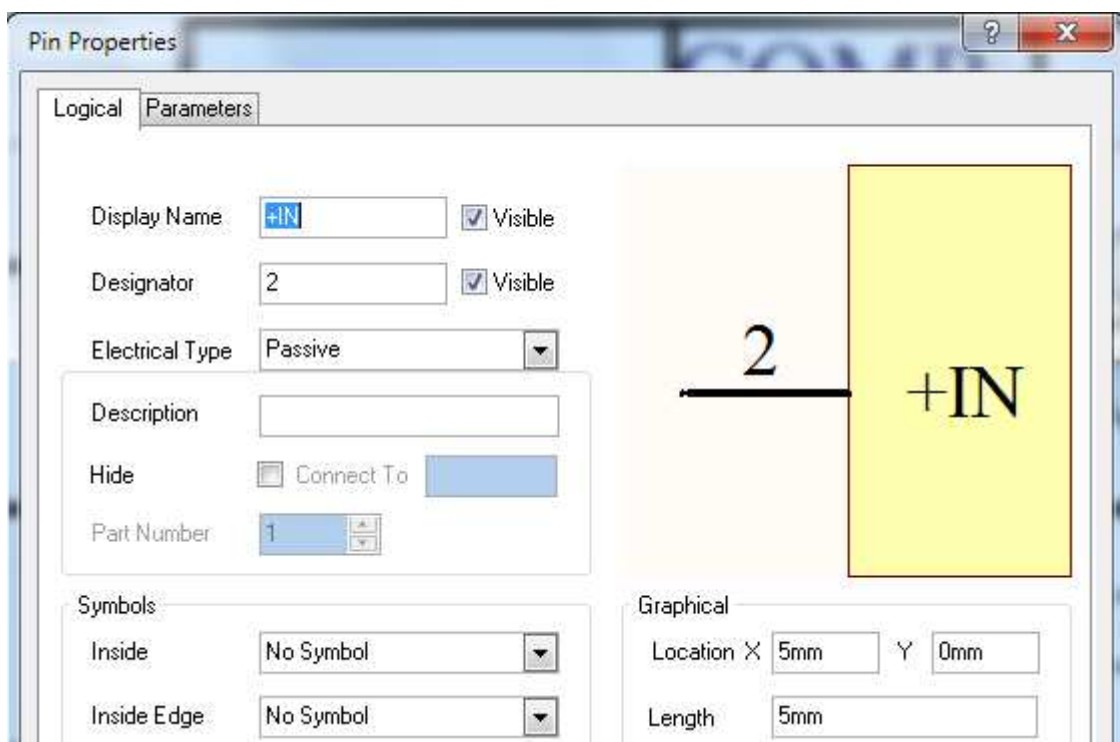


Рис. 80. Свойства вывода

Конец первого (крайнего левого) вывода надо расположить в перекрестии в рабочем поле – это будет точка привязки (см. Рис. 81).

Поворот объекта на 90° против часовой стрелки осуществляется посредством клавиши «Пробел».

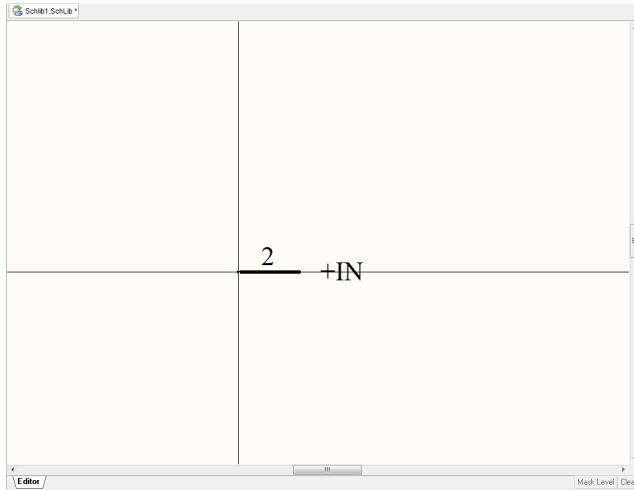


Рис. 81. Расположение первого вывода

Далее нужно расположить остальные выводы МС.

Между выводами по вертикали 2,5 мм.

Указатель по внешнему краю УГО (outside Edge): Dot (колечко) является признаком инверсии сигнала.

Расстояние между рядами выводов для AD8561: 25 мм (10 шагов).

Для обозначения имен инверсных выводов надо ввести

после каждой буквы имени обратную косую черту \, например: O\U\T\.

6. Нарисовать графику символа с помощью команды Place>>Line. Размер прямоугольника по ширине зависит от наличия дополнительных полей и числа помещенных в них знаков (меток, обозначения функции элемента), а по высоте – от числа выводов, интервалов между ними и числа строк информации в основном и дополнительных полях. Расстояние между выводом и горизонтальной стороной УГО (или границей зоны) не менее 2,5 мм и кратно этой величине (по ГОСТ 2.743). В местах разделения групп выводов на зоны необходимо увеличить расстояния между выводами.

7. Ввести функциональное назначение МС, выбрав Place>>Text String. Для AD8561: COMP (в соответствии с ГОСТ 2.743 так обозначается компаратор), см. Рис. 82.

8. Сохранить библиотеку SchLib. Файл сохранить на диск D:\, наименование папки: «№группы», наименование файла: «фамилиястудента».

9. Проверить на ошибки Reports>>Component Rule Check с параметрами, указанными на Рис. 83. Если найдены ошибки, то их нужно исправить, и еще раз проверить.

### Формирование УГО многосекционного компонента разнесенным способом

На примере логической интегральной микросхемы КР1564ЛА3, содержащей 4 двухвходовых вентиля И-НЕ в одном корпусе.

1. Создать в панели SCH Library новый компонент, нажав Add.
2. Переименовать компонент, присвоив ему имя KR1564LA3. Ввести буквенное обозначение компонента в поле Default Designator: D.

Посредством Place>>Pin разместить 3 вывода с номерами 1,2 и 3 (см. Рис. 84), Display Name задавать не нужно. Ширина УГО 12,5 мм.



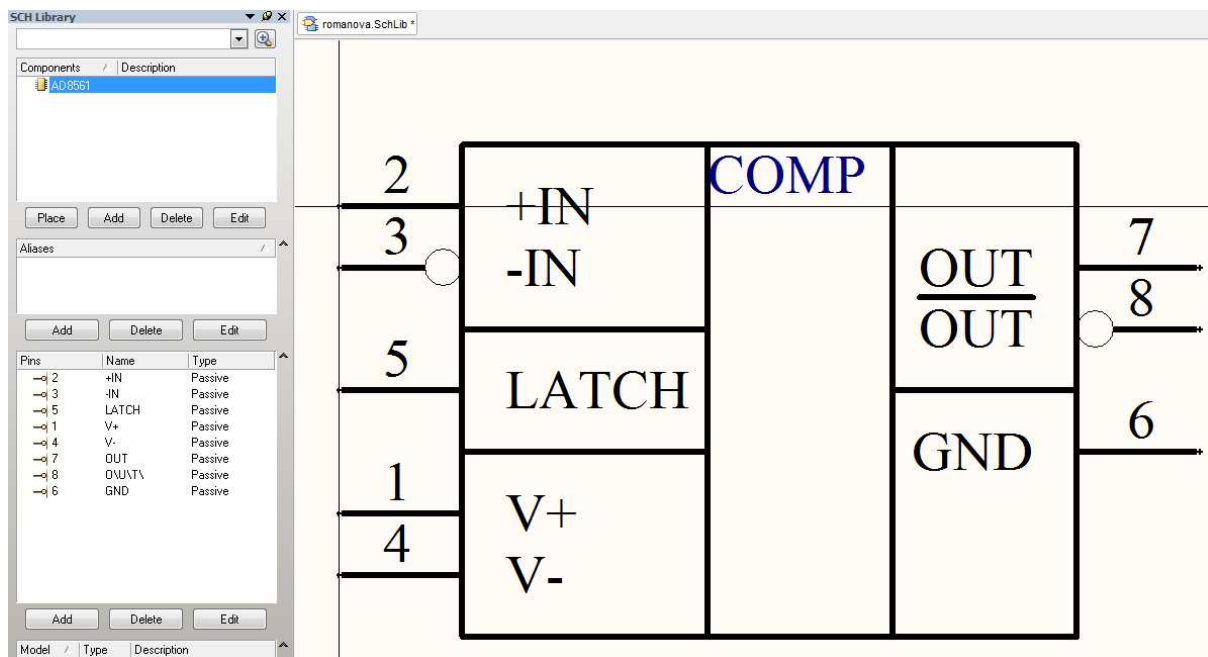


Рис. 82. УГО микросхемы AD8561

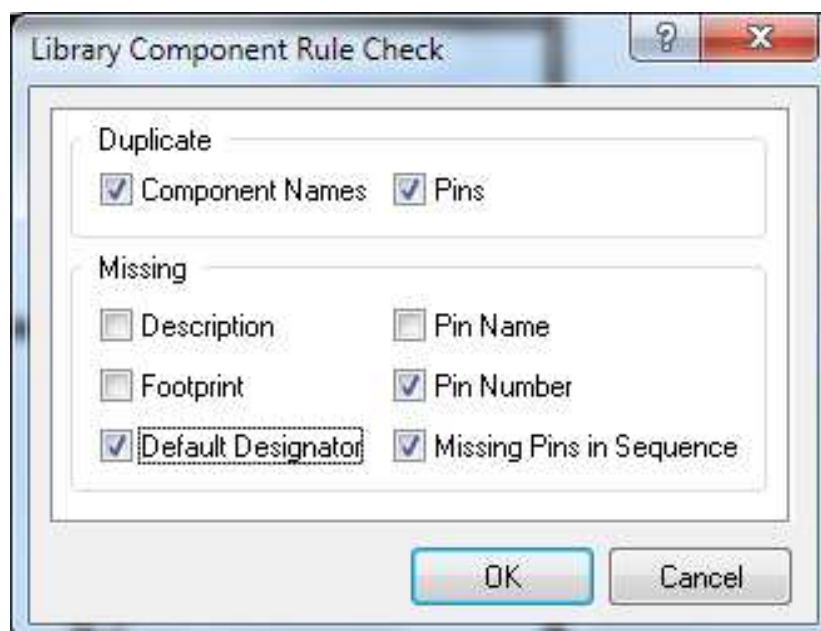


Рис. 83. Параметры команды Component Rule Check

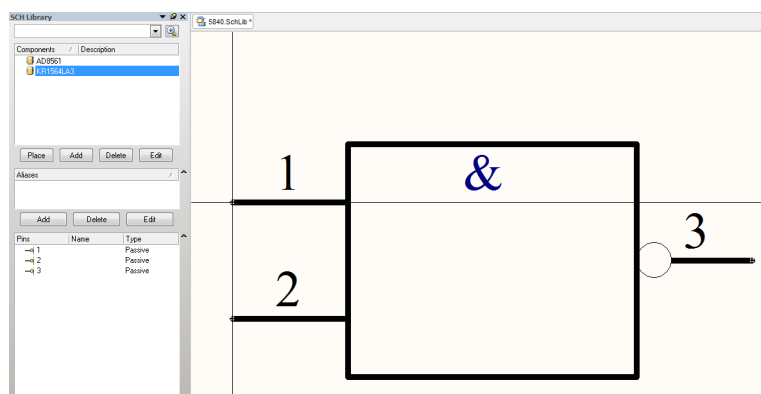


Рис. 84. УГО первого вентиля микросхемы KP1564LA3

3. Посредством Place>>Line вычертить прямоугольник УГО. Затем указать функциональное значение МС.

4. Сохранить и проверить на ошибки.

5. Скопировать в буфер готовую секцию. Выбрать Tools>>New Parts. Вставить из буфера секцию. Затем перенумеровать выходы: 1 на 4, 2 на 5, 3 на 6 (см. Рис. 85).

И аналогично создать еще две секции, с номерами выводов 9,10,8 и 12,13,11 (см. Рис. 86).

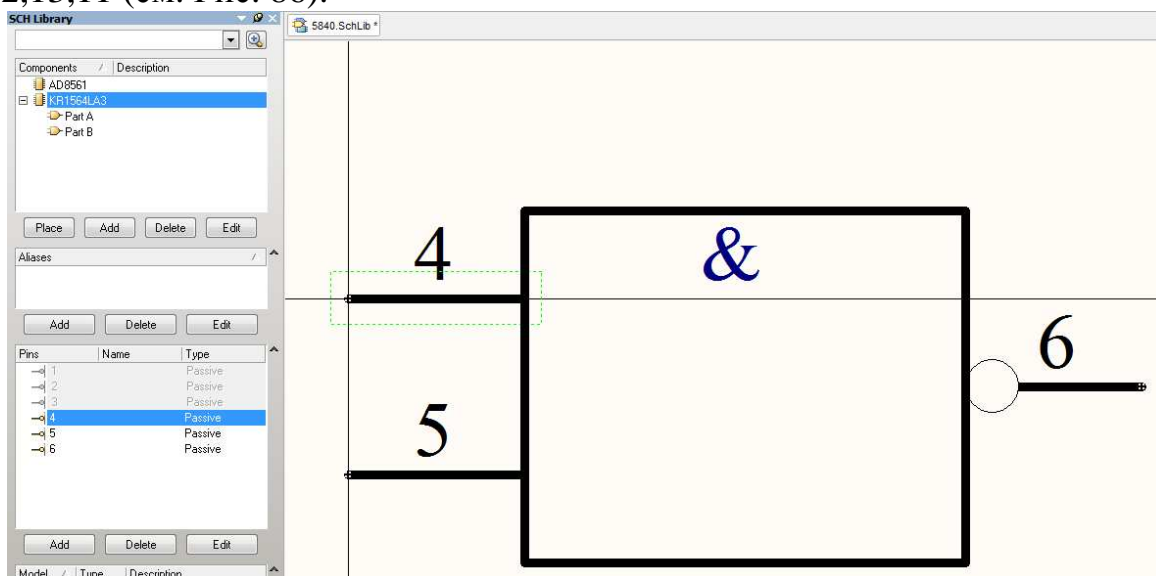


Рис. 85. УГО второго вентиля микросхемы KR1564LA3

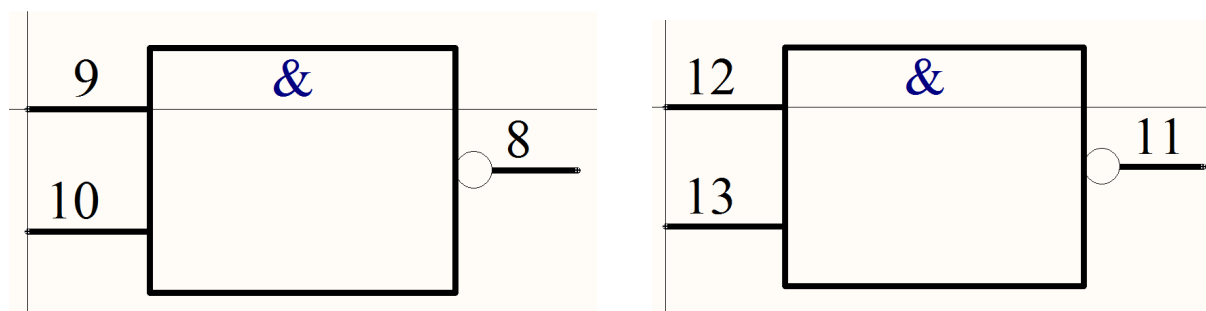


Рис. 86. УГО третьего и четвертого вентиля микросхемы KR1564LA3

6. Выбрать команду View>>Show Hidden Pins. По этой команде делаются видимыми все скрытые выходы компонента, а также скрытые имена и другие обозначения у видимых выводов.

7. Указать курсором в плавающей панели SCH Library на значок компонента KR1564LA3 (всего компонента, а не отдельной секции). В главном графическом окне редактора библиотек отобразится УГО первой секции компонента.

8. Активизировать команду главного меню Place>>Pin и нажать клавишу TAB. Обозначению Designator присвоить номер вывода 7; признаку Electrical Type установить значение Power; указать номер секции (Part Number): 0 (ноль), при таком обозначении вывод питания

присоединяется к каждой секции компонента; активизировать признак Hide – скрыть вывод на УГО; в поле Connect to указать имя цепи GND (см. Рис. 87).

Нажав ОК завершить редактирование и зафиксировать вывод в ближайшем к контуру УГО узле сетки проектирования (см. Рис. 88).

Повторить те же действия, установив при этом номер вывода 14 и имя цепи питания VCC+.

9. Выбирая по очереди секции компонента в панели SCH Library, убедиться, что у каждой секции появились выводы 7 и 14. Если это так, – снять активность команды главного меню View>>Show Hidden Pins.

10. Сохранить компонент с подключенными скрытыми выводами.

11. Задать эквивалентность выводов и ячеек, выбрав Tools>>Configure Pin Swapping. Выделить в списке компонент KR1564LA3 и нажать кнопку Configure Component. В закладке Pin Swapping задать эквивалентность входов (в различных вентилях должны быть разные цифры), см. Рис. 90. В закладке Part Swapping задать эквивалентность вентилях (все единицы), см. Рис. 89.

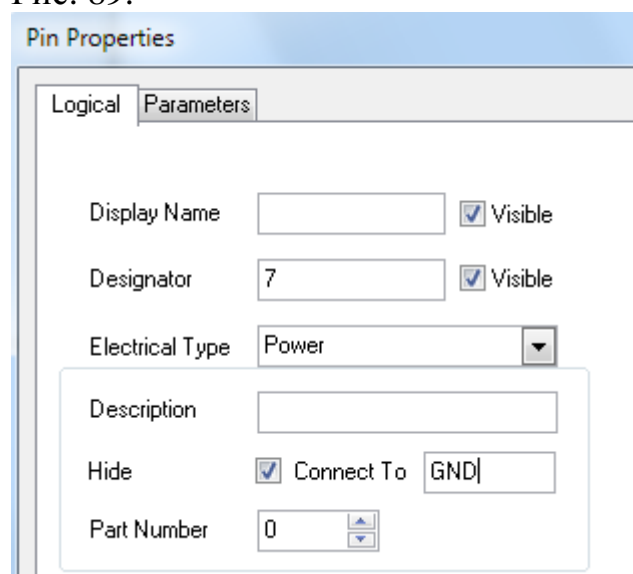


Рис. 87. Свойства вывода, подключенного к GND

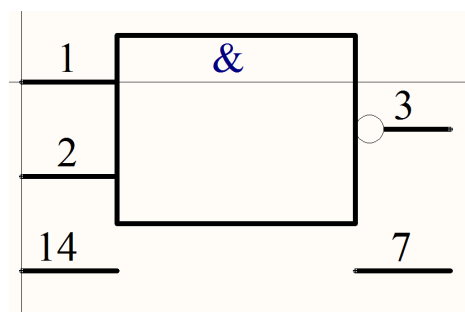


Рис. 88. Рекомендуемое расположение выводов питания

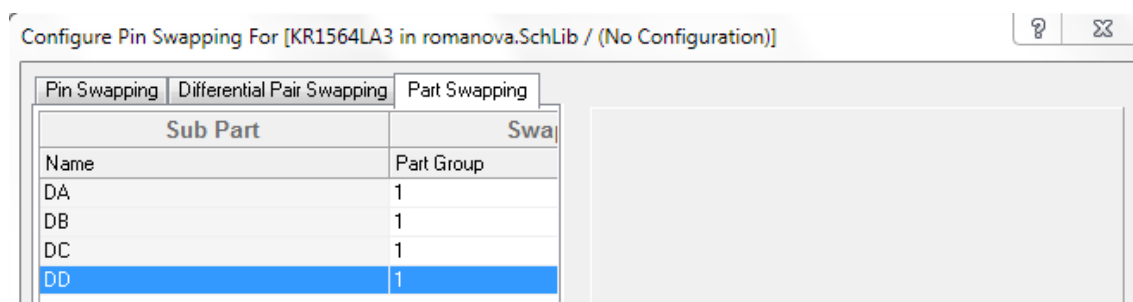


Рис. 89. Эквивалентность вентилях МС КР1564ЛА3

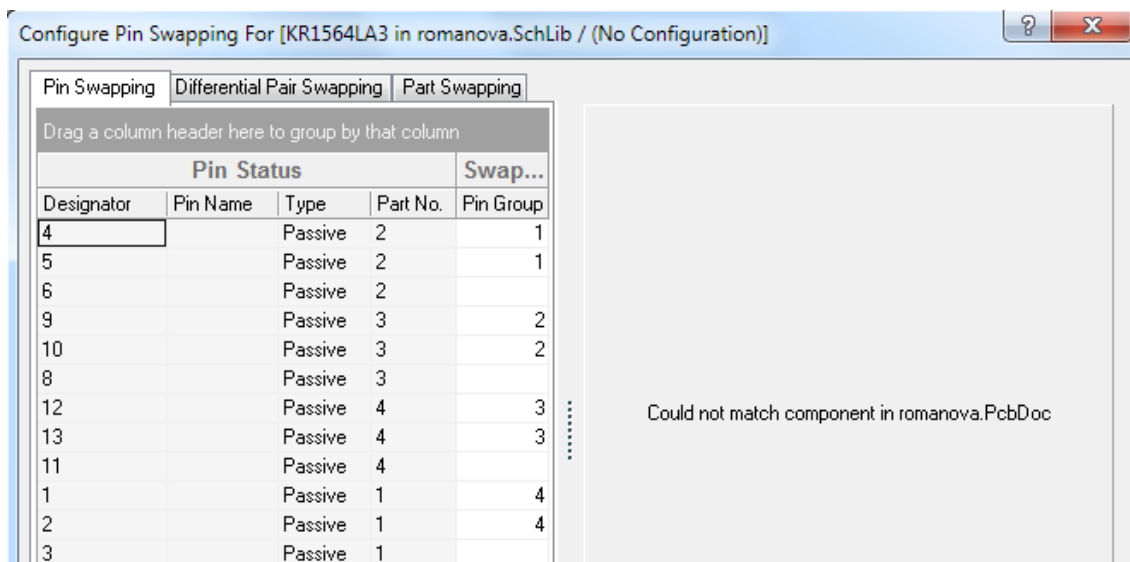


Рис. 90. Эквивалентность выводов МС КР1564ЛА3

### Редактирование зарубежного УГО

На примере разъема Edge Con 22.

1. Выбрать команду File>>Open, выбрать тип файла Integrated Library (\*.intlib), выбрать файл Miscellaneous Connectors.IntLib из папки ...AD 10\Library (в зависимости от типа лицензии папка AD 10 может располагаться в различных местах на диске). В открывшемся окне нажать кнопку Extract Sources.

2. Выбрать в дереве проектов (в панели Projects) Miscellaneous Connectors.SchLib двойным щелчком левой кнопки мыши. Открыть панель SCH Library, и в ней выбрать разъем Edge Con 22. Скопировать его в буфер.

3. В дереве проектов выбрать свою библиотеку. Открыть панель SCH Library. Вставить из буфера разъем. Изменить Default Designator: X.

4. Выделить все выводы. Активизировать в строке статуса панель-закладку SCH Inspector (например: View>>Workspace Panels>>SCH>>SCH Inspector), после чего откроется плавающая панель редактирования SCH Inspector. Для удобства расположить эту панель слева от рабочего поля (там же, где по умолчанию располагается панель Projects).

5. В поле Length указать длину вывода 5мм. Нажать Enter. Затем выбрать Edit\Align\Align To Grid (при этом все выводы должны быть выделены, а сетка должна быть 2,5мм).

6. Выделить прямоугольник УГО и подравнять нижний край по сетке. Сдвинуть УГО так, чтобы левый верхний вывод

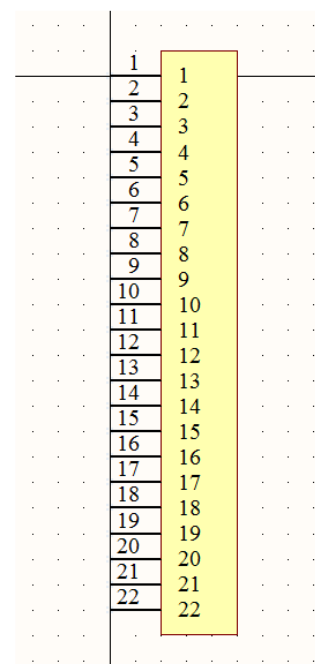


Рис. 91. УГО разъема Edge Con 22

был в перекрестии рабочего поля (см. Рис. 91). Затем сохранить библиотеку.

7. Сформировать отчет посредством команды Report>>Library Report. Параметры отчета показаны на Рис. 92. Пример отчета (для двух микросхем и разъема) см. в разделе 6. «Пример отчета по лабораторным работам».

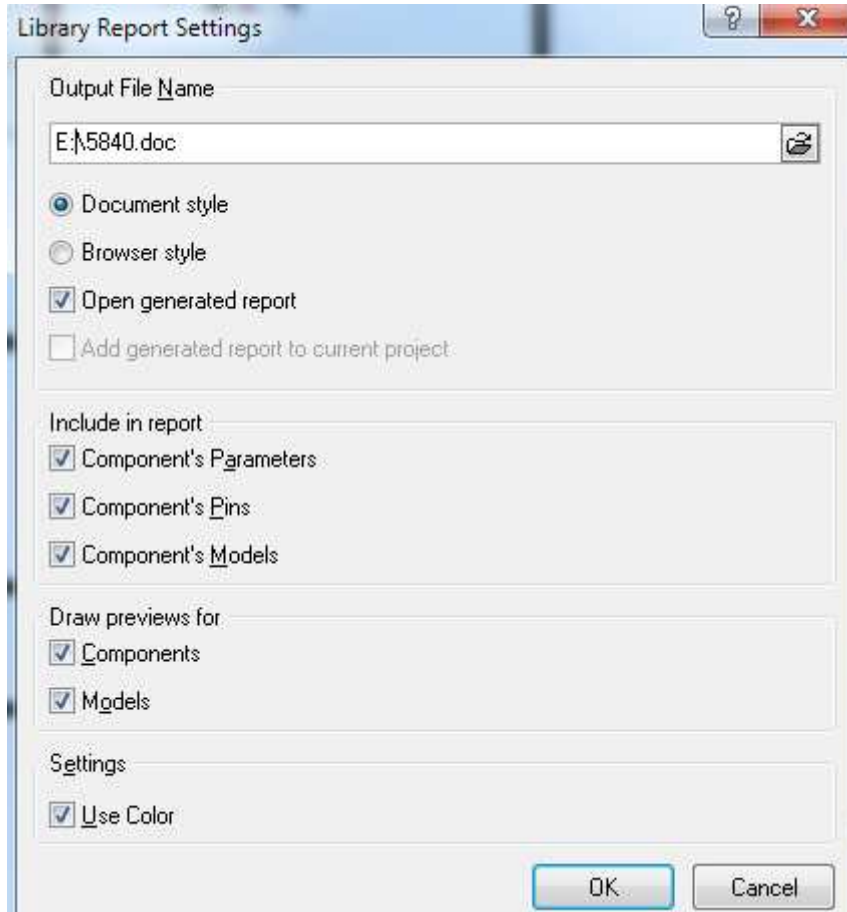


Рис. 92. Параметры отчета в Schematic Library

### Контрольные вопросы к л.р.№1.

1. Для чего создается УГО ЭК при проектировании печатных плат?
2. Что включает УГО ЭК?
3. Что такое вентиль МС?
4. С каким расширением сохраняется библиотека УГО?
5. Какие команды используются при создании УГО?

## **2. Посадочное место под корпус ЭК**

**Цель работы:** Создание посадочного места под корпус электронного компонента как библиотечного элемента топологии печатной платы.

### **Задание на лабораторную работу:**

1. Ознакомиться с чертежом корпуса ЭК.
2. Определить вариант установки ЭК на печатную плату.
3. Рассчитать размер контактных площадок.
4. Разместить контактные площадки.
5. Вычертить графический образ корпуса.
6. Сохранить посадочное место в библиотеке PcbLib.
7. Подготовить отчет.

Посадочное место создается на основании чертежа ЭК. Посадочное место представляет собой набор контактных площадок и конструктив корпуса (вид сверху) компонента. Конструктив корпуса изображается упрощенно по габаритным размерам.

Диаметр отверстия и контактной площадки (КП) для штыревого вывода выбирается из Табл. 3. Таблица составлена в соответствии с ГОСТ 11284-75 «Отверстия сквозные под крепежные детали. Размеры» и ОСТ4.010.022-85 «Платы печатные. Методы конструирования и расчета», для печатных плат длиной до 360 мм, изготавливаемых по 3 классу точности.

*Табл. 3*

**Диаметры отверстий и КП для штыревых выводов (мм)**

<b>Диаметр вывода, не более</b>	<b>Номинальный диаметр металлизированного отверстия</b>	<b>Минимальный диаметр КП</b>
0,4	0,6	1,1
0,5	0,7	1,2
0,6	0,8	1,3
0,7	0,9	1,4
0,8	1,0	1,5
0,9	1,1	1,7
1,0	1,2	1,8
1,1	1,3	1,9
1,2	1,4	2,0
1,3	1,5	2,1
1,4	1,6	2,2
1,5	1,7	2,3

Для возможности пайки ЭК поверхностного монтажа размеры планарной КП под компонент увеличивают относительно максимальных размеров металлизированной контактной поверхности.

В Altium Designer есть мастер создания посадочных мест под корпуса поверхностного монтажа (IPC Footprint Wizard), который автоматически рассчитывает размеры планарной контактной площадки.

Посадочное место компонента создается в графическом редакторе PCB Library.

### Пример создания посадочного места под корпус поверхностного монтажа

На примере корпуса SO-8 для микросхемы AD8561AR.

1. Создать новую библиотеку посадочных мест, выбрав в меню File>>New>>Library>>PCB Library.

2. Выбрать Tools/IPC Footprint Wizard, нажать Next, выбрать тип корпуса: для AD8561AR – SOIC, и задать параметры корпуса в соответствии с чертежом, представленном на Рис. 93. Параметры корпуса представлены на Рис. 94.

#### 8-Lead Small Outline IC (SO-8)

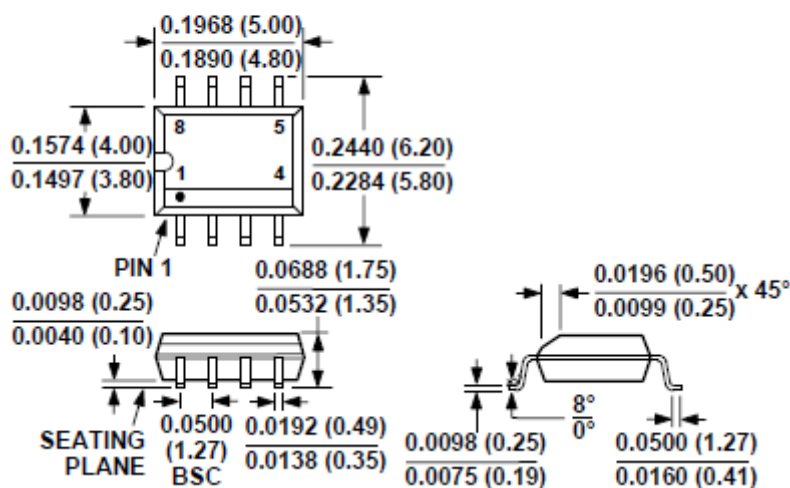


Рис. 93. Чертеж корпуса SO-8

3. Следующий шаг пропустить, т.к. контактная площадка для теплоотвода отсутствует – нажать Next. Далее еще нажать 4 раза Next, чтобы использовать рассчитанные значения между рядами КП, размеры КП для средней плотности монтажа, допуски и зазор между электрическими и механическими объектами.

4. Проверить итоговые размеры, нажать Next.

5. Указать ширину линии графики корпуса: 0,2мм. Размеры прямоугольника, изображающего корпус в слое шелкографии оставить по умолчанию (они рассчитаны с учетом зазоров между электрическими и механическими объектами). Нажать Next.

6. Габаритные размеры посадочного места, монтажные размеры корпуса и реальные размеры корпуса оставить по умолчанию. Нажать Next.

7. Задать имя корпуса: SO-8, описание посадочного места оставить по умолчанию, см. Рис. 95. Нажать Next.

8. Посадочное место сохранить в текущую библиотеку. Нажать Next.

9. Нажать Finish (результат представлен на Рис. 96).

10. Сохранить библиотеку PcbLib. Файл сохранить на диск D:\, наименование папки: «№группы», наименование файла: «фамилиястудента».

The image shows a screenshot of the 'IPC Footprint Wizard' dialog box. The title bar reads 'IPC Footprint Wizard'. The main heading is 'SOIC Package Dimensions' with the instruction 'Enter the required package values.' Below this, there are two sections: 'Overall Dimensions' and 'Pin Information'. Each section contains several parameters with input fields. The 'Overall Dimensions' section includes: Width Range (H) with Minimum (5.8mm) and Maximum (6.2mm) fields; Maximum Height (A) with a field containing 1.75; Minimum Standoff Height (A1) with a field containing 0.19mm; Maximum Body Width (E) with a field containing 4mm; and Maximum Body Length (D) with a field containing 5mm. The 'Pin Information' section includes: Number of pins with a field containing 8; Lead Width Range (B) with Minimum (0.35mm) and Maximum (0.49mm) fields; and Lead Length Range (L) with Minimum (0.41mm) and Maximum (1.27mm) fields. At the bottom, there is a note: 'All SOIC packages have a pitch (e) of 1.27mm'.

Overall Dimensions		
Width Range (H)	Minimum	5.8mm
	Maximum	6.2mm
Maximum Height (A)		1.75
Minimum Standoff Height (A1)		0.19mm
Maximum Body Width (E)		4mm
Maximum Body Length (D)		5mm

Pin Information		
Number of pins		8
Lead Width Range (B)	Minimum	0.35mm
	Maximum	0.49mm
Lead Length Range (L)	Minimum	0.41mm
	Maximum	1.27mm

All SOIC packages have a pitch (e) of 1.27mm

Рис. 94. Параметры корпуса SO-8





Рис. 95. Описание посадочного места под корпус SO-8

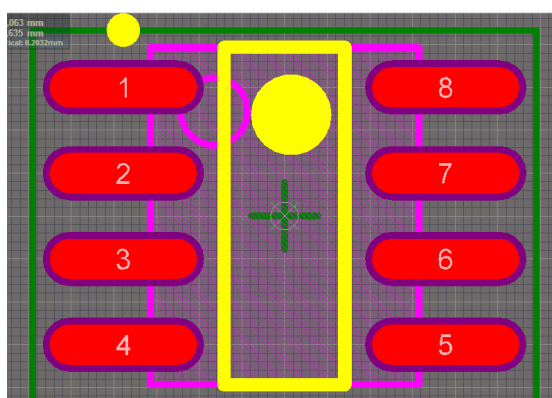


Рис. 96. Посадочное место под корпус SO-8

Пример создания посадочного места под корпус со штыревыми выводами

На примере корпуса 201.14-1 для МС КР1564ЛА3.

1. Находясь в редакторе PCB Library выбрать в меню Tools>>Component Wizard.
2. Выбрать вид корпуса: Dual In-line Packages (DIP). Выбрать единицы измерения: мм (см. Рис. 97). Нажать Next.
3. Задать размеры отверстия и контактной площадки исходя из размера вывода, указанного на чертеже (см. Рис. 98), в соответствии с Табл. 3, см. Рис. 99.
4. Указать расстояние между КП в одном ряду (шаг ножек микросхемы) и расстояние между рядами КП в соответствии с чертежом корпуса (см. Рис. 100).
5. Указать ширину линии графики корпуса: 0,2мм.
6. Ввести количество КП, для корпуса 201.14-1: 14.
7. Вести наименование корпуса: 201.14.
8. В последнем окне нажать Finish (результат представлен на Рис. 101).
9. Сохранить библиотеку PcbLib.

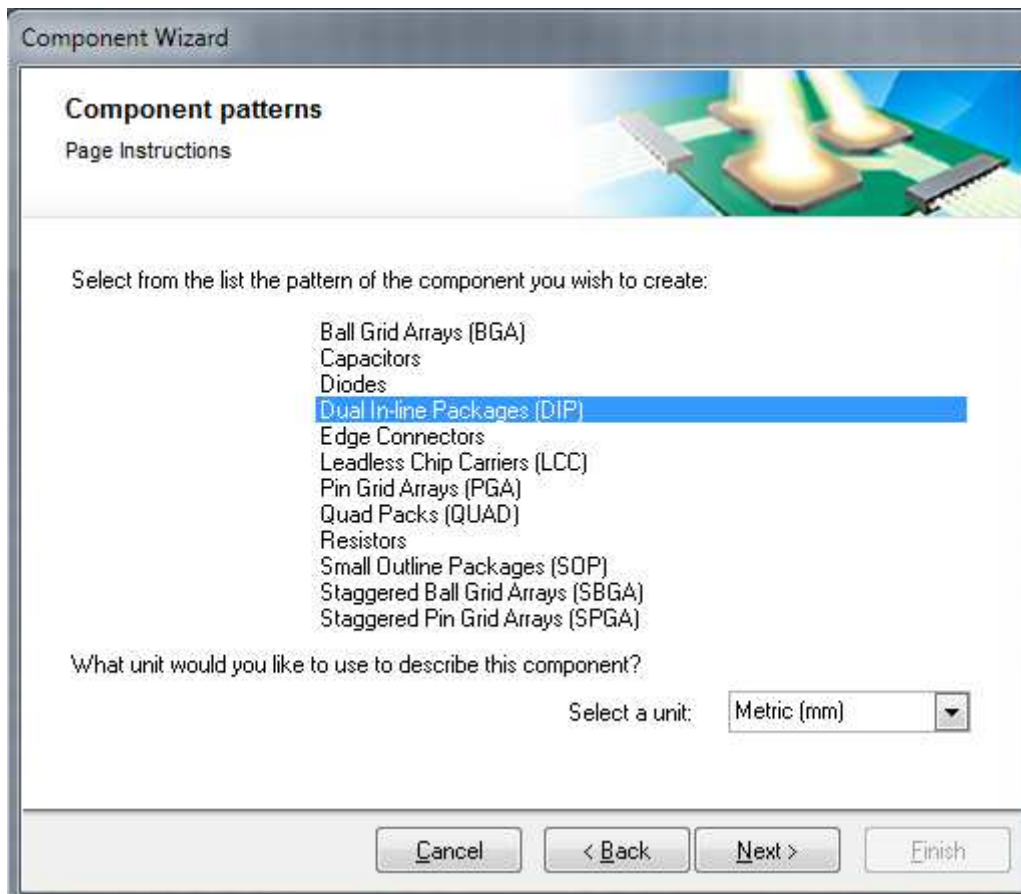


Рис. 97. Окно выбора вида корпуса и единиц измерения

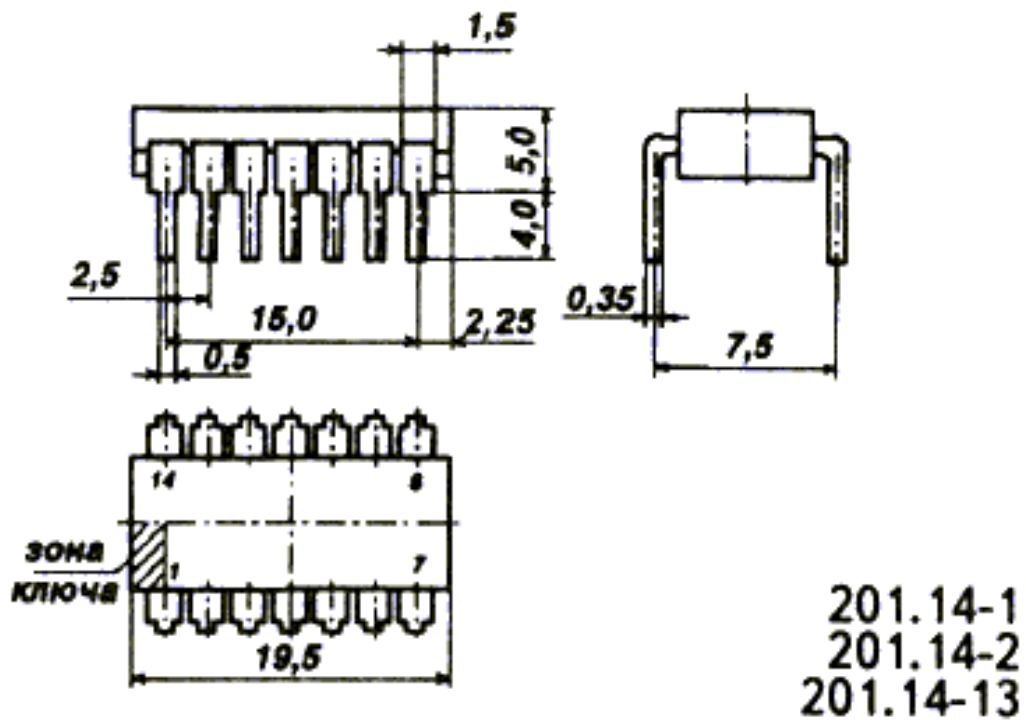


Рис. 98. Чертеж корпуса 201.14

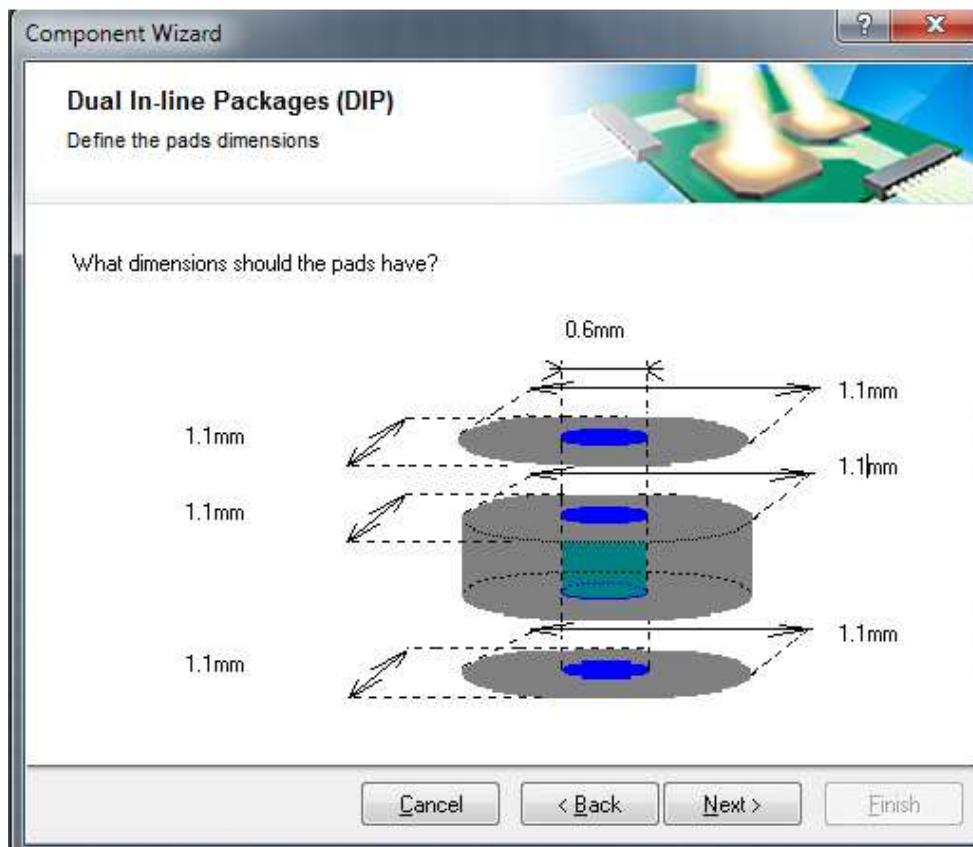


Рис. 99. Размеры отверстия и контактной площадки для вывода корпуса 201.14

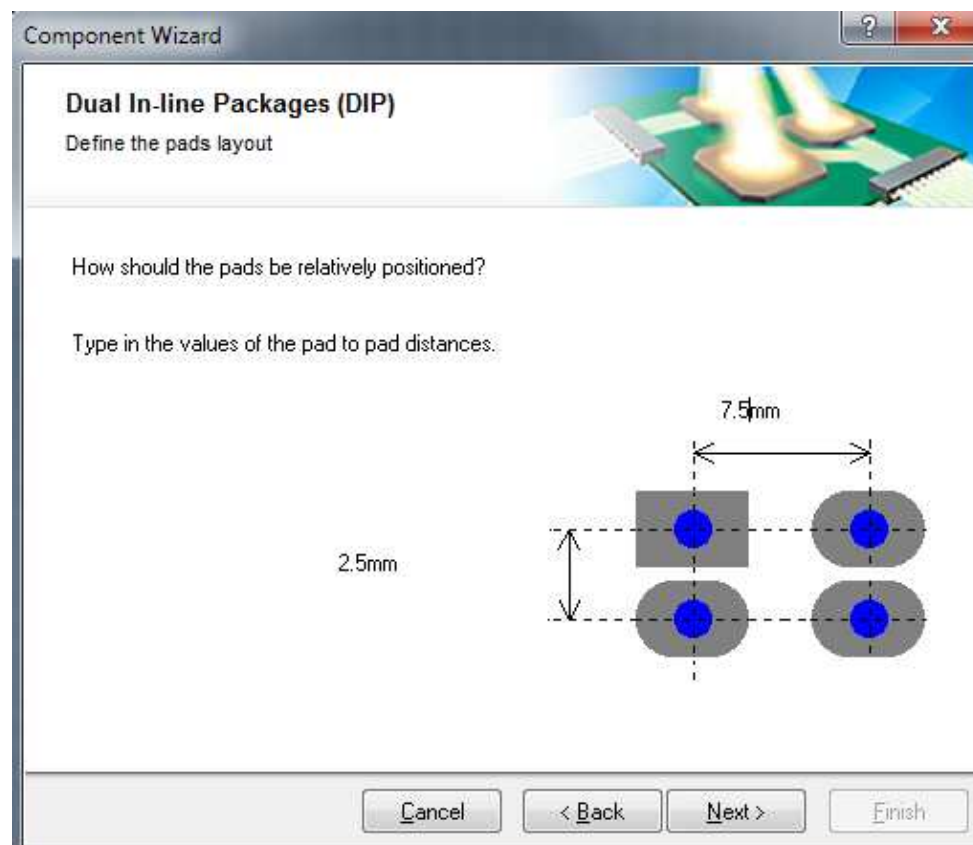


Рис. 100. Расстояние между КП для корпуса 201.14

10. Сформировать отчет посредством команды Report>>Library Report с параметрами по умолчанию.

11. Пример отчета (для двух корпусов) см. в разделе 6. «Пример отчета по лабораторным работам».

12. Подключить посадочные места к УГО. Открыть schlib. Выбрать AD8561. В зоне подключения моделей (под рабочим полем) нажать кнопку Add Footprint. В окне PCB Model нажать кнопку Browse, в окне Browse Librarys нажать кнопку «...», выбрать закладку Installed, в поле Library Path Relative To открыть свою библиотеку PCBLib (при этом надо выбрать тип файла PCBLib), и выбрать корпус SO-8. Аналогично подключить корпус 201.14 к МС КР1564ЛАЗ.

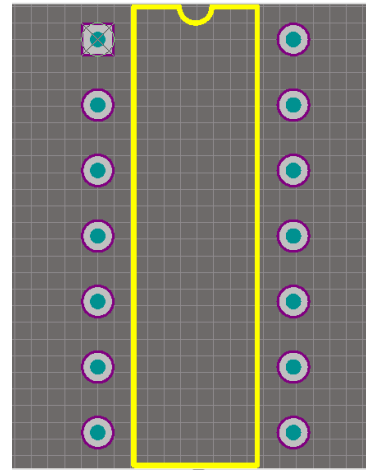


Рис. 101. Посадочное место под корпус 201.14

### Контрольные вопросы к л.р.№2.

1. Что включает посадочное место под корпус ЭК?
2. Какие бывают контактные площадки, в чем их различия?
3. С каким расширением сохраняется библиотека посадочных мест?
4. В каком слое создается графика корпуса?
5. В каком слое создается планарная КП в Altium Designer?

### **3. Принципиальная электрическая схема**

**Цель работы:** Оформить принципиальную электрическую схему в графическом редакторе Schematic в соответствии с ГОСТ и выполнить компиляцию схемы.

#### **Задание на лабораторную работу:**

1. Подключить форматку (шаблон с рамкой и основной надписью).
2. Разместить УГО ЭК.
3. Ввести электрические связи.
4. Разместить порты питания (VCC+, VCC-, GND).
5. Выполнить автоматическую нумерацию ЭК.
6. Сохранить схему в виде файла с расширением sch.
7. Выполнить компиляцию схемы.
8. Подготовить отчет.

При оформлении принципиальной электрической схемы необходимо стремиться к минимальной длине соединений и к минимальному количеству изломов. Принципиальная электрическая схема оформляется в соответствии с ГОСТ 2.701 и ГОСТ 2.702.

1. Создать новый проект, выбрав File>>New>>Project>>PCB Project. При этом в дереве проектов в главном поле панели Projects появится новый узел с расширением PrjPcb.
2. Сохранить файл, выбрав команду File>>Save Project. Файл сохранить на диск D:\, наименование папки: «№группы», наименование файла: «фамилиястудента».
3. Создать новый документ, выбрав File>>New>>Schematic.
4. Сохранить файл SchDoc, выбрав команду File>>Save. Файл сохранить на диск D:\, наименование папки: «№группы», наименование файла: «фамилиястудента».
5. Сменить шаблон с помощью команды Design>>Project Templates>>Choose a File. В появившемся диалоговом окне указать файл шаблона A4\_1\_portrait.SchDot.
6. В окне Update Template устанавливаются опции обновления шаблона. Здесь нужно выбрать опцию обновления только для текущего документа – Just this document, и обновление всех параметров предыдущего шаблона на параметры нового – Replace all matching parameters (см. Рис. 102).

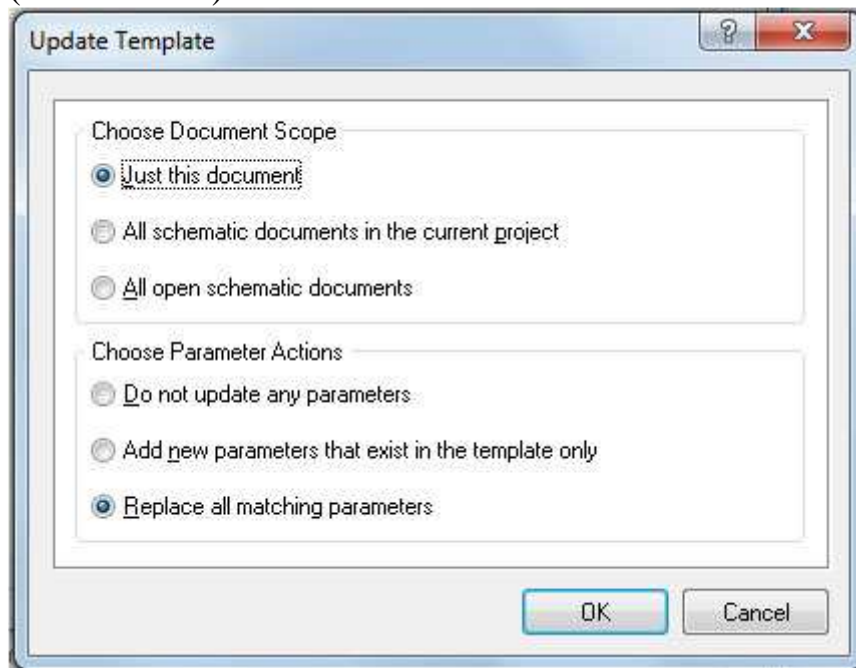


Рис. 102. Параметры обновления шаблона

7. Выбрать команду Design>>Document Options, после чего откроется окно настроек листа схемы. Выбрать вкладку Parameters и заполнить параметры документа (см. Рис. 103). В колонке Value указать истинное значение по Табл. 4.
8. Сохранить изменения в схеме командой File>>Save.
9. Сохранить изменения в проекте. Нажать кнопку Project в верхней части панели Projects и в контекстном меню выбрать команду Save Project.

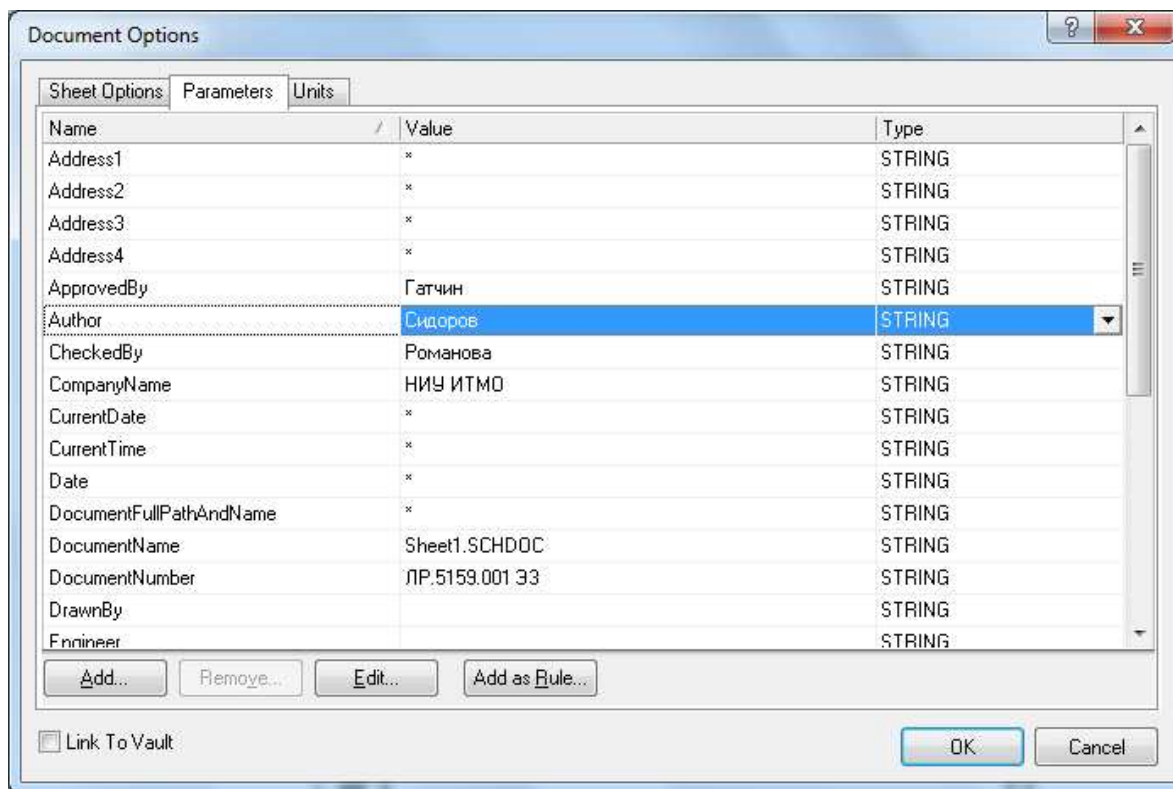


Рис. 103. Параметры документа

Табл. 4

### Значения параметров документа

Параметр	Описание параметра	Пример значения параметра (Value)
ApprovedBy	Утвердил	Гатчин
Author	Разработал	<i>Сидоров</i>
CheckedBy	Проверил	Романова
CompanyName	Название организации	НИУ ИТМО
DocumentNumber	Децимальный номер	ЛР.5159.001 ЭЗ
Title	Наименование устройства	Блок цифровой
SheetNumber	*	
SheetTotal	*	1

10. Вызвать панель Libraries, нажав кнопку System и выбрав Libraries в правом нижнем углу рабочей области.

11. В верхней части панели нажать кнопку Libraries. В окне Available Libraries в закладке Installed отображаются доступные библиотеки (в т.ч. должны быть подключены библиотеки Miscellaneous Connectors.IntLib и Miscellaneous Devices.IntLib). Добавить в список свои библиотеки (SchLib и PcbLib) посредством нажатия кнопки Install. Затем закрыть окно Available Libraries. Добавленные библиотеки SchLib и IntLib появятся в выпадающем списке панели Libraries.



12. С помощью мыши выбрать Edge Con 22 в списке компонентов библиотеки и нажать кнопку Place в верхней части панели. Затем разместить разъем ближе к левой границе рамки листа. При этом входной разъем надо отзеркалить.

Зеркальное отображение объекта по горизонтали осуществляется посредством клавиши «X».

Далее нужно разместить все УГО в соответствии со схемой, представленной на Рис. 104. При этом нужно найти в готовых библиотеках резистор «Res2» и конденсатор «Cap Semi». Для поиска УГО нажать кнопку Search, расположенную в верхней части панели Libraries. В поле Score раскрыть выпадающий список Search in, выбрать предмет поиска Components и включить опцию Libraries on Path, которая ограничивает область поиска конкретной папкой (см. Рис. 105). В поле Path указать путь расположения папки для поиска компонента: ...AD 10\Library. Переключатель Include Subdirectories выключить. В поле Filters указать критерии поиска: в строке Field вписать Name, в качестве Operator указать Contains. В поле Value вписать наименование компонента, который нужно найти, для резистора: Res2. Запустить процесс поиска кнопкой Search.

13. Проставить номиналы в соответствии со схемой. Для изменения номинала необходимо выделить УГО, нажать правую кнопку мыши и выбрать Properties, затем в зоне Properties изменить значение параметра Value – указать номинал (см. Рис. 106).

14. Нарисовать электрические связи в соответствии со схемой посредством команды Place>>Wire.

15. Ввести порты питания, выбрав команду GND Power Port и нажав клавишу TAB. В окне параметров надо указать стиль порта, ввести имя цепи и убрать галочку изображения имени цепи, см. Рис. 107. Аналогично добавить порты VCC+ и VCC-, для которых выбрать стиль порта Arrow, поставить галочку изображения имени цепи и ввести соответствующее имя цепи.

16. Автоматически пронумеровать УГО, выбрав команду Tools>>Annotate Schematic. В левом верхнем углу появившегося окна Annotate задать направление нумерации Down then Across. Затем в правом нижнем углу окна нажать кнопку Update Changes List, после чего в колонке Proposed таблицы Proposed Change List будет показана новая нумерация. Нажать кнопку Accept Changes (Create ECO), чтобы внести изменения в схему. В открывшемся окне Engineering Change Order перечислены изменения, которые могут быть переданы в схему. Для проверки передачи перечисленных изменений и выхода последовательно нажать кнопки Validate Changes, Execute Changes и Close.

17. Сохранить схему.

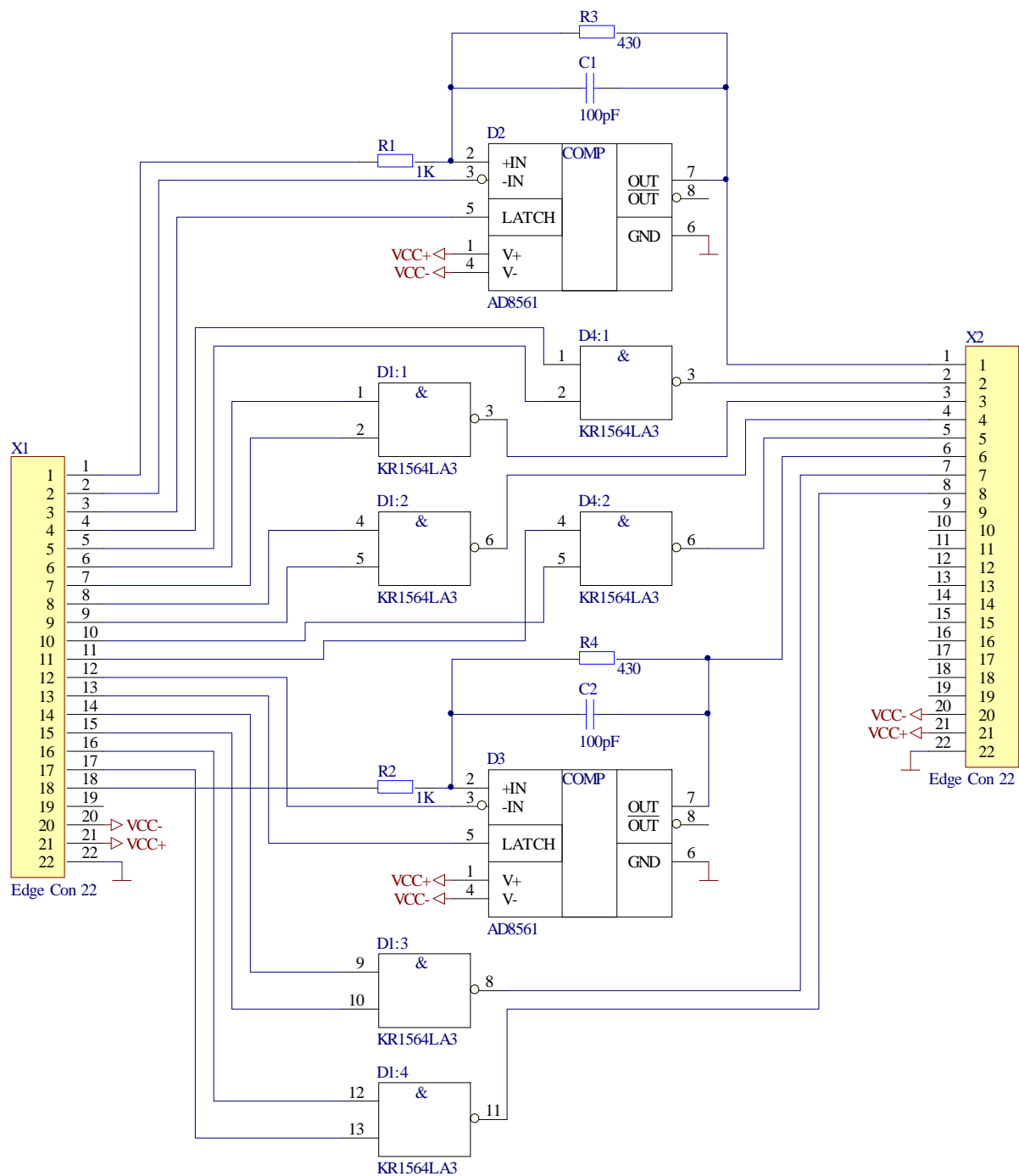


Рис. 104. Принципиальная электрическая схема



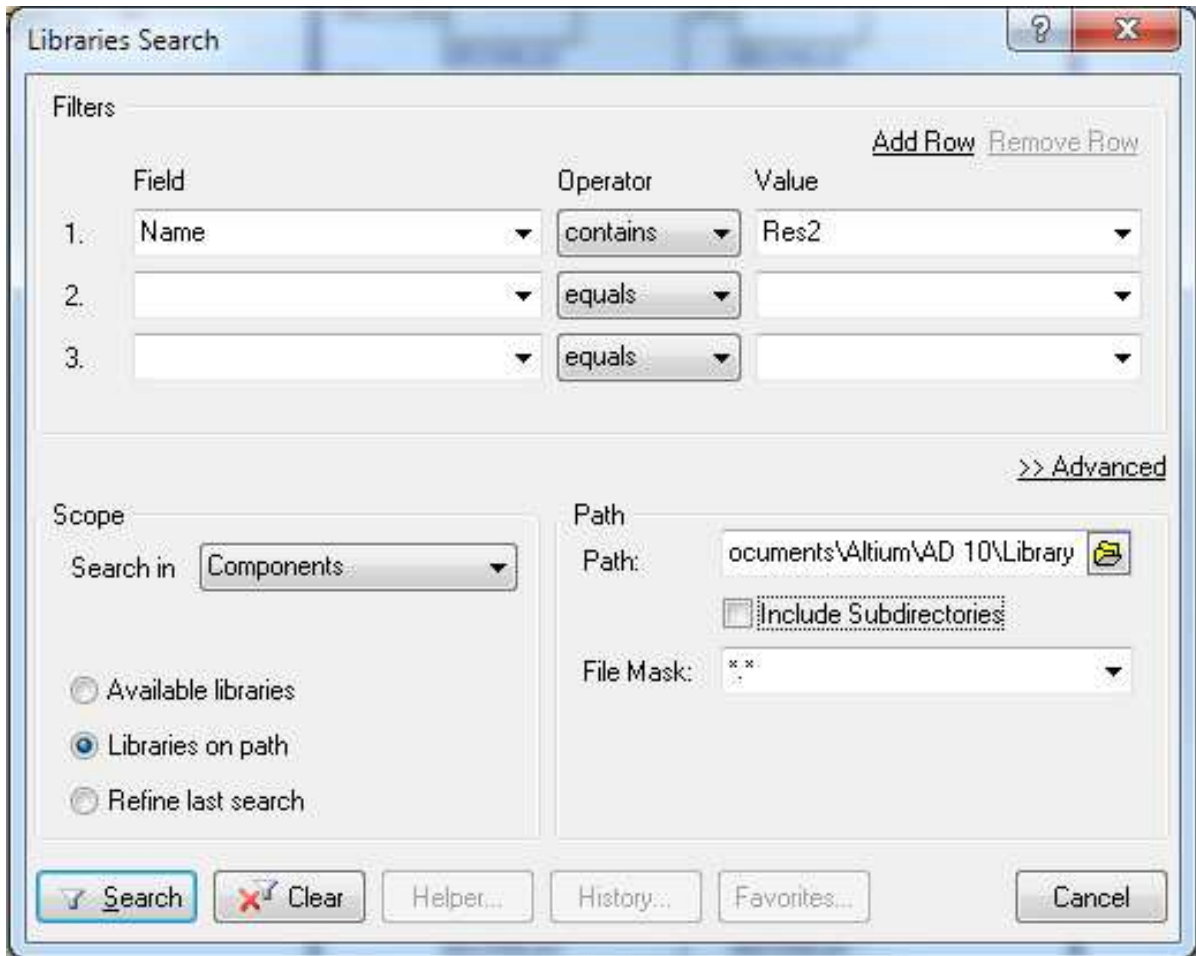


Рис. 105. Параметры поиска в библиотеке компонента Res2

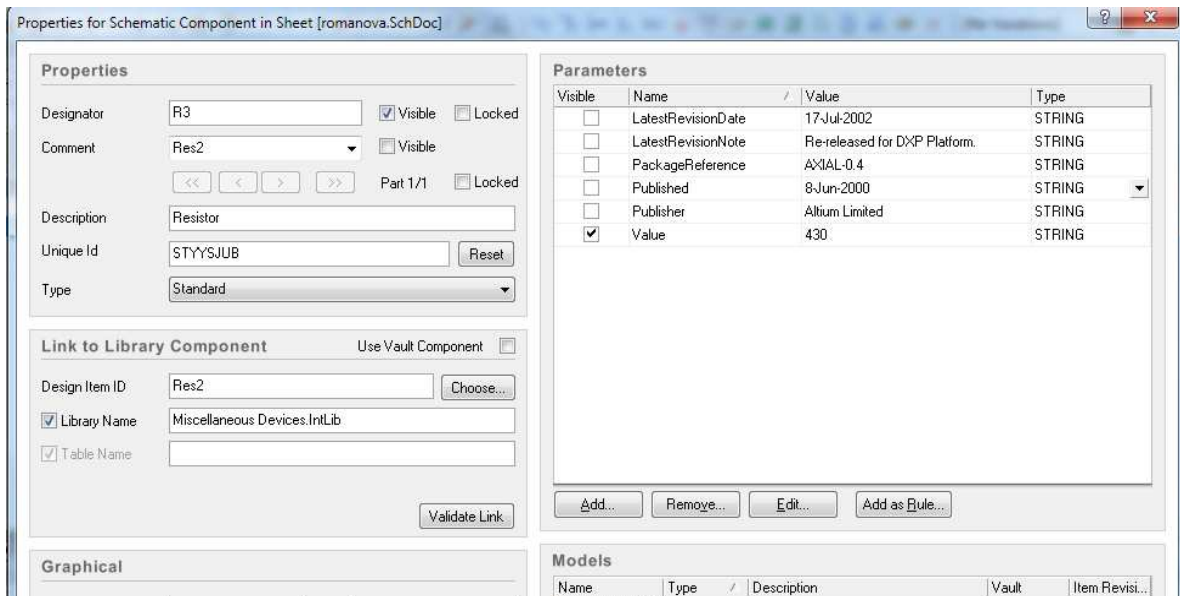


Рис. 106. Свойства резистора Res2

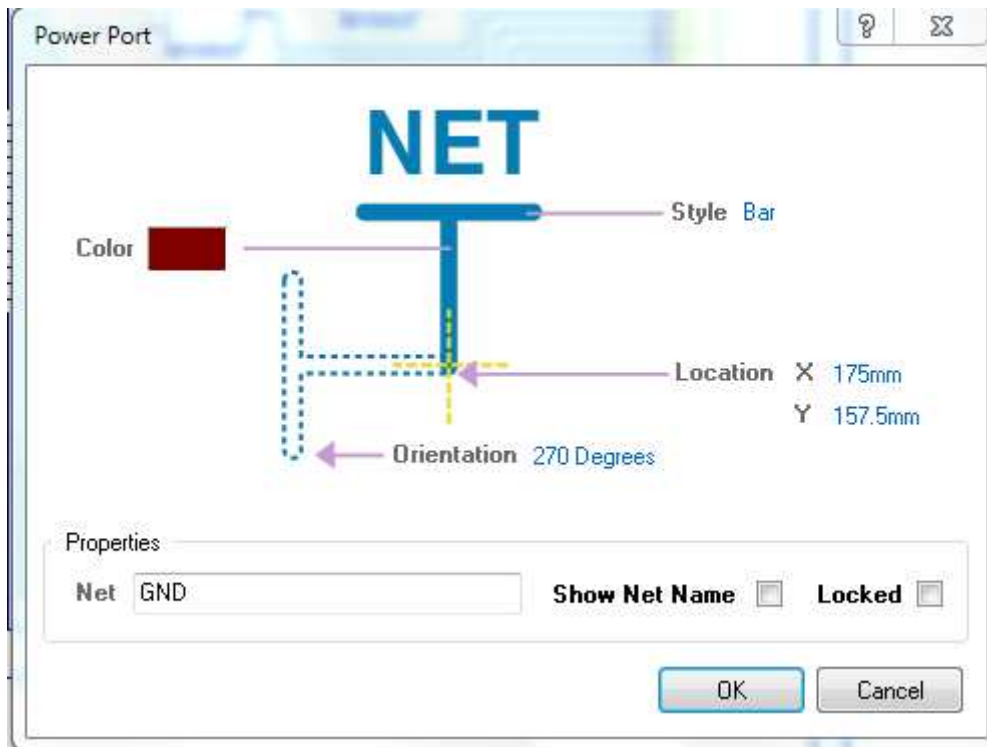


Рис. 107. Параметры порта GND

18. Выбрать команду Project>>Project Options. Во вкладке Errors Reporting установить опции проекта как показано на Рис. 108 и Рис. 109, нераскрытые на рисунках категории (Code Symbols, Configuration Constrains, Documents, Harnesses) в отчет не включать, т.е. установить No Report. Далее во вкладке Connection Matrix на пересечении Unconnected и Input Pin (справа сверху) нажимать на квадратик до окрашивания его в зеленый цвет – это необходимо для того, чтобы не включать в отчет информацию о неподключенных входах.

19. Компилировать схему выбрав Project>>Compile Document \*.SchDoc. Если есть ошибки, то исправить их и снова осуществить компиляцию. Предупреждения можно не исправлять, но принять к сведению, например, для данной схемы с установленными опциями должно быть 2 предупреждения о том, что добавлены скрытые выводы (GND и VCC+).

20. Сохранить схему. Сохранить проект.

21. Для формирования отчета создать файл настроек печати, выбрав File>>New>>Output Job File (при этом должен быть открыт проект PrjPcb). Нажать на строку Add New Documentation Output, выбрать Schematic Print и свою схему. В зоне Output Containers выбрать PDF. В зоне Outputs отметить радиокнопку в столбце Enabled напротив схемы. Далее в зоне Output Containers нажать Generate content, после этого откроется файл схемы в формате PDF (для этого на компьютере должен быть установлен выюер файлов pdf, например Adobe Reader). Таким образом будет сформирован файл формата PDF, который можно сохранить на жесткий диск и впоследствии распечатать. Можно также выбрать подключенный к

компьютеру принтер и распечатать на него схему. Для этого надо выделив сформированный Schematic Prints нажать правую кнопку мыши и выбрать Page Setup, и нажав кнопку Print в поле Name выбрать установленный принтер.

## 22. Сохранить документ OutJob. Сохранить проект.

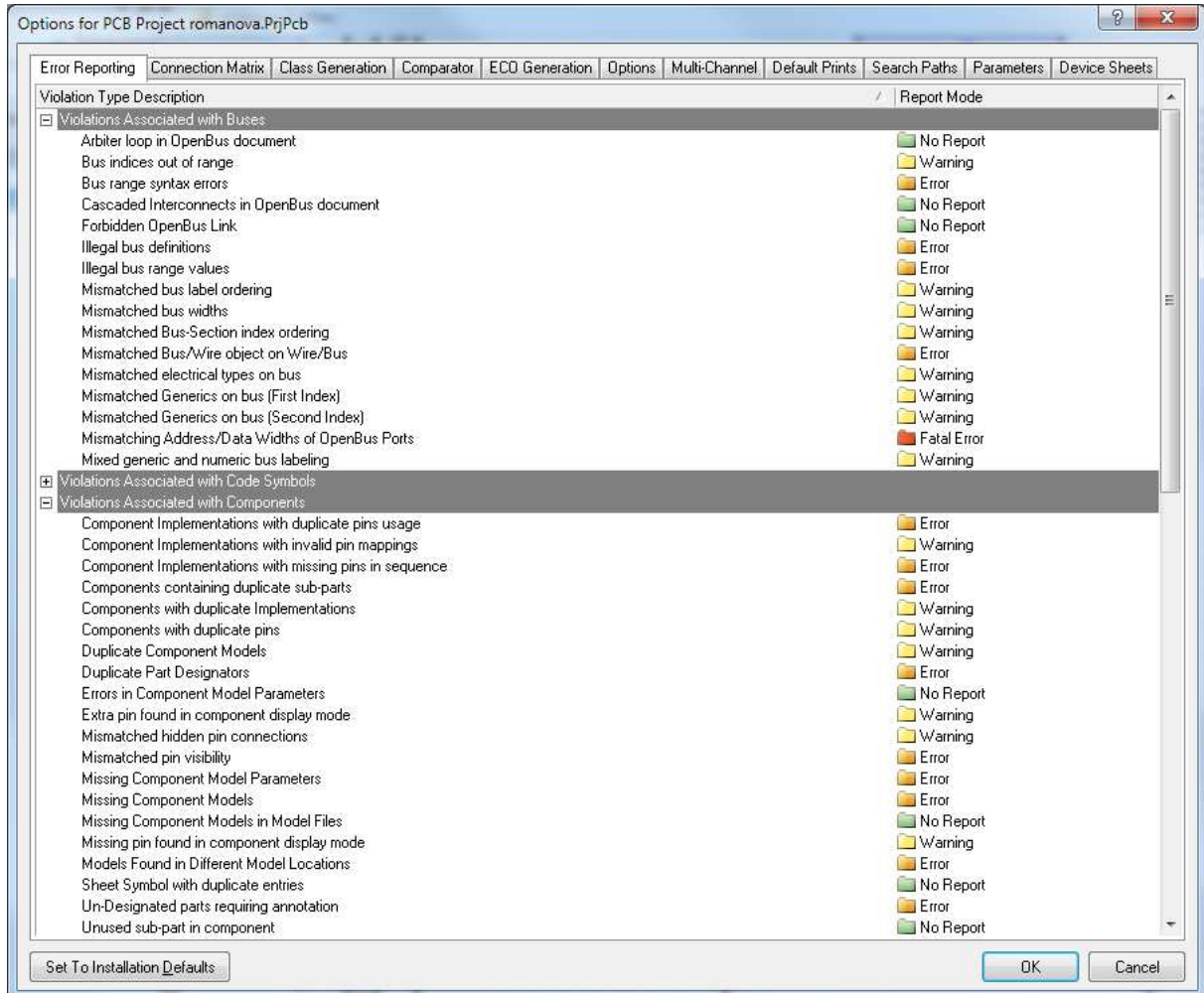


Рис. 108. Опции проекта (категории Buses и Components)

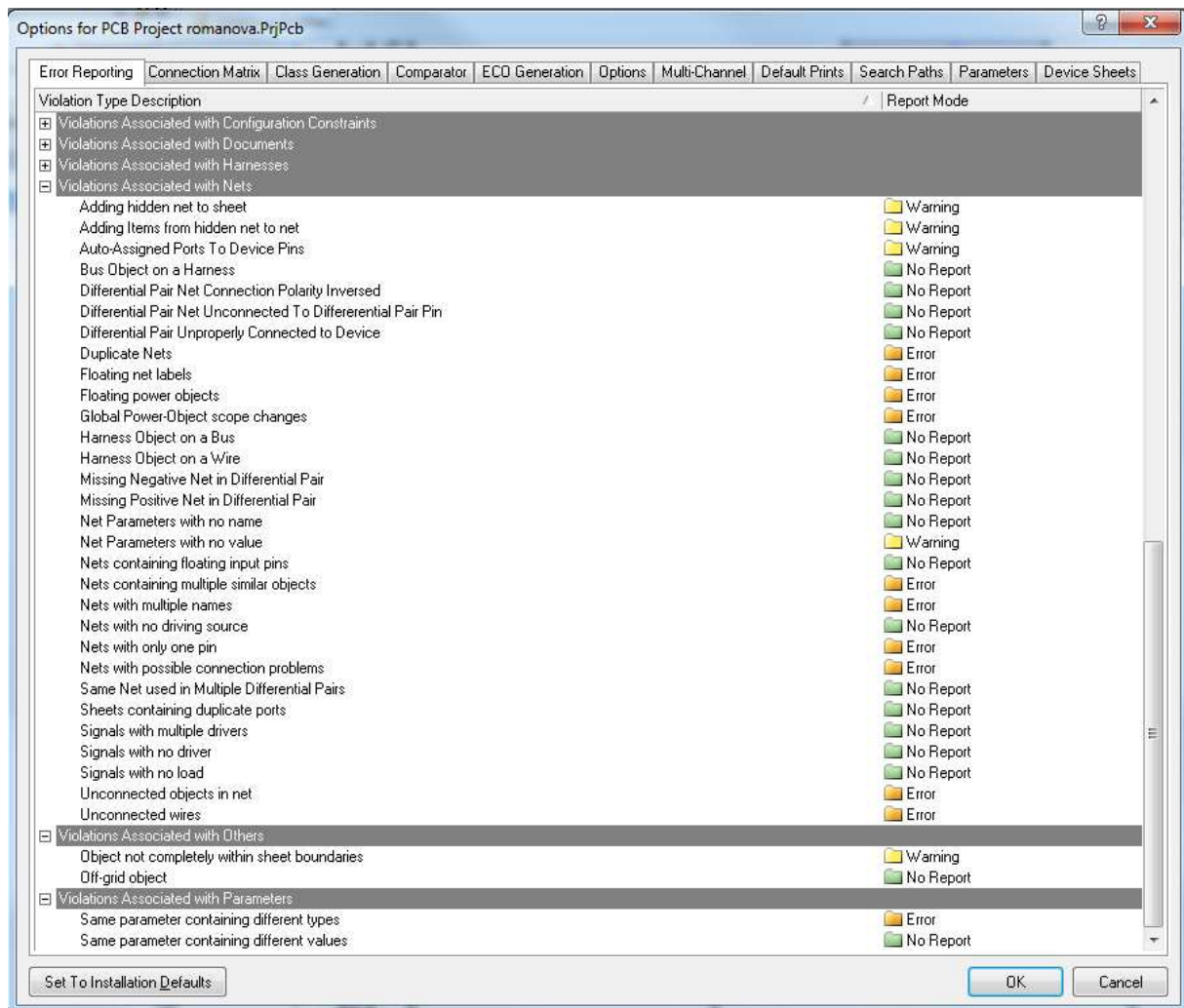


Рис. 109. Опции проекта (категории Nets, Others и Parameters)

### Контрольные вопросы к л.р.№3.

1. В какой подпрограмме создается принципиальная электрическая схема?
2. Какие команды используются при оформлении схемы?
3. Что указывают в параметре Value в УГО на схеме?
4. Какие используют стили порта?
5. С каким расширением сохраняется файл схемы в Altium Designer?

#### 4. Компоновка платы и размещение компонентов на плате

**Цель работы:** скомпоновать плату и вручную (интерактивно) разместить компоненты на одной поверхности платы (сверху).

##### **Задание на лабораторную работу:**

1. Создать конструктив печатной платы.
2. Загрузить корпуса ЭК с подключенными связями.
3. Разместить ЭК на плате.
4. Оптимизировать связи между ЭК.
5. Сохранить топологию ПП в файле с расширением .pcbdoc.

Топология ПП представляет собой модель ПП, включающую: контур платы; посадочные места под корпуса ЭК; электрические связи, впоследствии заменяемые проводниками; и другую различную графическую и текстовую информацию, необходимую для разработки и изготовления платы.

Существует возможность автоматического размещения ЭК, но оно непригодно для оптимального проектирования ПП. Автоматическое размещение на практике может использоваться для анализа возможности трассировки на плате определенного размера. Для изготовления ПП (особенно при серийном производстве) размещение ЭК производят вручную.

Компоненты с общими связями располагают рядом, с учетом количества общих связей. При размещении нужно располагать ЭК так, чтобы оставалось место для проводников, но не было впоследствии пустого места на ПП (т.е. необходимо экономить место на плате для возможности уменьшения размеров платы). В первую очередь размещают разъемы. Как правило, их располагают вдоль края платы, т.к. это обеспечит удобство в процессе тестирования и отладки, и во время эксплуатации изделия. Затем размещают крупные элементы (МС, трансформаторы, и др.), а потом мелкие (конденсаторы, резисторы и др.). Размещение ЭК определяет результаты трассировки, поэтому рекомендуется тщательно изучить связи и в соответствии с этим наиболее оптимально разместить ЭК.

При размещении ЭК на плате необходимо соблюдать следующие требования:

1) Минимизировать длину электрических связей, чтобы будущие печатные проводники были наиболее короткими (для лучшего прохождения сигнала).

2) Минимизировать количество пересечения электрических связей, чтобы минимизировать при трассировке количество переходных отверстий

(для экономии места на плате, уменьшения количества технологических операций и экономии материалов).

3) Однотипные корпуса ориентировать одинаково (относительно расположения первого вывода). Чтобы минимизировать время монтажа; обеспечить удобство в ходе процессов тестирования, отладки и эксплуатации изделия; а также это улучшит внешний вид изделия.

4) Двухрядные корпуса ориентировать параллельно, чтобы обеспечить удобство в ходе трассировки.

Важность соблюдения того или иного требования при возникновении противоречий определяет конструктор.

1. Открыть файл A4\_portrait.PcbDoc. Заполнить основную надпись. Децимальный номер сборки платы (в слое Top Overlay, желтого цвета) – ЛР.5159.001 СБ. Децимальный номер печатной платы (в слое Mechanical 4) – ЛР.5159.002.

2. На свободном месте создать контур платы размером 60x40 мм, выбрав Design>>Board Shape>>Redefine Board Shape. Для удобства можно ориентироваться на подсказки в левом верхнем углу рабочего поля (dx, dy), а также будет удобнее вычерчивать контур, если выбрать шаг 20 мм. Выровнять контур платы относительно вида сбоку, используя Design>>Board Shape>>Move Board Shape, см. Рис. 110.

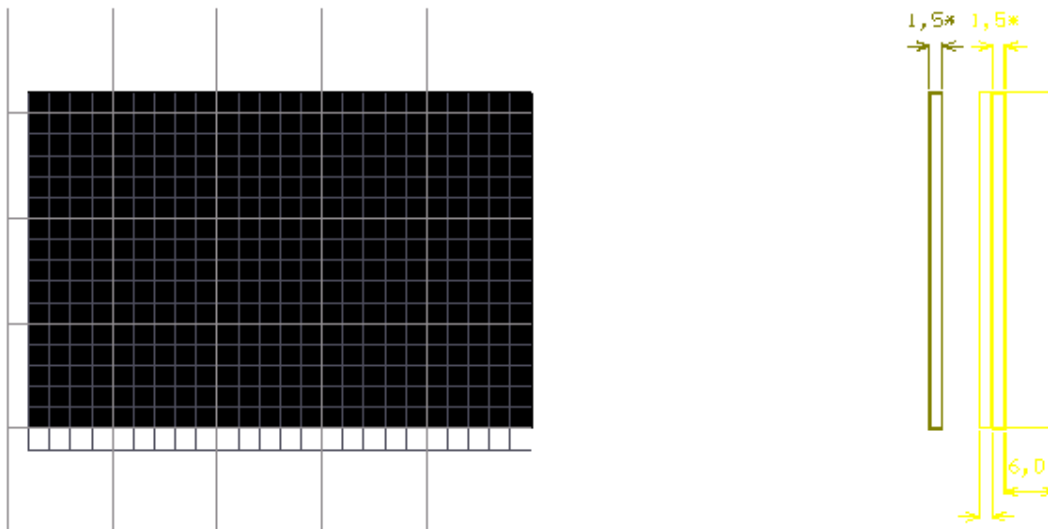


Рис. 110. Контур платы

3. В панели Project перетащить мышкой созданный документ PCBDoc в свой проект.

4. Сохранить файл PCBDoc. Файл сохранить на диск D:\, наименование папки: «№группы», наименование файла: «фамилиястудента».

5. Загрузить корпуса и электрические связи на плату, выбрав Design >>Import Changes From \*.PrjPCB. В открывшемся окне выбрать сначала



Validate Changes (проверить изменения), а затем Execute Changes (внести изменения).

6. Выделить и удалить автоматически сформированную комнату (Room) коричневого цвета.

7. Выбрать Design>>Rules. В открывшемся окне выбрать категорию Placement>>ComponentClearance. Установить курсор на правило ComponentClearance и задать его свойства, как показано на Рис. 111.

8. Разместить наиболее оптимально ЭК на плате посредством перемещения корпусов мышкой (захватывать следует сам компонент, а не его позиционное обозначение или контактную площадку), при необходимости корпуса можно разворачивать (шаг сетки при размещении должен быть 2,5 мм). Во время размещения можно пользоваться интуитивной подсказкой в виде линий связи, цвет которой меняется от красного к зеленому. Зеленый цвет говорит об уменьшении суммарной длины цепей, отходящих от выбранного компонента. Цвет корпуса должен быть желтым, зеленый цвет корпуса сообщает о нарушении (например, о наложении корпусов друг на друга). При размещении удобно использовать панель PCB>>PCB. В ней нужно открыть Components, Top Side Components, и, вытаскивая по позиционным обозначениям компоненты из списка, располагать их внутри контура платы. Пример размещения представлен на Рис. 112.

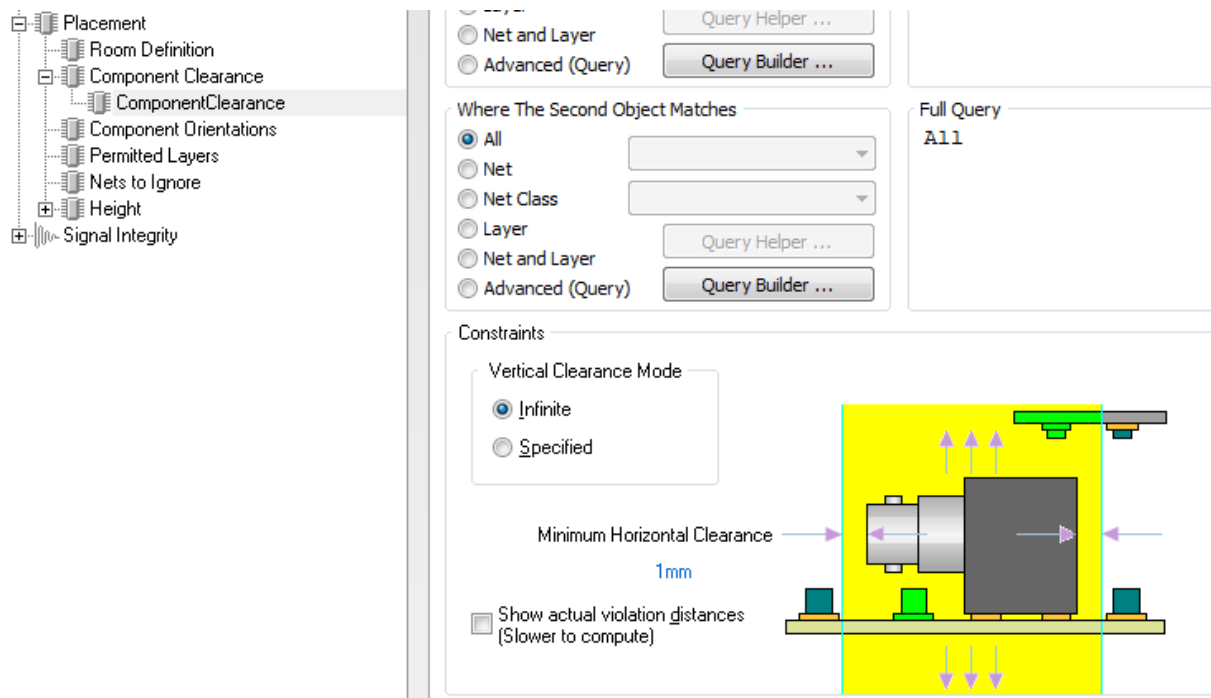


Рис. 111. Установка зазора между компонентами

9. Выбрать Tools>>Pin/Part Swapping>>Configure. В открывшемся окне установить галочки как показано на Рис. 113. Запустить автоматическую оптимизацию электрических связей, выбрав Tools>>Pin/Part

Swapping>>Automatic Net/Pin Optimizer. Затем подтвердить оптимизацию, а результат (изменение суммарной длины связей) скопировать в буфер, а из буфера в Word, и впоследствии добавить в отчет, см. пример на Рис. 114.

10. Внести изменения из платы в схему, выбрав Design>>Update Schematic in \*.PrjPCB. Подтвердить, проверить (Validate), внести изменения (Execute); скопировать в буфер окно Engineering Change Order, а из буфера в Word, и впоследствии добавить в отчет, см. пример на Рис. 115.

11. Сохранить проект и все документы, входящие в него.

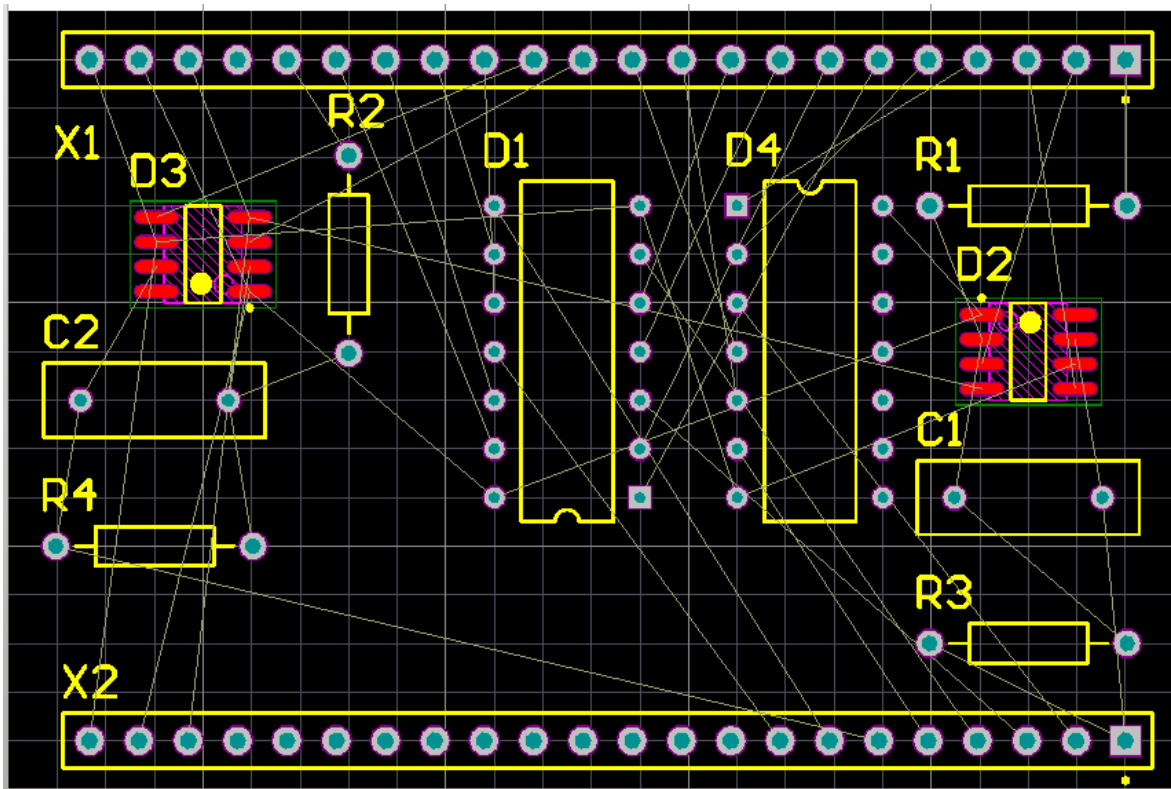


Рис. 112. Пример размещения компонентов на плате

Component Information						Configure in Sche...		Enable in PCB	
Designa...	Comment	Footprint	Library Reference	Pins	Parts	Pin Swa... /	Part Swap ...	Pin Swap	Part Swap
D2	AD8561	SOIC127P600X	AD8561	8	1/1		(6/8)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3	AD8561	SOIC127P600X	AD8561	8	1/1		(6/8)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1:1	KR1564LA3	201.14	KR1564LA3	14	4/4	(8/14)	(14/14)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D4:1	KR1564LA3	201.14	KR1564LA3	14	2/4	(8/14)	(14/14)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис. 113. Конфигурация свапирования



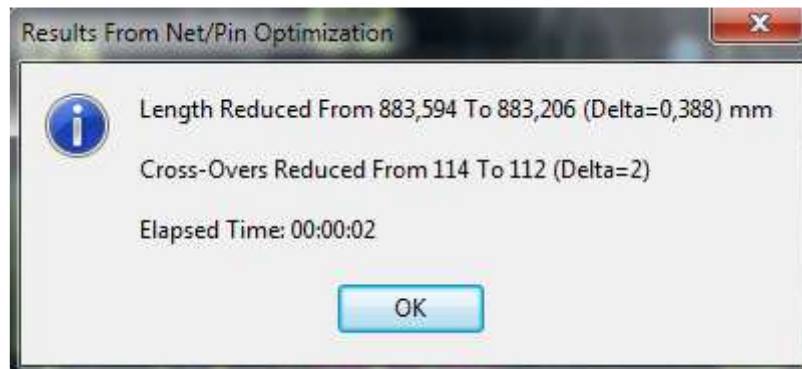


Рис. 114. Результат оптимизации связей

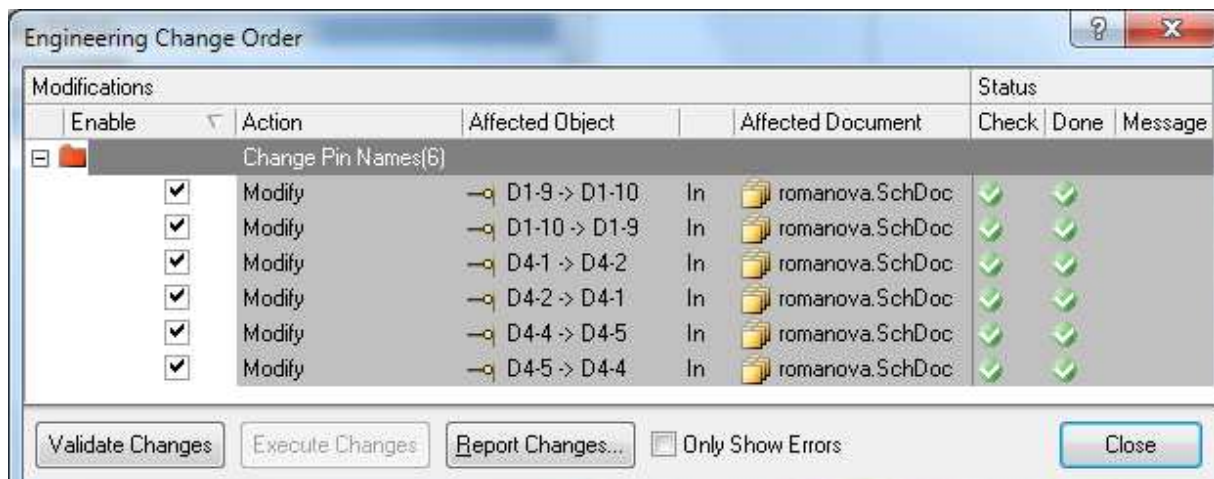


Рис. 115. Окно Engineering Change Order

#### Контрольные вопросы к л.р.№4.

1. В каком случае используется автоматическое размещение на практике?
2. Зачем нужно ориентировать параллельно двухрядные корпуса?
3. Какова цель оптимизации связей?
4. Что отражается в окне Engineering Change Order?
5. Что содержит файл PCBDoc, а что – PrjPCB?

## 5. Разработка топологии ПП

**Цель работы:** выполнить трассировку проводников на печатной плате.

### **Задание на лабораторную работу:**

1. Задать параметры проекта.
2. Вручную (интерактивно) растрассировать проводники питания с учетом ориентации проводников.
3. Автоматически развести остальные проводники.
4. Проверить топологию на DRC-ошибки.
5. Сохранить топологию ПП в файле с расширением pcbdoc.
6. Оформить конструкторскую документацию.

Трассировка электрических связей подразумевает создание наглядного изображения будущих печатных проводников. При проведении связей нельзя пересекать проводники в одном слое и «чуждые» (не подключенные к данной цепи) переходные отверстия (ПО) и КП. Основная задача трассировки: провести наиболее короткие проводники с минимальным количеством ПО. Трассировку цепей питания производят вручную, для разводки остальных проводников используют программу автотрассировки (после того, как проведены и зафиксированы проводники питания). При трассировке необходимо соблюдать ориентацию проводников в различных слоях: в одном слое ориентировать проводники вертикально, в другом – горизонтально.

Рассмотрим на примере эффект соблюдения ориентации [11]. В примерах используется следующая ориентация: проводники в верхнем слое платы направлены горизонтально, в нижнем – вертикально. В примерах сплошной линией обозначены проводники в нижнем слое, пунктирной – в верхнем, не закрашенные кружки – отверстия под ножки штыревого ЭК, закрашенные кружки – ПО. При трассировке проводников для соединения шести штыревых МС в три этапа (1 этап – попарное соединение D2 и D5, 2 этап – D3 и D4, 3 этап – D1 и D6) возможный результат представлен на Рис. 116. В данном случае трассировка осуществлялась без соблюдения ориентации. В результате образовалось шесть ПО. При соблюдении ориентации проводников вариант трассировки может выглядеть так, как показано на Рис. 117. В результате соблюдения ориентации количество ПО уменьшилось на 4. Это позволяет более свободно прокладывать другие проводники, уменьшать количество операций при изготовлении платы и экономить материалы на металлизацию отверстий.

Ориентация проводников выбирается исходя из расположения двухрядных smd-корпусов (для поверхностного монтажа). Если

преимущественно ряды КП расположены вертикально (при условии, что они расположены на верхней стороне платы), то проводники в нижнем слое нужно располагать тоже вертикально (чтобы с КП можно было свободно вывести проводники в верхнем слое). Если ряды КП преимущественно расположены горизонтально, то и проводники в нижнем слое располагать горизонтально.

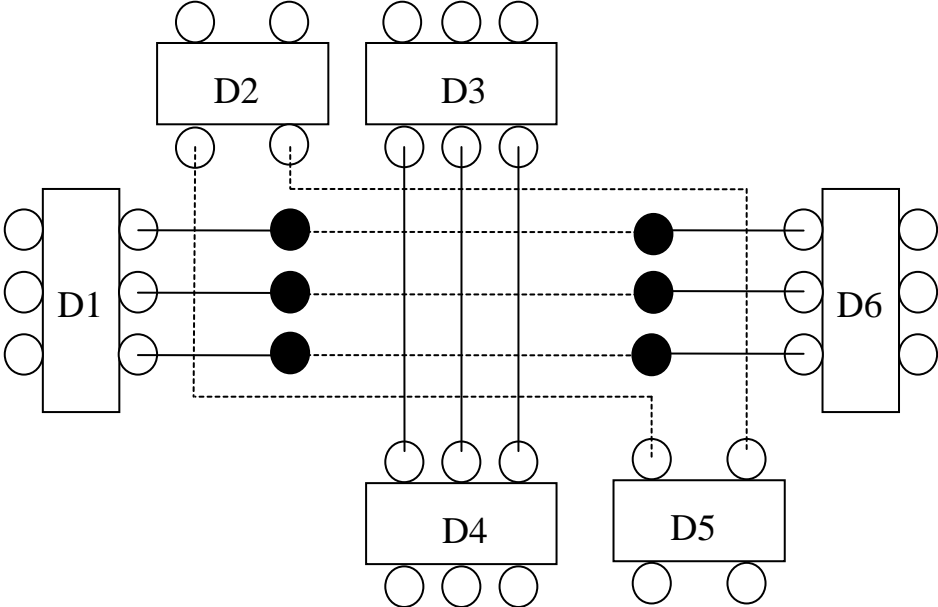


Рис. 116. Пример трассировки без соблюдения ориентации проводников

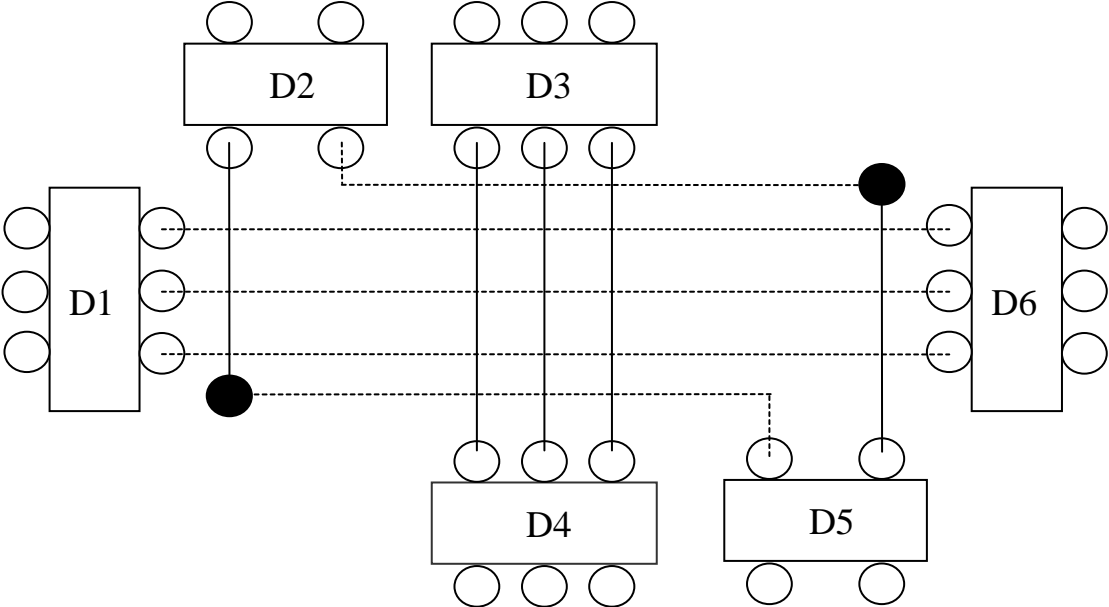


Рис. 117. Пример трассировки с ориентацией проводников

1. Создать класс цепей, выбрав Design>>Classes. В открывшемся окне выбрать категорию Net Classes. Нажать правую кнопку мыши, выбрать Add Class. Присвоить имя новому классу: Power. Включить в этот класс цепи: GND, VCC+, VCC- (выбирая цепь и нажимая кнопку >), см. Рис. 118.

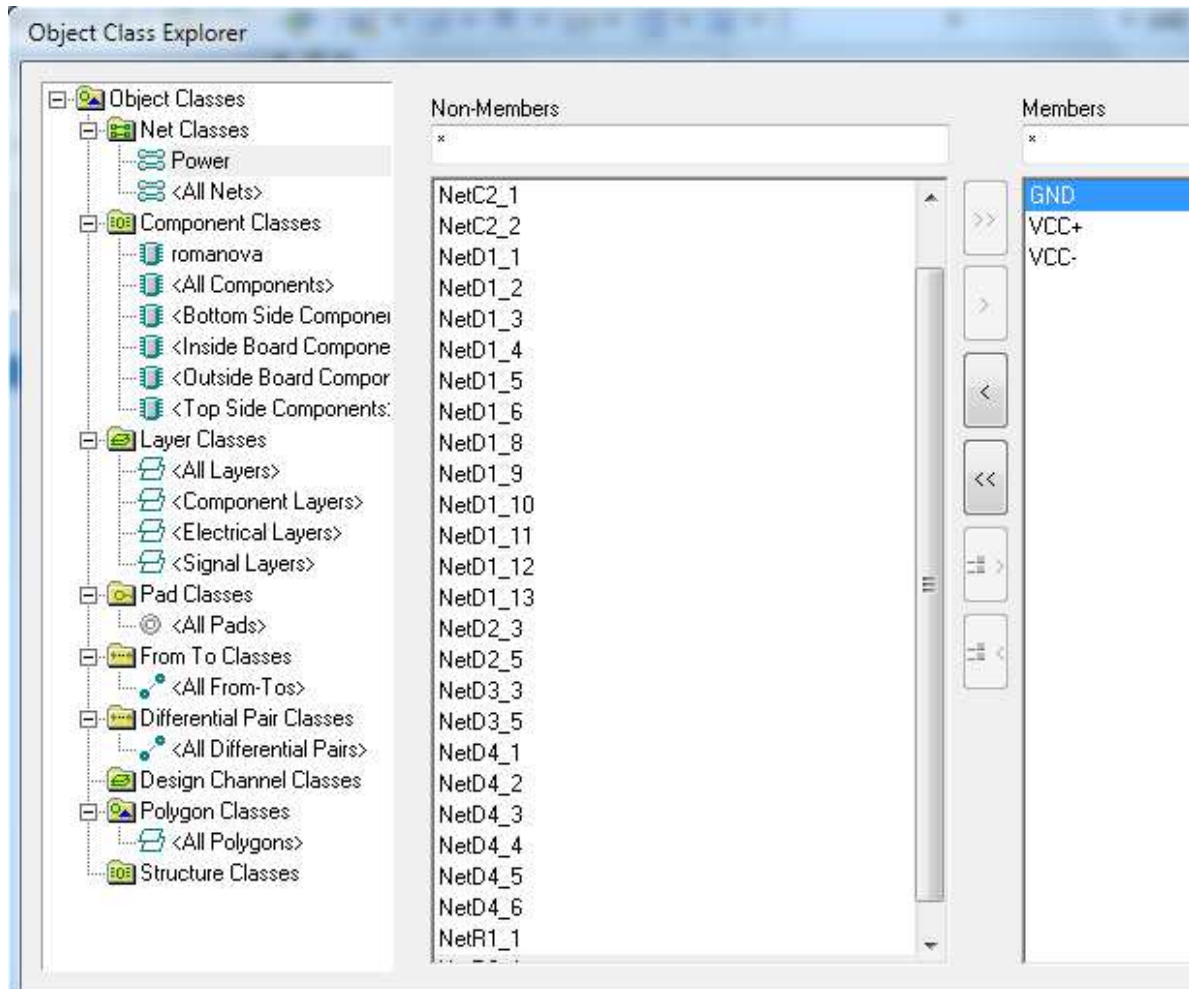


Рис. 118. Класс цепей Power

2. Задать параметры проводника для класса цепей, выбрав Design>>Rules. В открывшемся окне выбрать категорию Routing>>Width, нажать правую кнопку мыши, выбрать New Rule. Установить курсор на новое правило и задать его свойства, как показано на Рис. 119. Нажать Apply. Задать параметры остальных проводников, выбрав правило Width, см. Рис. 120. Нажать Apply.

3. В этом же окне (PCB Rules and Constraints Editor) выбрать категорию Routing >>Routing Via Style, правило Routing Vias и задать его свойства, как показано на Рис. 121. Нажать Apply. Выбрать категорию Electrical>>Clearance, правило Clearance. Указать минимальный зазор по 3 классу точности: 0,25 мм.

4. Нажать правую кнопку мыши в рабочем поле, выбрать Snap Grid>>0.25 mm. Приблизить КП №22 разъема X1 (она подключена к GND).

Если вертикальные проводники необходимо располагать в нижнем слое, то надо сделать активным слой Bottom Layer (внизу под рабочим полем). Выбрать Place>>Interactive Routing. Выбрать (отметить) КП №22 X1, нажимать Shift+R до появления режима Walkaround Obstacle (4 строка слева сверху в рабочем поле). Нажать Shift+W и выбрать ширину проводника 1 мм. Провести проводник до КП №22 разъема X2. И, аналогично, провести еще два проводника: от КП №21 X1 до КП №21 X2 и от КП №20 X1 до КП №20 X2. Пример см. на Рис. 122.

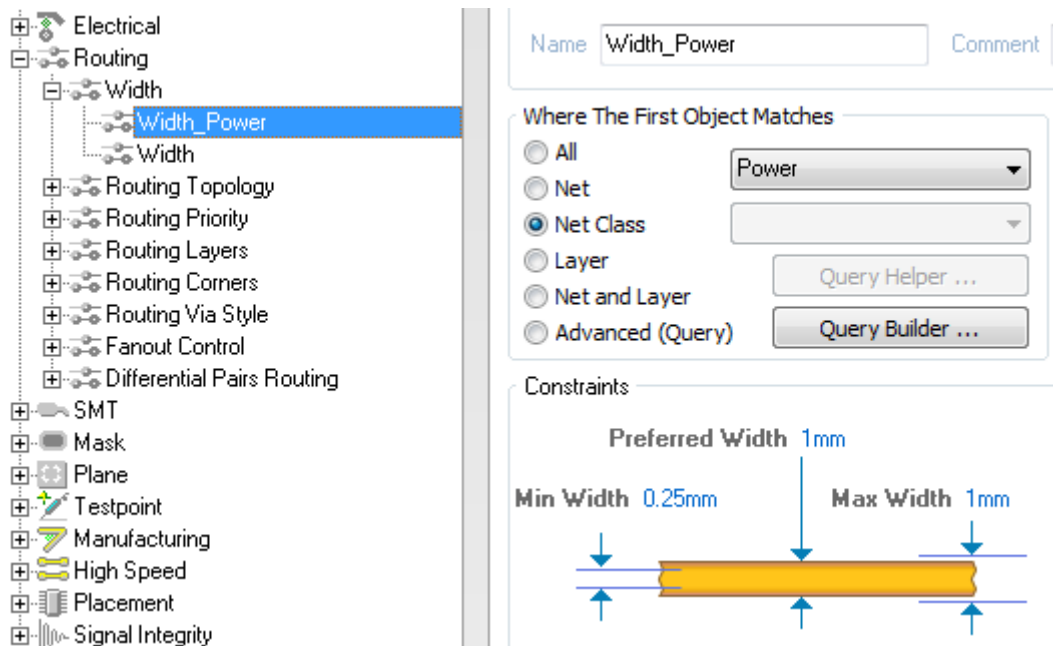


Рис. 119. Ширина проводника для класса Power

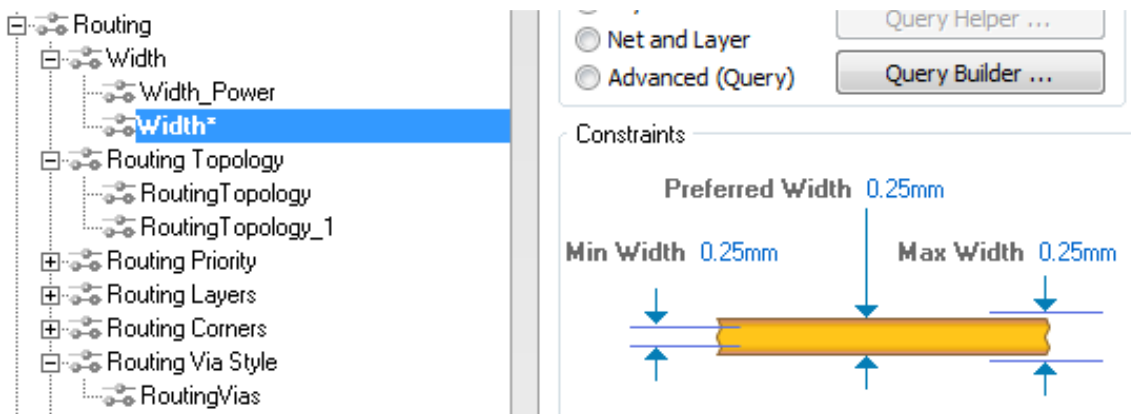


Рис. 120. Ширина всех проводников

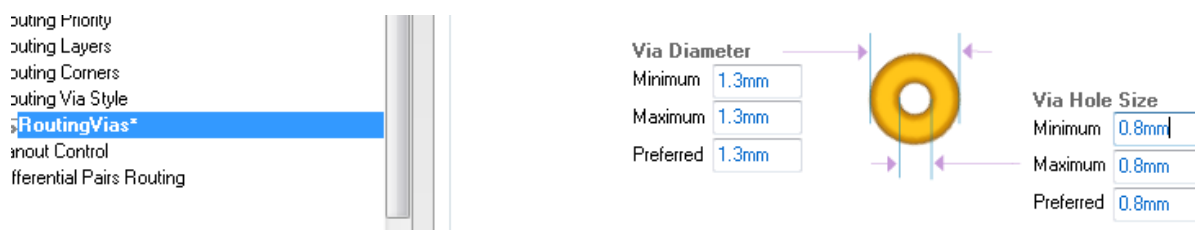


Рис. 121. Размеры переходного отверстия

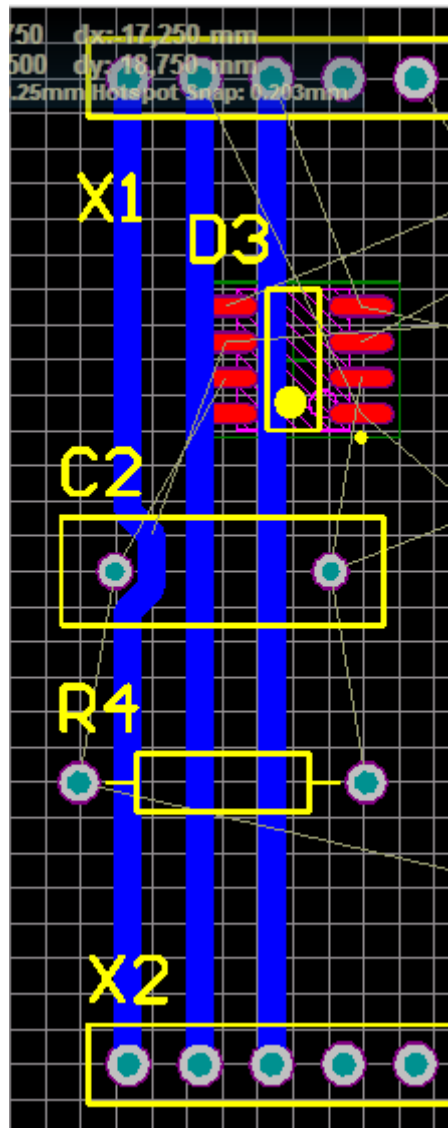


Рис. 122. Первые три проводника на плате

5. Открыть панель PCB>>PCB, выбрать категорию Nets, класс Power, цепь GND. Если отметить цепь галочкой, то она будет выделена особым цветом на плате. При этом, если изображение далеко, то становится не ясно, на каком слое располагаются проводники, но если изображение приблизить, то цвет слоя просматривается. В панели PCB в зоне примитивов можно выделить любую КП, подключенную к выделенной цепи, и она будет отражена в рабочем поле. Используя панель PCB надо развести всю цепь GND с учетом ориентации проводников. В местах подхода к КП, шириной менее 1 мм, нужно изменить ширину проводника. Например, в корпусе SO-8 ширина КП равна 0,6 мм, поэтому и проводник, подходящий к такой КП, должен быть не более 0,6 мм (можно выбрать из имеющихся: 0,508 mm). Если была изменена ширина проводника, то она запоминается, поэтому нужно отслеживать ширину последующих трасс.

**Переход на другой слой** осуществляется клавишей \*.

**Завершение трассы** – Enter.

**Отмена последнего сегмента** трассы – Backspace.

**Отмена всей трассы** – Esc.

**Список горячих клавиш** – «~» (тильда).

6. Затем развести цепь VCC+, а потом VCC- (тоже с учетом ориентации проводников). См. пример на Рис. 123.

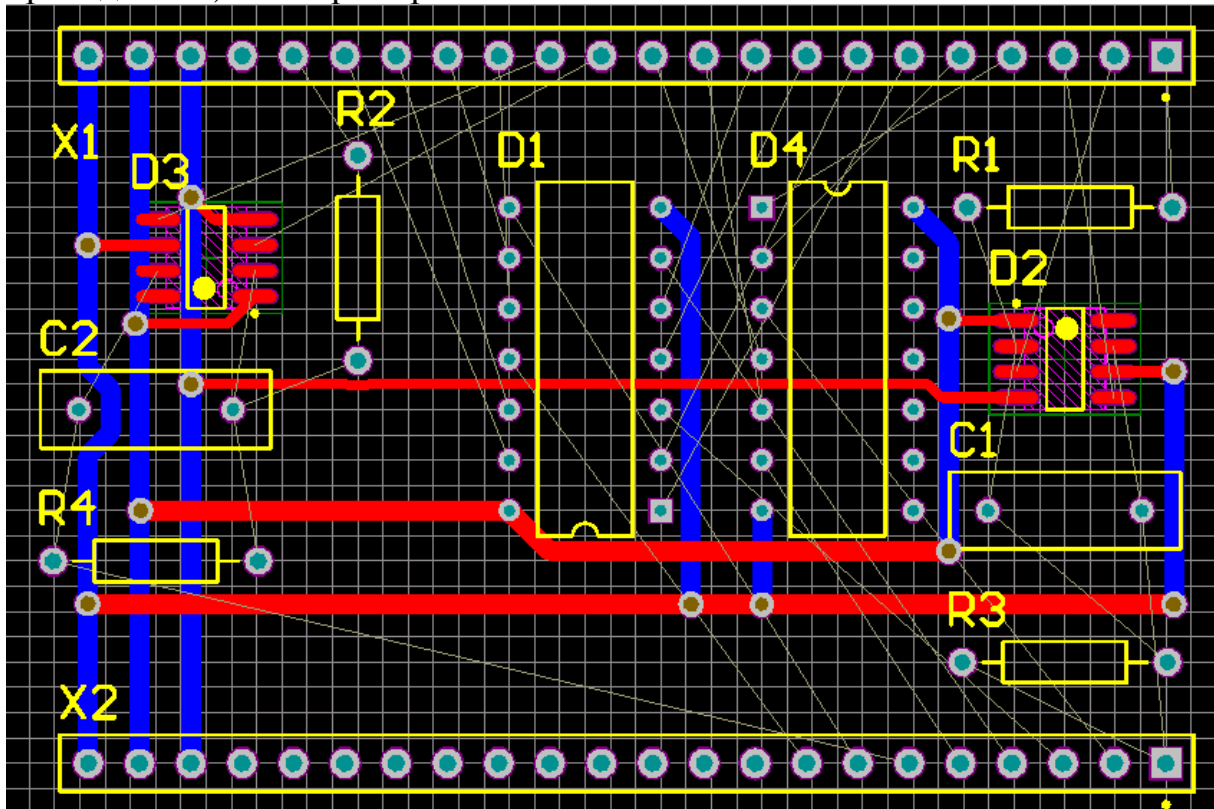


Рис. 123. Плата с разведенными цепями питания (GND, VCC+, VCC-)

7. Выбрать Auto Route>>All. В открывшемся окне указать нужную ориентацию проводников: нажать кнопку Edit Layer Directions и, при необходимости, в столбце Current Setting изменить слой. Нажать кнопку Save Report As и сохранить файл в свою папку, а потом всю информацию из этого файла добавить в отчет. А также в окне Situs Routing Strategies установить две галочки (справа снизу): Lock All Pre-Routing (зафиксировать ранее разведенные цепи) и Rip-Up Violations After Routing (удалить конфликтующие участки топологии после трассировки). Нажать кнопку Route All. Дождаться окончания автотрассировки – в окне Messages в нижней строке появится запись Routing Finished... Результат представлен на Рис. 124.

8. Окно Messages растянуть так, чтобы были читаемы все записи, и скопировать это окно в буфер, затем в Word и в отчет, см. пример на Рис. 125.



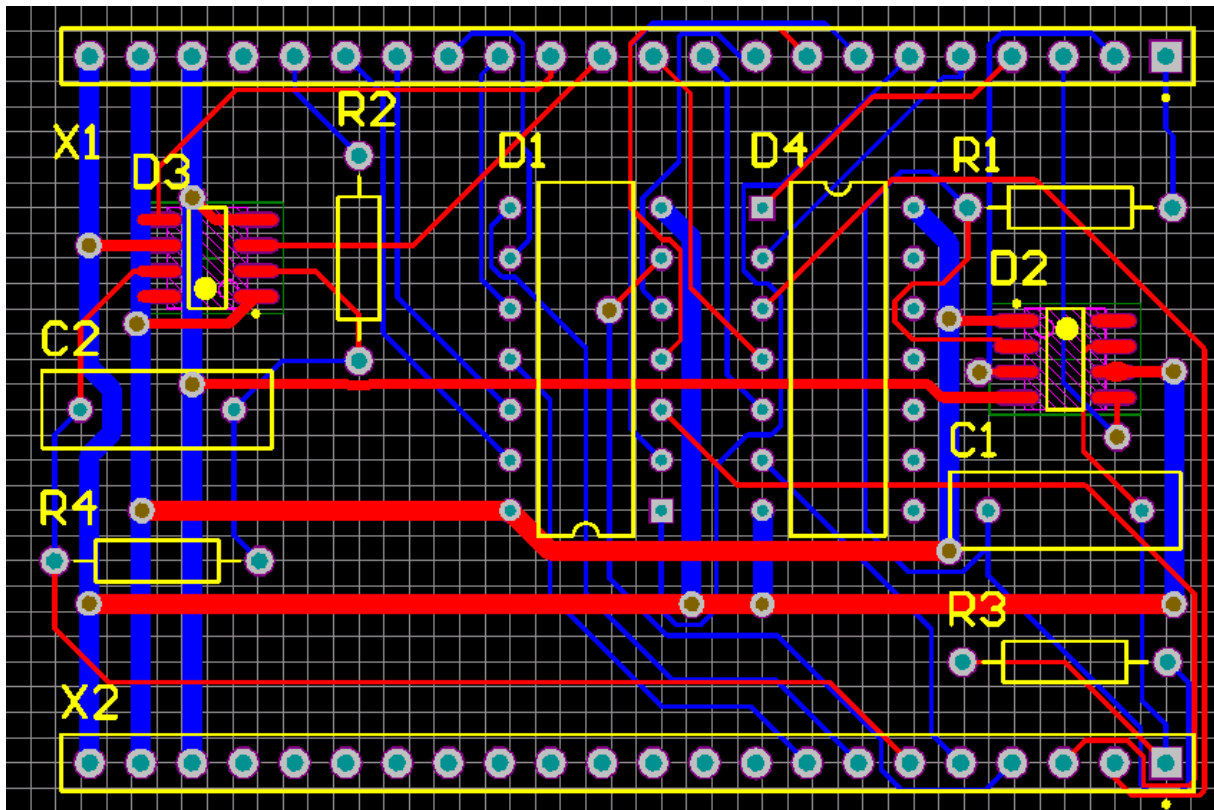


Рис. 124. Плата со всеми разведенными цепями

Class	Document	Source	Message	Time	Date	No.
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Routing Started	21:52:49	29.09.2011	1
Routing Status	romanova.PcbDoc	Situs	Creating topology map	21:52:50	29.09.2011	2
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Fan out to Plane	21:52:50	29.09.2011	3
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Fan out to Plane in 0 Seconds	21:52:50	29.09.2011	4
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Memory	21:52:50	29.09.2011	5
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Memory in 0 Seconds	21:52:50	29.09.2011	6
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Layer Patterns	21:52:50	29.09.2011	7
Routing Status	romanova.PcbDoc	Situs	Calculating Board Density	21:52:50	29.09.2011	8
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Layer Patterns in 0 Seconds	21:52:50	29.09.2011	9
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Main	21:52:50	29.09.2011	10
Routing Status	romanova.PcbDoc	Situs	34 of 37 connections routed (91.89%) in 2 Seconds	21:52:52	29.09.2011	11
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Main in 2 Seconds	21:52:52	29.09.2011	12
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Completion	21:52:52	29.09.2011	13
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Completion in 0 Seconds	21:52:52	29.09.2011	14
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Straighten	21:52:52	29.09.2011	15
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Straighten in 0 Seconds	21:52:52	29.09.2011	16
Routing Status	romanova.PcbDoc	Situs	37 of 37 connections routed (100.00%) in 3 Seconds	21:52:52	29.09.2011	17
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Routing finished with 0 contention(s). Failed to complete 0 connection(s) in 3.5 Seconds	21:52:52	29.09.2011	18

Рис. 125. Отчет об автотрассировке

9. Для удобства расположить окно Messages в нижней части экрана (под рабочим полем).

10. Выбрать Tools>>Design Rule Check. В открывшемся окне выбрать категорию Rule To Check. В зоне выбора опций нажать правую кнопку мыши и выбрать Batch DRC – Used On (включить все правила, созданные для данного проекта). В зоне категорий правил выбрать Testpoint и снять все галочки в столбце Batch. Затем нажать кнопку Run Design Rule Check. В открывшемся отчете просмотреть ошибки и исправить их. В данном случае возникнет нарушение: SMD Neck-Down Constraint (Percent=50%) (InNetClass('Power')), которое означает, что соотношение ширины КП smd-компонента к ширине подведенного проводника установлено 50% (это установка по умолчанию) и в плате это соотношение нарушено для класса



Power. Для того чтобы изменить это соотношение надо выбрать Design>>Rules, категорию SMT, правило SMDNeckDown и установить 100%. А также можно сразу задать в категории Manufacturing еще 2 правила (для исключения других ошибок в данном проекте): в SilkscreenOverComponentPads и SilkToSilkClearance установить зазоры 0,15 mm. И снова запустить Design Rule Check. Если есть еще ошибки, то их необходимо исправить и добиться безошибочного отчета DRC, который необходимо включить в отчет (отчет DRC появится в дереве проекта в категории Generated>>Documents).

11. Открыть панель PCB>>PCB, выбрать категорию Hole Size Editor. В слое Mechanical 4 внести в таблицу информацию обо всех отверстиях.

12. В слое Mechanical 2 начертить рамку с основной надписью для второго листа чертежа печатной платы в соответствии с ГОСТ 2.104-2006 «ЕСКД. Основные надписи» по форме 2а «Основная надпись и дополнительные графы для чертежей (схем) и текстовых конструкторских документов (последующие листы)». Сначала надо включить слой Mechanical 2. Для удобства копирования и вставки – установить шаг 5 мм. Далее выделить любую линию рамки (1го листа) в слое Mechanical 16 (черного цвета). Нажать правую кнопку мыши и выбрать Find Similar Objects и установить опции так, как показано на Рис. 126, затем нажать ОК. В открывшейся панели PCB Inspector выбрать слой Mechanical 2. Нажать в рабочем поле правую кнопку мыши и выбрать Copy, затем выбрать точку привязки (например, левый верхний угол рамки). Снять выделение, выполнить откат 1го действия (Undo). Вставить рамку из буфера, нажав клавишу X (для зеркализации), выровняв рамку относительно исходной (т.е. совместить левые верхние углы исходной и вставляемой рамок). Нажать клавишу L и, с помощью All Layers Off, установить видимость слоев так, как показано на Рис. 127. Редактировать изображение в соответствии с Рис. 128 (зеркально), в т.ч. добавить десятичный номер в двух местах. Обозначить, что это вид А. Включить все слои.

13. Отобразить контур платы в механическом слое: Design>>Board Shape>>Create primitives from board shape (с установками по умолчанию).

14. Проставить размеры контура платы с помощью команды Place>>Dimension>>Linear, нажать Tab и указать: Layer - Mechanical 4, Format - 0,0; Unit - Millimetrs; Precision - 1. Для простановки вертикального размера после указания первой точки нажать клавишу пробел. И еще раз проставить такие же размеры, но в слое Top Overlay и после значения размера добавить \*, см. Рис. 129.



Рис. 126. Выделение всех объектов в слое Mechanical 16

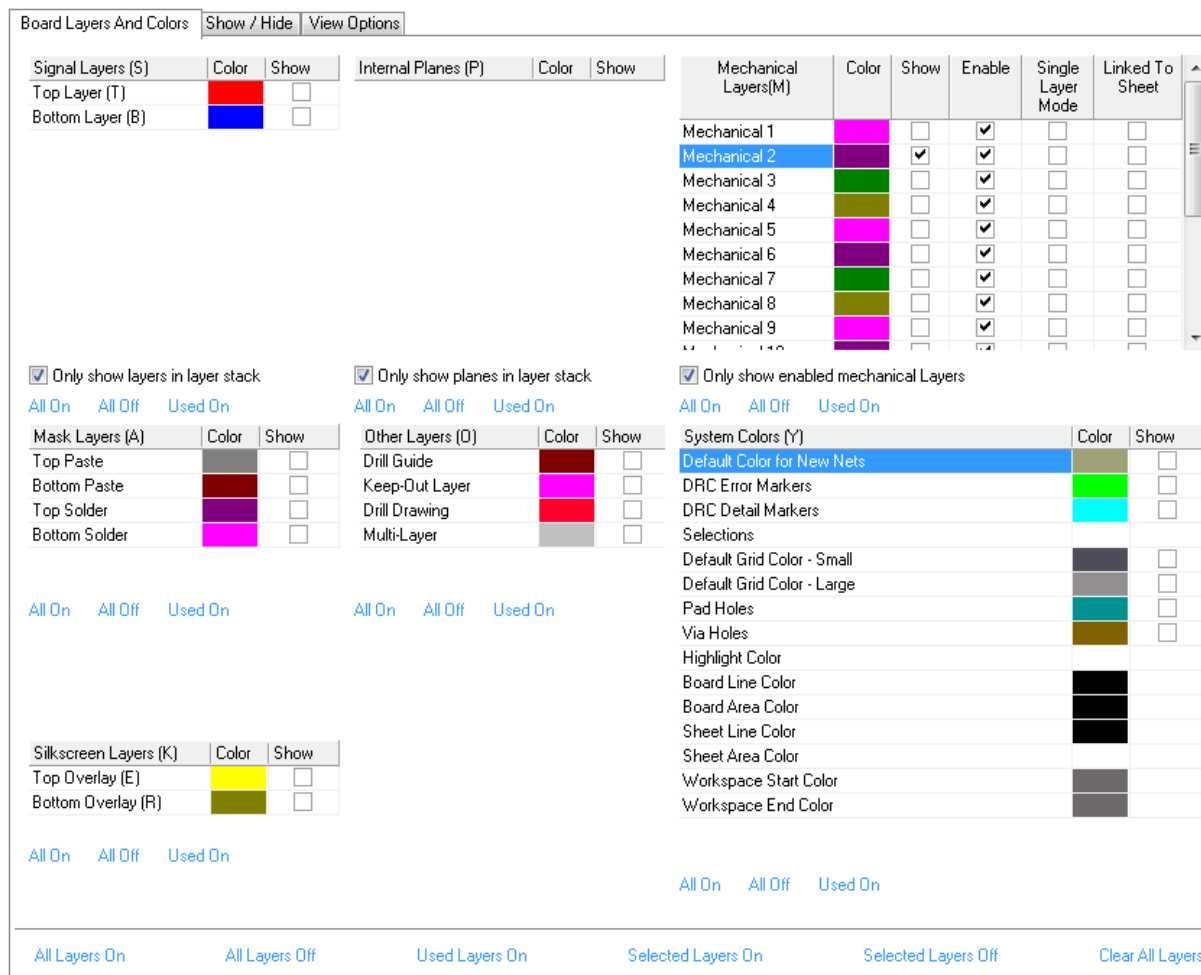


Рис. 127. Отключение всех слоев кроме Mechanical 2

15. Сформировать два листа чертежа ПП. Выбрать документ OutJob и нажать на строку Add New Documentation Output, выбрать PCB Prints и свою топологию. Задать конфигурацию этого чертежа (через контекстное меню) так, как показано на Рис. 130. Добавлять и удалять слои можно через контекстное меню. Аналогично создать 2ой лист чертежа ПП с конфигурацией в соответствии с Рис. 131 (с галочкой Mirror).

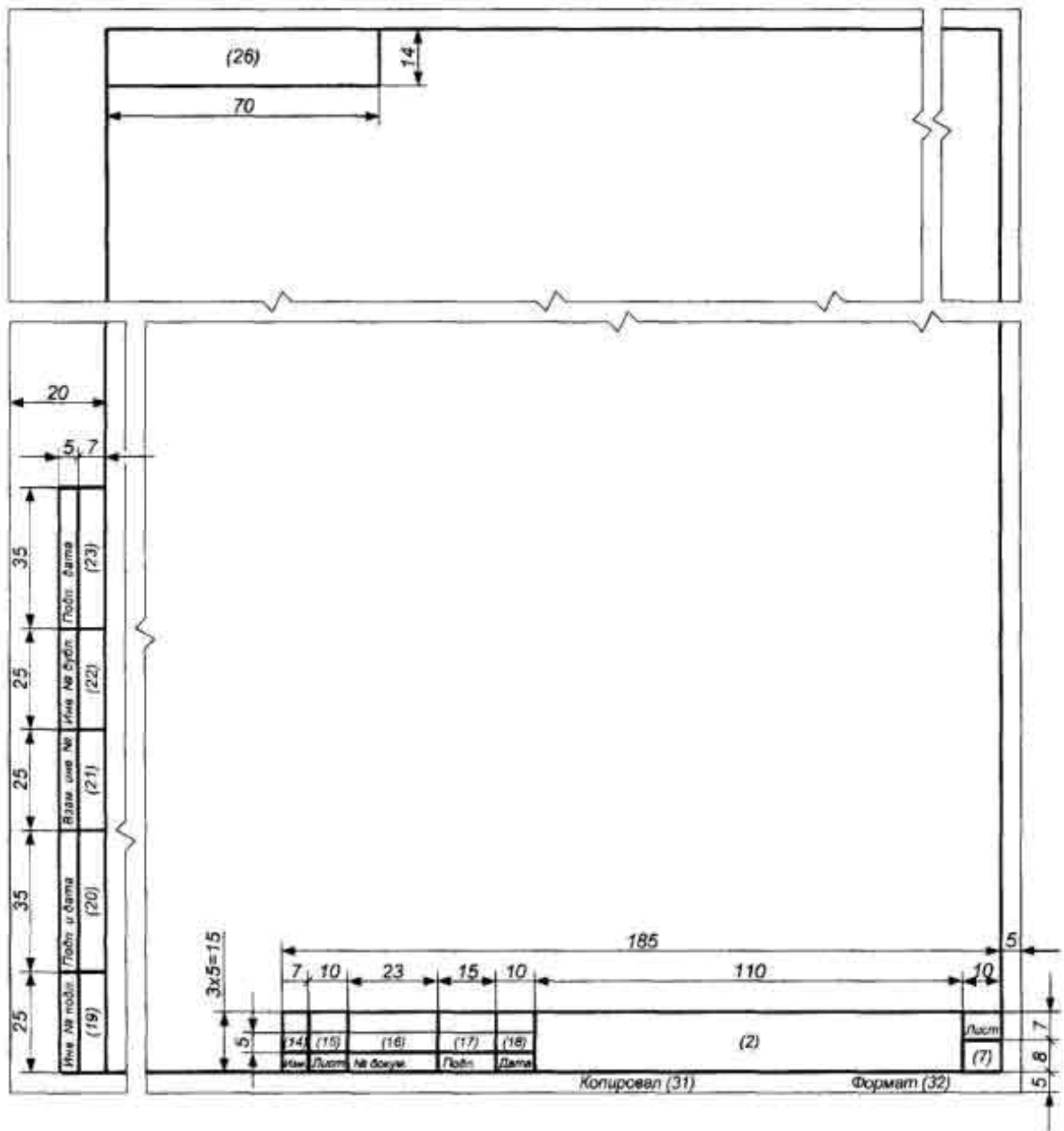


Рис. 128. Основная надпись для второго листа чертежа

Properties

Layer	Top Overlay	Unit	Millimeters
Format	60,0	Precision	1
Text Position	Automatic	Prefix	
Arrow Position	Inside	Suffix	*
Locked	<input type="checkbox"/>	Sample	60,0*

Рис. 129. Опции размера для справки

16. Сформировать сборочный чертеж платы. Нажать на строку Add New Assembly, выбрать Assembly Drawings и свою топологию. Задать конфигурацию этого чертежа так, как показано на Рис. 132. При этом свойства слоя Top Layer (через контекстное меню) надо установить в соответствии с Рис. 133.

17. В зоне Output Containers выбрать PDF. В зоне Outputs отметить радиокнопки в столбце Enabled напротив схемы и всех чертежей. Далее в зоне Output Containers нажать Generate content. Схема и чертежи будут в одном файле формата pdf, для каждого листа будут сформированы закладки.

18. Для формирования перечня элементов нажать на строку Add New Report Output, выбрать Bill of Materials и свою схему. В конфигурации, в зоне All Columns оставить четыре галочки – напротив Designator, LibRef, Quantity и Value. Нажать клавишу Export и сохранить файл. По умолчанию файл будет сохранен в папку Project Outputs for ... - внутри папки, где хранится проект. Файл будет иметь расширение xls. Этот файл нужно открыть и скопировать оттуда информацию в бланк перечня, который оформлен в соответствии с ГОСТ.

19. Сохранить проект и все документы, входящие в него.

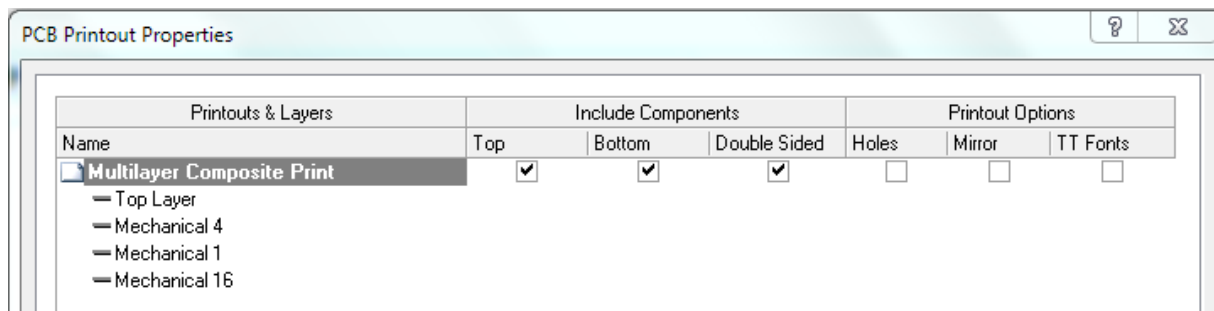


Рис. 130. Свойства первого листа чертежа ПП

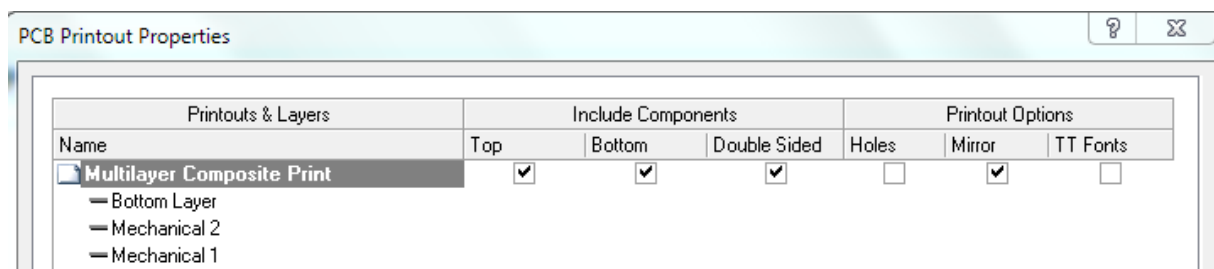


Рис. 131. Свойства второго листа чертежа ПП

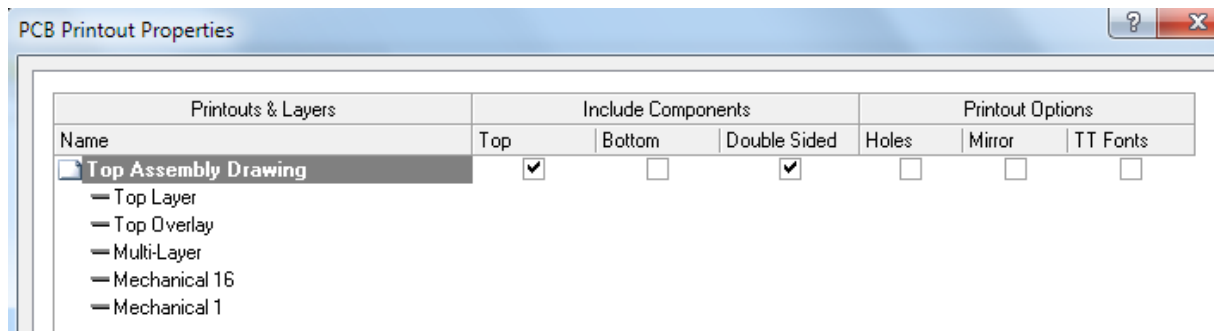


Рис. 132. Свойства сборочного чертежа платы

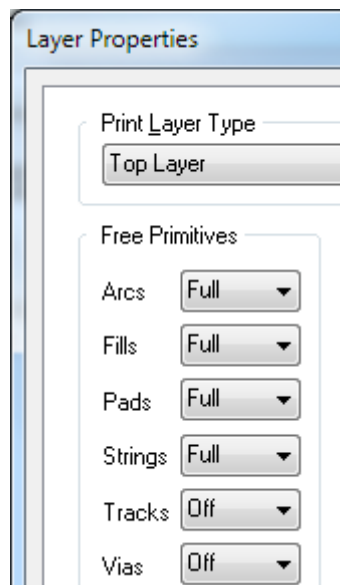


Рис. 133. Свойства слоя Top Layer для сборочного чертежа платы

#### Контрольные вопросы к л.р.№5.

1. Для чего необходимо соблюдать ориентацию проводников?
2. Зачем объединять цепи в класс?
3. Что такое DRC-контроль?
4. Какова должна быть минимальная ширина проводника по 3 классу точности?
5. Если нарисовать рамку в слое Top Layer, какие ошибки могут возникнуть в ходе проектирования?

#### **6. Пример отчета по лабораторным работам**

Содержание отчета по лабораторным работам:

- 1) Титульный лист.
- 2) Оглавление с номерами страниц.
- 3) Отчет по библиотекам schlib и pcblib.
- 4) Настройки опций проекта (скриншоты всех категорий в развернутом виде).

5) Алгоритм (последовательность) размещения компонентов на плате (с учетом требований, изложенных в рекомендациях к л.р.). В алгоритме надо указывать позиционные обозначения ЭК. Например, корпуса D1 и D4 были размещены в соответствии с требованием №3 (однотипные корпуса ориентировать одинаково).

6) Конфигурация свапирования, результат оптимизации связей и окно ESO после оптимизации.

7) Принципиальная электрическая схема с изменениями после оптимизации связей.

8) Правила проектирования (скриншоты «PCB Rules and Constraints Editor» или описать словами).

9) Ориентация проводников (рисунки, описание, преимущества использования).

10) Топология платы.

11) Отчет об автотрассировке.

12) Bill of Materials (перечень элементов в xls)

Пример отчета представлен на стр.103-108.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ  
И ОПТИКИ

Факультет «Компьютерных технологий и управления»

Кафедра «Проектирования и безопасности компьютерных систем»

Группа №5159

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
по дисциплине «Инструментальные средства конструкторского проектирования  
электронных средств»

Автор: Нурмухамедов В.А.

Преподаватель: Романова Е.Б.

Лабораторные работы выполнены с количеством баллов: \_\_\_\_\_

Дата защиты « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2013г.

Санкт-Петербург

2012

103









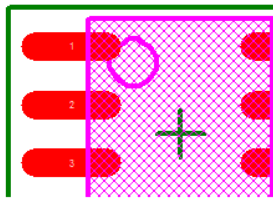


## Отчет PCBLib

### Protel PCB Library Report

Library File Name	E:\5840\romanova.PcbLib
Library File Date/Time	14 Èþèù 2011 ä. 12:37:03
Library File Size	45056
Number of Components	2
Component List	201.14, SOIC127P600X175-8N

	Library Reference	201.14
	Description	
	Height	0mm
	Dimension	8.8032mm x 17.7mm
	Number of Pads	14
	Number of Primitives	20



Library Reference	SOIC127P600X175-8N
Description	SOIC, 8-Leads, Body 5,0x4,0mm (max), Pitch 1,27mm, IPC Medium Density
Height	1.75mm
Dimension	7.6mm x 5.805mm
Number of Pads	8
Number of Primitives	26

### Алгоритм размещения компонентов на плате

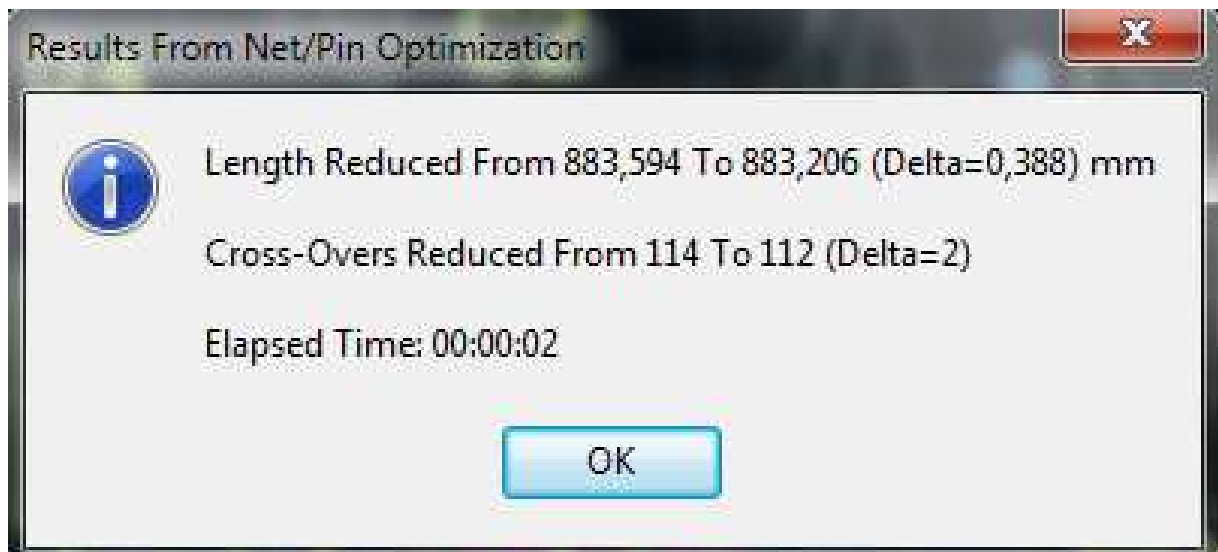
Все корпуса были размещены с минимизацией длин электрических связей и минимизацией количества пересечений электрических связей.

- 1) Разъемы X1 и X2 размещены по краям платы для удобства эксплуатации.
- 2) Размещены крупные корпуса - микросхемы D1 и D4, при этом они были ориентированы параллельно, чтобы обеспечить удобство в ходе трассировки.
- 3) Размещены многовыводные корпуса – микросхемы D2 и D3, при этом они тоже были ориентированы параллельно, чтобы обеспечить удобство в ходе трассировки.
- 4) Размещены конденсаторы и резисторы.

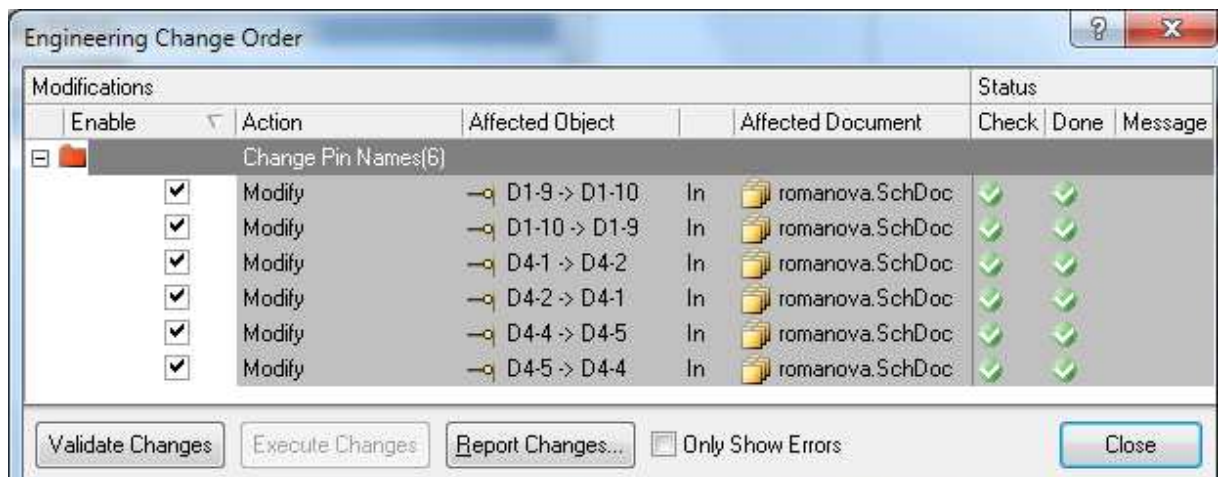
### Конфигурация свапирования

Component Information						Configure in Sche...		Enable in PCB	
Designa...	Comment	Footprint	Library Reference	Pins	Parts	Pin Swa... /	Part Swap ...	Pin Swap	Part Swap
D2	AD8561	SOIC127P600X	AD8561	8	1/1		(6/8)		<input type="checkbox"/>
D3	AD8561	SOIC127P600X	AD8561	8	1/1		(6/8)		<input type="checkbox"/>
D1:1	KR1564LA3	201.14	KR1564LA3	14	4/4	(8/14)	(14/14)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D4:1	KR1564LA3	201.14	KR1564LA3	14	2/4	(8/14)	(14/14)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

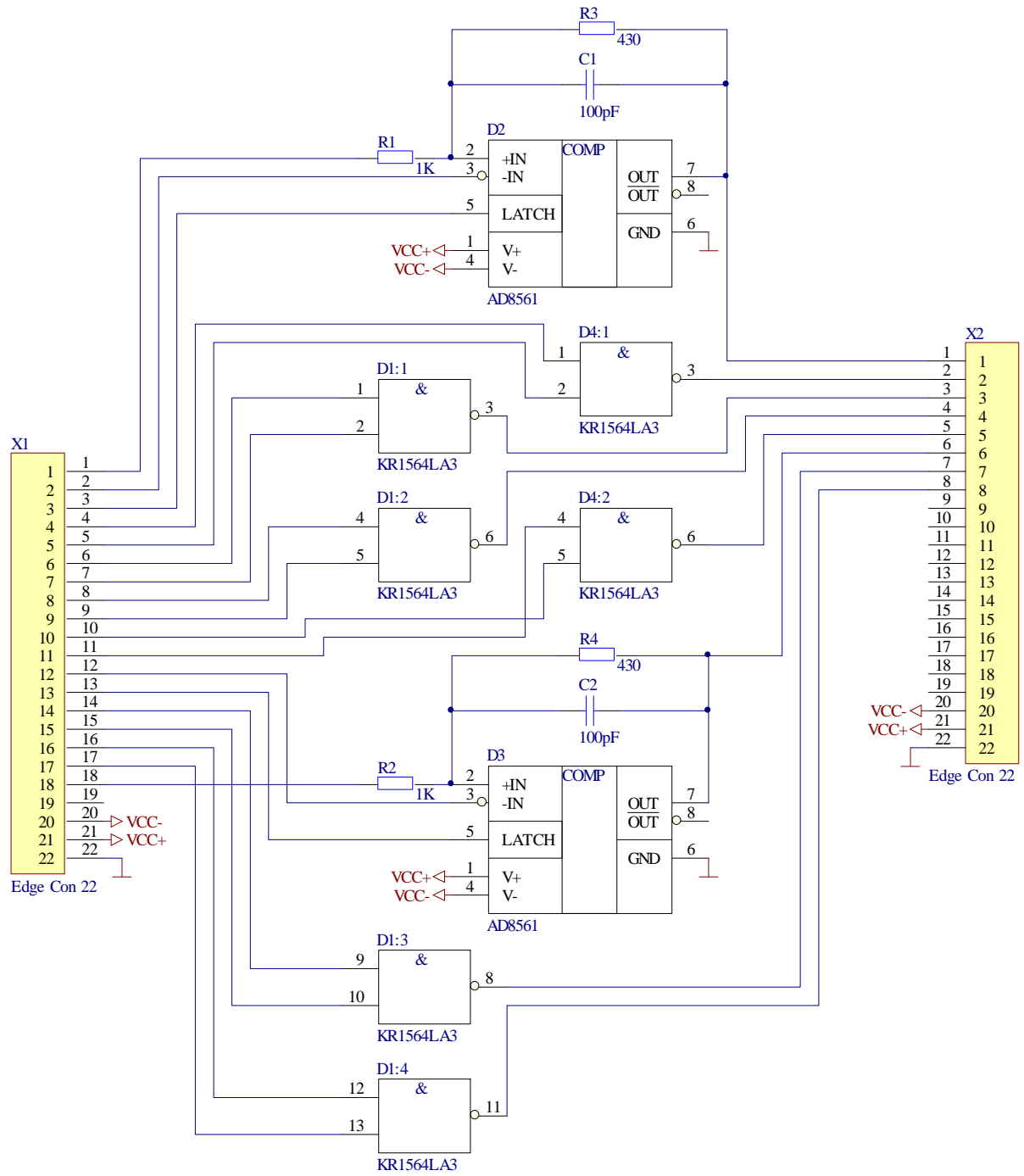
## Результат оптимизации связей



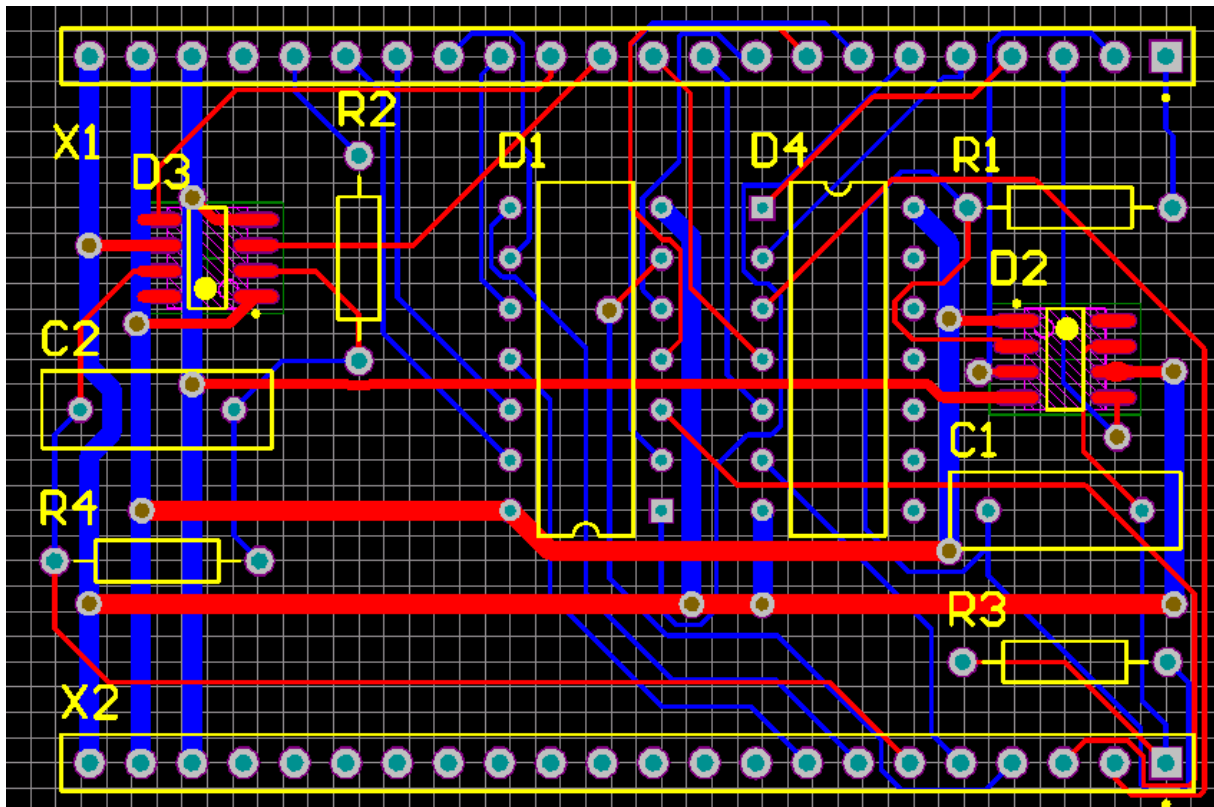
## Окно Engineering Change Order



## Принципиальная электрическая схема (после ECO)



## Топология платы



## Отчет об автотрассировке

Class	Document	Source	Message	Time	Date	No.
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Routing Started	21:52:49	29.09.2011	1
Routing Status	romanova.PcbDoc	Situs	Creating topology map	21:52:50	29.09.2011	2
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Fan out to Plane	21:52:50	29.09.2011	3
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Fan out to Plane in 0 Seconds	21:52:50	29.09.2011	4
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Memory	21:52:50	29.09.2011	5
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Memory in 0 Seconds	21:52:50	29.09.2011	6
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Layer Patterns	21:52:50	29.09.2011	7
Routing Status	romanova.PcbDoc	Situs	Calculating Board Density	21:52:50	29.09.2011	8
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Layer Patterns in 0 Seconds	21:52:50	29.09.2011	9
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Main	21:52:50	29.09.2011	10
Routing Status	romanova.PcbDoc	Situs	34 of 37 connections routed (91.89%) in 2 Seconds	21:52:52	29.09.2011	11
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Main in 2 Seconds	21:52:52	29.09.2011	12
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Completion	21:52:52	29.09.2011	13
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Completion in 0 Seconds	21:52:52	29.09.2011	14
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Starting Straighten	21:52:52	29.09.2011	15
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Completed Straighten in 0 Seconds	21:52:52	29.09.2011	16
Routing Status	romanova.PcbDoc	Situs	37 of 37 connections routed (100.00%) in 3 Seconds	21:52:52	29.09.2011	17
Situs Event	romanova.PcbDoc	Situs	Routing finished with 0 contentions(s). Failed to complete 0 connection(s) in 3 Seconds	21:52:52	29.09.2011	18

## Перечень элементов

Designator	LibRef	Quantity
C1, C2	Cap	2
D1, D4	KR1564LA3	2
D2, D3	AD8561	2
R1, R2, R3, R4	Res2	4
X1, X2	Edge Con 22	2

---

## VI. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

---

Выполнение курсового проекта закрепляет знания современных методов проектирования ЭВС в САПР Altium Designer, развивает умения самостоятельной работы и правильного выбора методики размещения и трассировки печатных плат. При выполнении курсового проекта студенты должны создать принципиальную электрическую схему и разработать топологию ПП, а так же полностью понять и освоить весь процесс проектирования печатной платы.

Задачи курсового проекта:

- систематизировать, закрепить и расширить теоретические знания, полученные в области инструментальных средств конструкторского проектирования электронных средств (ЭС);
- закрепить знания, полученные при выполнении лабораторных работ;
- привить навыки самостоятельного решения задач автоматизированного проектирования ЭС с помощью современной САПР Altium Designer.

Темой курсового проекта является разработка топологии ПП с использованием САПР Altium Designer.

Исходными данными к курсовому проекту являются:

- принципиальная электрическая схема;
- перечень элементов;
- технические требования (ширина проводников и шин питания, зазоры).

Конкретный вариант выдается преподавателем вместе с техническим заданием на курсовой проект.

Содержание и объем курсового проекта:

- Курсовой проект состоит из графического материала и пояснительной записки.
- Графический материал содержит принципиальную электрическую схему, чертеж печатной платы (2 листа) и сборочный чертеж платы. Все чертежи должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ ЕСКД.
- Пояснительная записка должна включать:
  1. Титульный лист.
  2. Техническое задание.
  3. Оглавление.
  4. Назначение САПР Altium Designer. Анализ и содержательное описание этапов конструкторского проектирования в Altium Designer. Схема взаимодействия составляющих проекта печатной платы в Altium Designer.

5. Протокольные и диагностические сообщения о ходе проектирования (отчет по библиотекам schlib и rclib, отчет об оптимизации связей, результат изменений ECO после оптимизации связей, технологические параметры автотрассировки, отчет об автотрассировке, отчет DRC).
7. Анализ полученных результатов и выводы (заключение).
8. Перечень используемых источников.
6. Перечень элементов к принципиальной электрической схеме.

На защиту курсового проекта необходимо предоставить пояснительную записку и графический материал в бумажном виде, проект и отчет в электронном виде. Проект должен быть упакован в архив посредством Project\Project Packager, а отчет должен быть в одном файле в формате doc или pdf.

Примеры отчетов о ходе проектирования и графического материала для курсового проекта представлены на 111...117 страницах.



Лист Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Сборка №	C1..C16	Конденсатор Capacitor	16
	D1	Микросхема ЭКФ1533/А3	1 корпус S014
	D3	Микросхема EPM7064STC44-10	1 корпус TQFP44
	D4	Микросхема AD8561AR	1 корпус S08
	D5	Микросхема ЭКФ1533/Н1	1 корпус S014
	D7	Микросхема ЭКФ1533/И9	1 корпус S014
	D2, D6	Кварцевый генератор VCXO-1B-200A-8,192M	2
R10, R14, R1	Резистор Res2	51	
	R45..R53		
R3, R44	Резистор подстроечный RPot	2	
Плата и детали	T1	Трансформатор Trans	1
	V01V02	Диод Default Diode	12
	X1	Разъем CONNECTOR	1
КП.5159.001П33			
Код. Лист	№ докум.	Лист	Дата
Разработ.	Нургулиев Д.Б.		
Проб.	Гоманова		
Контр.			
Спр.	Усманов И.А.		
Блок цифровой перечень элементов		Лит.	Лист
			1
		ИТМО	

Копировать

Формат А4



# Технологические параметры автотрассировки

## Errors and Warnings - 0 Errors 0 Warnings 1 Hint

Hint: no default [SMDNeckDown](#) rule exists.

### Report Contents

[Routing Widths](#)  
[Routing Via Styles](#)  
[Electrical Clearances](#)  
[Fanout Styles](#)  
[Layer Directions](#)  
[Drill Pairs](#)  
[Net Topologies](#)

[Net Layers](#)  
[SMD Neckdown Rules](#)  
[Unroutable pads](#)  
[SMD Neckdown Width Warnings](#)  
[Pad Entry Warnings](#)

Routing Widths	Affected Nets
<a href="#">Rule - Width</a> Width Constraint (Min=0.2mm) (Max=2mm) (Preferred=0.2mm) (All)	65
<a href="#">Rule - Width Power</a> Width Constraint (Min=0.2mm) (Max=1mm) (Preferred=1mm) (InNetClass('POWER'))	2

[Back to top](#)

Routing Via Styles	Affected Nets
<a href="#">Rule - RoutingVias</a> Routing Via (MinHoleWidth=0.8mm) (MaxHoleWidth=0.8mm) (PreferredHoleWidth=0.8mm) (MinWidth=1.3mm) (MaxWidth=1.3mm) (PreferredWidth=1.3mm) (All)	67

[Back to top](#)

Clearance Rules
<a href="#">Rule - Clearance</a> Clearance Constraint (Gap=0.25mm) (All),(All)

[Back to top](#)

Fanout Styles	Affected Components
<a href="#">Rule - Fanout_Default</a> Fanout Control Rule ( (All) )	4
<a href="#">Rule - Fanout_Small</a> Fanout Control Rule ( ((CompPinCount < 5)) )	39
<a href="#">Rule - Fanout_SOIC</a> Fanout Control Rule ( (ISOIC) )	2
<a href="#">Rule - Fanout_LCC</a> Fanout Control Rule ( (ISLCC) )	1

[Back to top](#)

Routing Directions	Direction
<b>Layer Name</b>	
Top Layer	Horizontal
Bottom Layer	Vertical

[Back to top](#)

Drill Layer Pairs	Stop Layer
<b>Start Layer</b>	
Top Layer	Bottom Layer

[Back to top](#)

Net Topologies	Affected Nets
<a href="#">Rule - RoutingTopology</a> Routing Topology Rule(Topology=Shortest) (All)	67

[Back to top](#)

Net Layers	Affected Nets
<a href="#">Rule - RoutingLayers</a> Routing Layers(All)	67

[Back to top](#)

SMD Neckdown Rules	Affected Pads
Hint: no default <a href="#">SMDNeckDown</a> rule exists.	95
<a href="#">Rule - SMDNeckDownPower</a> SMD Neck-Down Constraint (Percent=100%) (InNetClass('POWER'))	11

[Back to top](#)

### Unroutable pads

[Back to top](#)

SMD Neckdown Width Warnings	Affected Pads
<a href="#">Back to top</a>	

[Back to top](#)

Pad Entry Warnings	Affected Pads
<a href="#">Back to top</a>	

[Back to top](#)

## Файл Design Rule Check - \*.drc

Protel Design System Design Rule Check

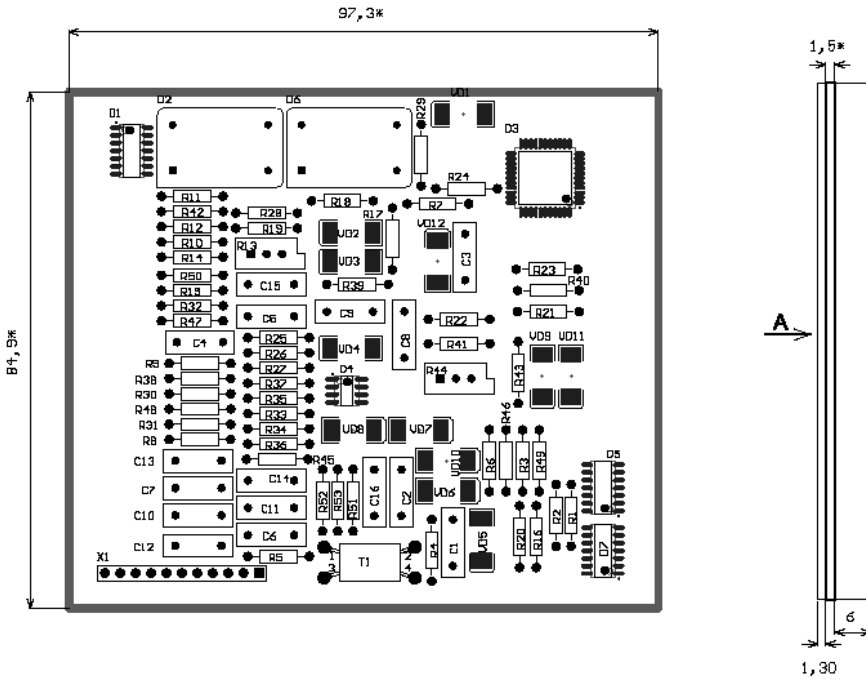
PCB File : D:\КПБК.5159.002.PcbDoc  
Date : 28.03.2011  
Time : 14:24:24

Processing Rule : **Width Constraint** (Min=0.25mm) (Max=1mm)  
(Preferred=0.8mm) (InNetClass('POWER'))  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : **Net** Antennae (Tolerance=0mm) (All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Silk to Silk (**Clearance**=0mm) (All),(All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Silkscreen Over Component Pads (**Clearance**=0.001mm)  
(All),(All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : **Minimum** Solder Mask Sliver (Gap=0.04mm) (All),(All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Hole To Hole **Clearance** (Gap=0.254mm) (All),(All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Short-Circuit **Constraint** (Allowed=No) (All),(All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Un-Routed **Net Constraint** ( All )  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : **Clearance Constraint** (Gap=0.25mm) (All),(All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Power Plane Connect Rule(Relief Connect  
) (Expansion=0.508mm) (Conductor **Width**=0.254mm) (Air Gap=0.254mm)  
(Entries=4) (All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : **Width Constraint** (Min=0.25mm) (Max=25mm)  
(Preferred=0.25mm) (All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Routing Layers(All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Routing Via (MinHoleWidth=0.8mm) (MaxHoleWidth=0.8mm)  
(PreferredHoleWidth=0.8mm) (MinWidth=1.3mm) (MaxWidth=1.3mm)  
(PreferredWidth=1.3mm) (All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Component **Clearance Constraint** ( Horizontal Gap =  
0.254mm, Vertical Gap = 0.254mm ) (All),(All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Pads and **Vias** to follow the Drill pairs settings  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Hole Size **Constraint** (Min=0.025mm) (Max=2.54mm) (All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Height **Constraint** (Min=0mm) (Max=25.4mm)  
(Preferred=12.7mm) (All)  
Rule Violations : 0  
Processing Rule : Differential Pairs Uncoupled **Length** using the Gap  
Constraints (Min=0.254mm) (Max=0.254mm) (Preferred=0.254mm) (All)  
Rule Violations : 0  
Violations Detected : 0  
Time Elapsed : 00:00:00

КП.5159.001СБ

Гориз. примен.

Стрел. №



1. \* Размеры для стрелок
2. Установку ЭРЭ производить по ОСТ4 010.030-81.
3. Паять ПОС 61 ГОСТ 21931-76.
4. Технические требования к монтажу ЭРЭ по ГОСТ 23592-79.
5. Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.016.

Име. № подл.

Име. № дубл.

Взам. име. №

Подп. и дата

Име. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разработ.		Нурмухамедов		
Пров.		Романова		
Т. контр.				
Н. контр.				
Утв.		Галчин		

КП.5159.001 СБ

Блок цифровой  
Сборочный чертеж

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	

НИУ ИТМО

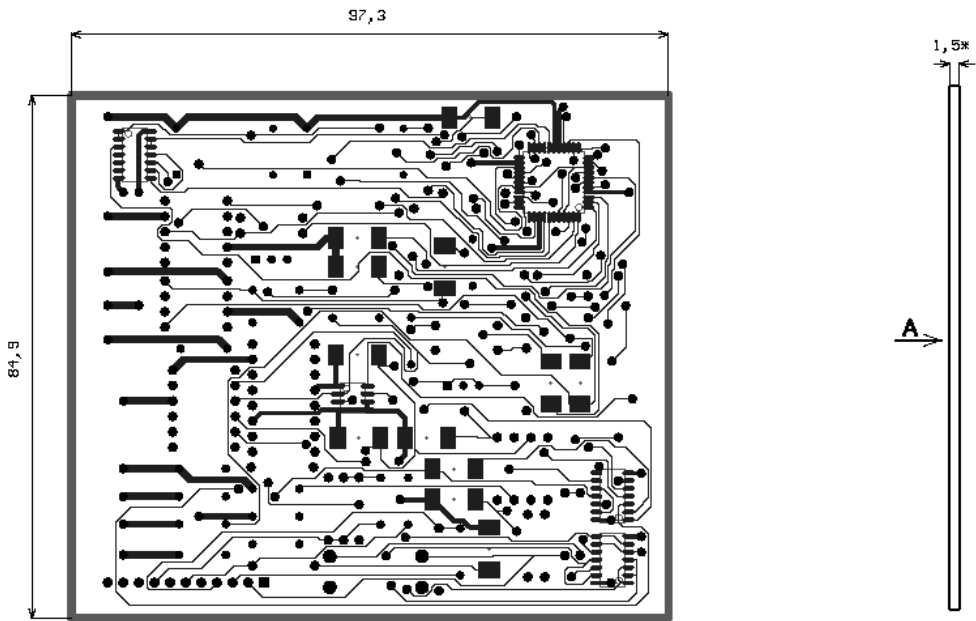
Копировал

Формат А4

КП.5159.002

Глере, примен.

Справ. №



Количество	Диаметр	Металлизация
38	0.7	есть
8	0.55	есть
102	0.85	есть
131	0.8	есть
11	0.9	есть

1. \* Размер для справок.
2. Плату изготовить комбинированным методом.
3. Класс точности 3 по ГОСТ 23751-86.
4. Данные отверстий приведены в таблице.
5. Плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79, группа жесткости 2.
6. Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.014.

Име. № подл.

Име. № дубл.

Взам. име. №

Подл. и дата

Име. № подл.

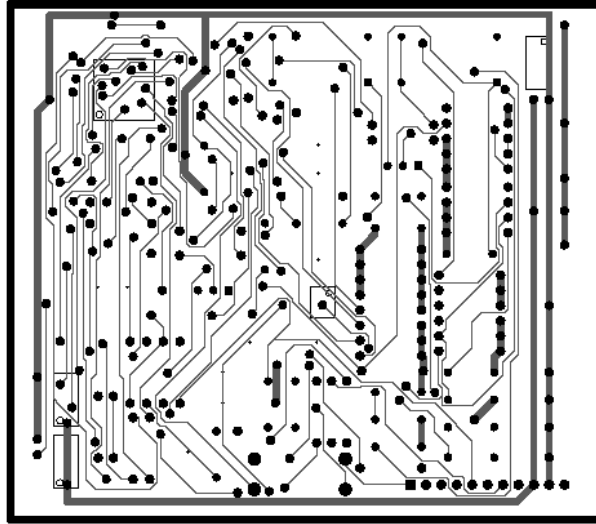
				<b>КП.5159.002</b>			
				<b>Плата печатная</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.		Дата		1:1
Разраб.		Нурмухамедов					
Пров.		Романова					
Т. контр.					Лист 1	Листов 2	
Н. контр.					<b>НИУ ИТМО</b>		
Ута.		Галчин			<b>Стеклотекстолит СФ-2-35Г-1,5 ГОСТ 10316-78</b>		

Копировал

Формат А4

КП.5159.002

A



Име. № посл.	Подп. и дата	Взам. ина. №	Име. № дубл.	Име. № посл.

Дата	Подп.	№ документа	Лист	Изм.

КП.5159.002

Лист

2

Формат А4

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

В результате освоения изложенного материала можно спроектировать электронное средство с использованием трех видов САПР: электронной, машиностроительной и электротехнической. В электронной САПР проектируют печатные платы, в машиностроительной – детали и сборочные единицы; в электротехнической – кабели и жгуты. В качестве примера электронной САПР использована Altium Designer; машиностроительной – КОМПАС; электротехнической – Electrics Pro.

Инструментальные средства вышеперечисленных САПР сгруппированы таким образом, чтобы можно было выбрать наиболее оптимальный инструментарий в зависимости от поставленной задачи.

Инструментальные средства САПР одного вида зачастую схожи в различных САПР, т.е.:

- инструменты в КОМПАС аналогичны инструментам других машиностроительных САПР, таких как: AutoCAD, NX, Solid Edge и т.д.;
- инструменты в Altium Designer аналогичны инструментам других электронных САПР, таких как: Mentor Graphics, CADSTAR, KiCAD и др.
- инструменты в Electrics Pro аналогичны инструментам других электротехнических САПР, таких как: EPLAN, КОМПАС-Электрик, AutoCAD Electrical и др.

Поэтому данное учебное пособие может пригодиться всем проектировщикам электронных средств, независимо от того в какой САПР они работают.

Моделирование в машиностроительных САПР также относится к данному курсу, но не рассмотрено детально, т.к. этой тематике посвящено много популярной литературы, имеющей на рынке, в Интернете, а также в библиотеке университета ИТМО.

Моделирование в электротехнических САПР схоже с моделированием в электронных САПР, и хотя в данном пособии детально не рассмотрено, изучив технологию сквозного проектирования печатной платы (изложенную в данном пособии) вполне возможно спроектировать несложные кабели и жгуты в электротехнической САПР.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Романова Е.Б. Разработка методов повышения эффективности САПР электронных устройств на основе использования трехмерной модели [Текст] : дис. канд. тех. наук : 05.13.12 : защищена 17.11.2009. – СПб, 2009.
2. Гольдштейн Г.Я. Инновационный менеджмент: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998.
3. Романова Е.Б. Создание библиотеки электронных компонентов в соответствии с ГОСТ. Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона: Материалы конференций политехнического симпозиума. Декабрь 2006 года. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2006.
4. Романова Е.Б. Расчет посадочного места под электронный компонент. Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона: Материалы семинаров политехнического симпозиума. Декабрь 2005 года. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 43,44с.
5. Брагин И. В. Материалы для автоматизации рутинной работы инженера-конструктора [Электронный ресурс]: Брагин сайт. – Ногинск, [2012]. – Режим доступа: <http://verzak.ru/progs.htm>.
6. Расторгуева Л.Г. Лабораторный практикум по компьютерной графике. – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2005.
7. ElectricCS Pro7. Быстрый старт. Учебное пособие [Электронный ресурс]: CSoft Development. – М., [2012]. – Режим доступа: <http://www.electricspro.ru/?q=node/9>.
8. Илюкин О.А. Российская документация по Altium Designer. Учебное пособие [Электронный ресурс]: Вики по Altium. – Австралия: Altium Limited, [2011]. – Режим доступа: [wiki.altium.com](http://wiki.altium.com).
9. Сабунин А.Е. Разработка конструктивных параметров печатной платы / Современная электроника № 8. – М.: СТА-ПРЕСС, 2008.
10. Кузнецова О.В., Романова Е.Б. Методика трехмерного моделирования печатной платы в Altium Designer // Сборник трудов молодых ученых, аспирантов и студентов научно-педагогической школы кафедры проектирования и безопасности компьютерных систем «Информационная безопасность, проектирование и технология элементов и узлов компьютерных систем» Часть 2/ Под ред. Ю.А. Гатчина – СПб НИУ ИТМО. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2012.
11. Иванова Н.Ю., Петров А.С., Поляков В.И., Романова Е.Б., «Технология проектирования печатных плат в САПР P-CAD-2006» Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

---

## КАФЕДРА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

### ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ

**1945-1966 РЛПУ** (кафедра радиолокационных приборов и устройств). Решением Советского правительства в августе 1945 г. в ЛИТМО был открыт факультет электроприборостроения. Приказом по институту от 17 сентября 1945 г. на этом факультете была организована кафедра радиолокационных приборов и устройств, которая стала готовить инженеров, специализирующихся в новых направлениях радиоэлектронной техники, таких как радиолокация, радиоуправление, теленавешение и др. Организатором и первым заведующим кафедрой был д.т.н., профессор С. И. Зилитинкевич (до 1951 г.). Выпускникам кафедры присваивалась квалификация инженер-радиомеханик, а с 1956 г. – радиоинженер (специальность 0705).

В разные годы кафедрой заведовали доцент Б.С. Мишин, доцент И.П. Захаров, доцент А.Н. Иванов.

**1966–1970 КиПРЭА** (кафедра конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры). Каждый учебный план специальности 0705 коренным образом отличался от предыдущих планов радиотехнической специальности своей четко выраженной конструкторско-технологической направленностью. Оканчивающим институт по этой специальности присваивалась квалификация инженер-конструктор-технолог РЭА.

Заведовал кафедрой доцент А.Н. Иванов.



**1970–1988 КиПЭВА** (кафедра конструирования и производства электронной вычислительной аппаратуры). Бурное развитие электронной вычислительной техники и внедрение ее во все отрасли народного хозяйства потребовали от отечественной радиоэлектронной промышленности решения новых ответственных задач. Кафедра стала готовить инженеров по специальности 0648. Подготовка проводилась по двум направлениям – автоматизация конструирования ЭВА и технология микросхем ЭВА.

Заведовали кафедрой: д.т.н., проф. В.В. Новиков (до 1976 г.), затем проф. Г.А. Петухов.

**1988–1997 МАП** (кафедра микроэлектроники и автоматизации проектирования). Кафедра выпускала инженеров-конструкторов-технологов по микроэлектронике и автоматизации проектирования вычислительных средств (специальность 2205). Выпускники этой кафедры имеют хорошую технологическую подготовку и успешно работают как в производстве полупроводниковых интегральных микросхем, так и при их проектировании, используя современные методы автоматизации проектирования. Инженеры специальности 2205 требуются микроэлектронной промышленности и предприятиям-разработчикам вычислительных систем.

Кафедрой с 1988 г. по 1992 г. руководил проф. С.А. Арустамов, затем снова проф. Г.А. Петухов.

С 1996 г. кафедрой заведует д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин.

**1997–2011 ПКС** (кафедра проектирования компьютерных систем). Кафедра выпускала инженеров по специальности 210202 «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств». Область профессиональной деятельности выпускников включала в себя проектирование, конструирование и технологию электронных средств, отвечающих целям их функционирования, требованиям надежности, дизайна и условиям эксплуатации. Кроме того, кафедра готовила специалистов по защите информации, специальность 090104 «Комплексная защита объектов информатизации». Объектами профессиональной деятельности специалиста по защите информации являются методы, средства и системы обеспечения защиты информации на объектах информатизации.

В 2009 И 2010 годах кафедра заняла второе, а в 2011 году – почетное первое место в конкурсе среди кафедр университета.

С **2011 ПБКС** (кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем). Кафедра осуществляет подготовку бакалавров и магистров по направлениям 090900 «Информационная безопасность» и 211000 «Конструирование и технология электронных средств», а также продолжает подготовку инженеров по специальностям 090104 и 210202.

За время своего существования кафедра выпустила более 4600 инженеров, бакалавров и магистров. На кафедре защищено 70 кандидатских и 7 докторских диссертаций.