

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра проектирования информационно-компьютерных систем

В. С. Колбун, В. Е. Галузо

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики
и радиоэлектроники в качестве пособия
по курсовому проектированию для специальности
1-39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС»*

Минск БГУИР 2016

УДК 621.396.6-027.31(076)
ББК 32.844-02я73
К60

Рецензенты:
кафедра общетехнических дисциплин филиала
«Минский радиотехнический колледж» учреждения образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»
(протокол №10 от 28.02.2013 г.);

доцент кафедры конструирования и производства приборов
Белорусского национального технического университета,
кандидат технических наук, доцент Л. Д. Ковалев

Колбун, В. С.

К60 Системы автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств : пособие / В. С. Колбун, В. Е. Галузо. – Минск : БГУИР, 2016. – 56 с. : ил.
ISBN 978-985-543-169-6.

Содержит общие требования к курсовому проекту, методику и особенности проектирования печатных плат с помощью систем автоматизированного проектирования. Приведены требования к выполнению каждого этапа курсового проекта, на основе учебной схемы рассматривается последовательность проектирования печатной платы, получение ее трехмерной модели и оформление документации.

УДК 621.396.6-027.31(076)
ББК 32.844-02я73

ISBN 978-985-543-169-6

© Колбун В. С., Галузо В. Е., 2016
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	4
2 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ	5
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	8
ПРИЛОЖЕНИЕ А	43
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	45
ПРИЛОЖЕНИЕ В	46
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	53
ПРИЛОЖЕНИЕ И	54
Литература	55

Библиотека БГУИР

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Системы автоматизированного проектирования РЭС» (САПР РЭС) является освоение методики разработки печатных плат на основе предъявляемых к ним требований, приобретение навыков проектирования печатных плат с использованием САПР, освоение методов проектирования конструкций РЭС и получения конструкторской документации с использованием САПР.

В рамках дисциплины САПР РЭС выполняется курсовой проект, итогом которого является спроектированная печатная плата и ее трехмерная модель, а также конструкторская документация на печатную плату.

На настоящий момент основной проблемой при проектировании печатных плат является их повышенная сложность и резкое сокращение сроков проектирования при постоянно возрастающих требованиях к их качеству. Появление микросхем в корпусах с малым шагом, с шариковыми выводами (BGA), возрастание требований к быстродействию схем и электромагнитной совместимости, совершенствование технологии производства печатных плат на импортном оборудовании приводят к необходимости использования САПР печатных плат, таких как P-CAD и Altium Designer, обладающих целым рядом принципиально новых возможностей.

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Целью выполнения курсового проекта по дисциплине САПР РЭС является закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков по проектированию печатных плат.

Задачи курсового проектирования:

- освоение современных методов автоматизированного проектирования РЭС с использованием современных САПР;
- приобретение опыта работы со стандартами, нормативной и справочной документацией;
- выработка навыков обоснования инженерно-технических решений;
- подготовка к дипломному проектированию и последующему самостоятельному решению комплексных конструкторских задач.

2 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Курсовое проектирование осуществляется в соответствии с Положением об организации и проведении курсового проектирования в БГУИР [1].

2.1 Тематика курсового проектирования

Тема курсового проекта должна быть посвящена разработке двусторонней или многослойной печатной платы с использованием компонентов для планарного монтажа. Кроме разработки конструкции печатной платы, темой курсового проекта может быть разработка библиотеки компонентов, а также создание программных средств, решающих задачу автоматизации определенного этапа проектирования РЭС или составляющих ее элементов.

Печатные платы имеют основные технические требования в соответствии с ГОСТ 23752–79. Элементами печатных плат являются диэлектрическое основание, металлическое покрытие в виде рисунка печатных проводников и контактных площадок, монтажные и фиксирующие отверстия. ГОСТ 23752–79 определяет требования к конструкции и внешнему виду ПП, к устойчивости при климатических и механических воздействиях и т. д.

Основные технические требования к печатным платам:

- габаритные размеры печатной платы не превышают установленных значений для следующих типов: особо малогабаритных – 60x90 мм; малогабаритных – 120x180 мм; крупногабаритных – 240x360 мм. Толщина печатной платы выбирается из следующего ряда значений: 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Допустимые отклонения по толщине не должны превышать: при толщине до 1 мм – $\pm 0,15$ мм; до 2 мм – $\pm 0,20$ мм; до 3 мм – $\pm 0,30$ мм;

- плотность монтажа определяется шириной проводников и расстоянием между ними. В соответствии с ГОСТ 23751–86 для печатных плат установлено пять классов точности монтажа;

- трассировку рисунка схемы проводят по координатной сетке с шагом 2,5; 1,25; 0,625 мм, а также 0,5 мм по ГОСТ 10317–79. Минимальные диаметры отверстий, располагаемых в узлах координатной сетки, зависят от максимального диаметра вывода навесного элемента, наличия металлизации и толщины платы;

- плотность тока в печатных проводниках наружных слоев плат не должна превышать 20 А/мм²;

- сопротивление изоляции зависит от материала диэлектрического основания и характера электрических цепей, для стеклотекстолита оно должно быть не менее 104 МОм;

- прочность сцепления печатных проводников с диэлектрическим основанием – не менее 15 МПа;

- допустимый уровень рабочего напряжения зависит от расстояния между проводниками: для 2–5 классов $U_{\text{раб}}$ – до 50 В, для 1 класса $U_{\text{раб}}$ – до 100 В.

В соответствии с ГОСТ 10317–79 рекомендуется использовать платы прямоугольной формы, размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными 2,5; 5 или 10 мм при длине соответственно до 100, 350 и свыше 350 мм. Максимальный размер любой из сторон не должен превышать 470 мм, соотношение сторон – не более 3:1. Данные ограничения обусловлены в основном возможностями технологического оборудования по изготовлению печатных плат. При необходимости возможно отклонение габаритов соотношения сторон и формы ПП от рекомендуемых.

ГОСТ 23751–86 устанавливает основные конструктивные параметры печатных плат (размеры печатных проводников, зазоров, контактных площадок, отверстий и т. п.), электрические параметры и т. д.

При выборе толщины печатных плат учитывают метод изготовления и предъявляемые к ним механические требования.

2.2 Задание на курсовое проектирование и исходные данные

Пример оформления задания на курсовое проектирование приведен в [1, приложение А].

Задание на проектирование содержит: тему проекта, исходные данные, перечень подлежащих разработке вопросов, перечень графического материала, указание сроков выдачи задания и защиты проекта. Задание подписывается руководителем и студентом и утверждается заведующим кафедрой.

Исходными данными для проекта являются:

- электрическая схема и перечень элементов;
- класс точности печатной платы;
- требования к расположению компонентов;
- основные конструктивные характеристики платы (форма, габариты, масса, коэффициент заполнения, количество слоев);

- ограничения на параметры отдельных соединений (волновое сопротивление, длина, ширина проводников);
- специальные требования, специфичные для проектируемой платы.

2.3 Объем и содержание курсового проекта

Курсовой проект состоит из пояснительной записки (ПЗ), содержащей 30–40 страниц текста формата А4, необходимых приложений и графической части.

Пояснительная записка к курсовому проекту комплектуется в следующем порядке: титульный лист [1, приложение Б], аннотация, задание, содержание, введение, основная часть, заключение, список используемых источников, приложения, ведомость курсового проекта [1, приложение В].

Пояснительная записка должна содержать:

Введение.

- 1 Анализ схемы и элементной базы.
- 2 Создание библиотечных компонентов.
- 3 Проектирование электрической схемы.
- 4 Размещение компонентов на печатной плате.
- 5 Подготовка к трассировке и трассировка проводников.
- 6 Анализ недостатков топологии и ее ручная корректировка.
- 7 Получение графической документации.
- 8 Построение трехмерной модели печатной платы.

Заключение.

Литература.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В пояснительной записке необходимо рассмотреть следующие вопросы.

3.1 Во введении описываются общие подходы к решению поставленной задачи, формулируется цель работы, обосновывается необходимость и значимость проведения работы.

3.2 В разделе «Анализ схемы и элементной базы» описывается принцип работы и характеристики электрической схемы, питание, входные и выходные сигналы. Особое внимание уделяется тем характеристикам и цепям схемы, которые будут определять требования к параметрам конструкции печатной платы. Анализируется состав схемы, типы элементов. При этом определяются элементы схемы, которые будут находиться на печатной плате, и те, которые необходимо вынести за ее пределы. С этими элементами необходимо обеспечить связь через внешние соединители (разъемы).

Для элементов, располагаемых на плате, необходимо уяснить и описать их функции, назначение выводов, конструктивное исполнение. Как правило, у микросхем выводы питания на электрической схеме не показываются, а сведения о подключении к ним питания указываются графически, в виде таблицы или в технических требованиях. Все эти данные понадобятся при создании библиотечных компонентов.

Пример. Светозвуковой индикатор-пробник позволяет быстро проверить монтаж, убедиться в наличии постоянного или переменного напряжения от 5 до 400 В, определить полярность постоянного напряжения.

Пробник содержит три узла световой индикации со светодиодами на выходе и узел звуковой индикации. В нем использованы три цифровые микросхемы (рисунок 3.1).

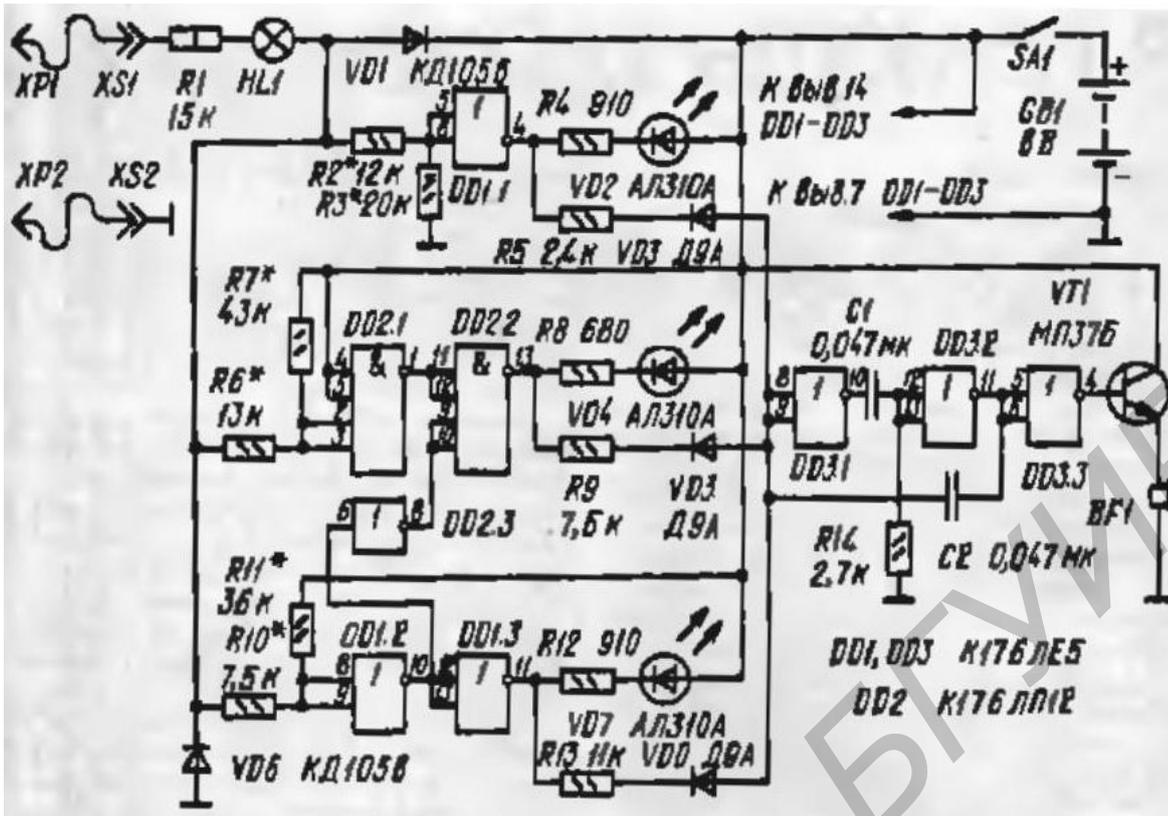


Рисунок 3.1

Кроме того, на входе пробника стоит лампа накаливания HL1, которая начинает светиться при подаче на вход напряжения свыше 150 В. При работе с пробником контакт со схемой осуществляется с помощью удлинительных проводов со щупами XP1 и XP2 на концах.

В исходном состоянии, когда щупы никуда не подключены, элементы микросхем DD1 и DD2 находятся в таком состоянии, что светодиоды VD2, VD4, VD7 не светятся. Не работает и генератор звуковой частоты, собранный на микросхеме DD3.

Предположим теперь, что входные щупы подключены к цепи постоянного тока так, что на XP1 – плюс напряжения, а на XP2 – минус. На вход элемента DD1.1 будет подан уровень логической 1. Элемент переключится в нулевое состояние, и светодиод VD2 засветится, сигнализируя о положительной полярности напряжения на щупе XP1. Одновременно включится генератор звуковой частоты (ЗЧ), из головного телефона BF1 раздастся звук, тональность которого зависит от сопротивления резистора R3. Элементы DD2.2 и DD1.3 не изменят своего состояния, поэтому светодиоды VD4 и VD7 останутся погашенными.

Когда же полярность входного напряжения изменится на обратную (на щупе XP1 – минус напряжения, а на XP2 – плюс), элемент DD1.1 возвратится в единичное состояние, а DD2.1 и DD1.2 перейдут из нулевого состояния в единичное. На выходе элемента DD1.3 появится уровень логического 0, вспыхнет светодиод VD7 и включится генератор ЗЧ – тональность звука теперь будет зависеть от сопротивления резистора R13. Элемент же DD2.2 останется в прежнем состоянии, поскольку на его входах будут разные уровни сигналов (из-за включения инвертора DD2.3). Поэтому светодиод VD4 гореть не будет.

Если же на вход пробника будет подано переменное напряжение, начнут поочередно вспыхивать светодиоды VD2 и VD7 с частотой переменного напряжения.

При прозвонке монтажа щупы XP1 и XP2 оказываются замкнутыми через исправные соединительные проводники. В результате напряжение на выводах 2, 3 элемента DD2.1 оказывается намного ниже порога срабатывания, а на входах элемента DD1.2 – выше. Элемент DD2.2 переключится в нулевое состояние. Вспыхнет светодиод VD4 и зазвучит сигнал в головном телефоне, причем тональность сигнала в этом случае определяется сопротивлением резистора R9.

В пробнике применены микросхемы 176 КМОП-серии К176ЛЕ5 и К176ЛП12. Микросхема К176ЛЕ5 содержит четыре элемента 2ИЛИ-НЕ, а микросхема К176ЛП12 – два элемента 4И-НЕ и один инвертор. Обе микросхемы выполнены в корпусе DIP14. Резисторы и конденсаторы заменим на компоненты поверхностного монтажа типоразмера 1206. Диоды КД105 (VD1, VD6) и Д9 (VD3, VD5, VD8) заменим на современные КД522, а транзистор МП37 – на КТ503. Светодиоды можно оставить серии АЛ307.

Резистор R1, лампу HL1, головной телефон BF1 и батарею питания GB1 с выключателем SA1 разместим за пределами платы в корпусе пробника. Для подключения этих элементов к плате будем использовать двухконтактные разъемы PLS-2.

Напряжение питания пробника и небольшие токи, протекающие в цепях схемы, не вызывают необходимости увеличения зазоров между проводниками и их ширины. Однако можно выделить цепи питания микросхем и цепи светодиодов, токи в которых все-таки больше, поэтому ширину проводников для них можно увеличить.

3.3 Раздел «Создание библиотечных компонентов» должен содержать описание процесса создания всех библиотечных компонентов, необходимых

для проектирования электрической схемы и печатной платы. Компонент включает в себя символ, корпус (посадочное место) и таблицу выводов.

Работу следует начать с создания символов. Очевидно, что число создаваемых символов (как и число посадочных мест) будет меньше количества элементов в схеме, т. к., например, все транзисторы одной структуры будут иметь одно и то же условное графическое обозначение (символ), а многие серии микросхем используют в качестве корпуса стандартный DIP14. Визуально символ представляет собой условное графическое обозначение, которое выполняется в соответствии с требованиями стандартов. Кроме того, в соответствии с правилами создания символов в P-CAD добавляются электрические выводы, которые имеют имена и номера (обозначения), показывающие привязку выводов символа к выводам корпуса. Как правило, по умолчанию следует заполнять все поля описания выводов реальными сведениями, т. к. потом при создании компонента эта информация автоматически будет перенесена в таблицу выводов. Для символов с большим количеством выводов целесообразно воспользоваться мастером создания символов. Обязательными составляющими символа являются точка привязки и атрибут позиционного обозначения. После проверки правильности создания символ записывается в библиотеку.

Если проект разрабатывается с помощью Altium Designer, необходимо иметь в виду, что символ в данном приложении является основой (компонентом), к которому подключаются модели посадочного места, трехмерная модель, модели для анализа целостности сигналов и моделирования работы электрической схемы [2, с. 53]. При этом организация библиотек в Altium Designer также отличается от P-CAD [2, с. 57].

Корпус (посадочное место) создается в соответствии с его физическими размерами. Начать следует с создания стилей контактных площадок, которые будут входить в состав посадочного места. Главными параметрами контактной площадки являются диаметр отверстия для сквозного вывода, а также форма и размеры самой контактной площадки. В записке следует привести соображения по выбору параметров контактных площадок. Далее контактные площадки выбранного стиля располагаются в соответствии с расстояниями между выводами создаваемого корпуса. При этом необходимо соблюдать правильную нумерацию площадок в соответствии со справочными данными, это значительно облегчит создание компонента. Затем нужно нарисовать изображение корпуса и добавить атрибут позиционного обозначения. В состав посадочного места так-

же должна входить точка привязки. После проверки правильности создания корпуса он записывается в ту же библиотеку, что и символ.

Компонент создается с помощью менеджера библиотек. Он содержит ссылку на символ и корпус, а также указывает в таблице выводов привязку выводов символа к выводам (контактным площадкам) корпуса. Важно правильно указать это соответствие, т. к. выводы могут быть невзаимозаменяемые (как у диода), а также в корпус могут упаковываться несколько символов, чаще всего эквивалентных. Кроме того, здесь указывается шаблон позиционного обозначения компонента, который будет использоваться в схеме и на плате. Компонент сохраняется в библиотеке, где находятся символ и корпус, на которые он ссылается.

В записке для каждого компонента необходимо привести вид символа и посадочного места, а также таблицу выводов с указанием их электрических типов.

Номера соответствующих ГОСТов для условных графических обозначений элементов:

- ГОСТ 2.721 – Обозначения общего применения;
- ГОСТ 2.722 – Машины электрические;
- ГОСТ 2.723 – Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители;
- ГОСТ 2.725 – Устройства коммутирующие;
- ГОСТ 2.726 – Токосъемники;
- ГОСТ 2.727 – Разрядники, предохранители;
- ГОСТ 2.728 – Резисторы, конденсаторы;
- ГОСТ 2.729 – Приборы измерительные;
- ГОСТ 2.730 – Приборы полупроводниковые;
- ГОСТ 2.732 – Источники света;
- ГОСТ 2.743 – Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники;
- ГОСТ 2.733 – Обозначения условные детекторов ионизирующих излучений в схемах;
- ГОСТ 2.734 – Линии сверхвысокой частоты и их элементы;
- ГОСТ 2.735 – Антенны;
- ГОСТ 2.736 – Элементы пьезоэлектрические и магнитострикционные.

Вид и размеры некоторых условных графических обозначений элементов приведены в приложении А.

Пример. Создание библиотеки начнем с микросхем.

Согласно требованиям стандарта расстояние между выводами условного графического обозначения микросхем должно быть 5 мм, а между группами выводов – 10 мм. Размеры полей изображения символа также кратны 5 мм.

Создадим библиотечный компонент микросхемы К176ЛП12. Она представляет собой два логических элемента 4И-НЕ и один инвертор, размещенные в корпусе DIP14 (рисунок 3.2). К выводу номер 14 корпуса подключается цепь питания, а к выводу номер 7 – цепь земли.

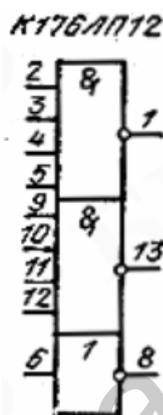


Рисунок 3.2

Символы создаются в редакторе символов Symbol Editor. Для символа 4И-НЕ размещаем 4 вывода слева и один справа от прямоугольника (поля микросхемы), на котором в виде текстовой строки располагаем обозначение функции микросхемы. Также создаем и символ ИЛИ-НЕ (рисунок 3.3). Оба символа записываем в библиотеку под именами 4И-НЕ и ИЛИ-НЕ.

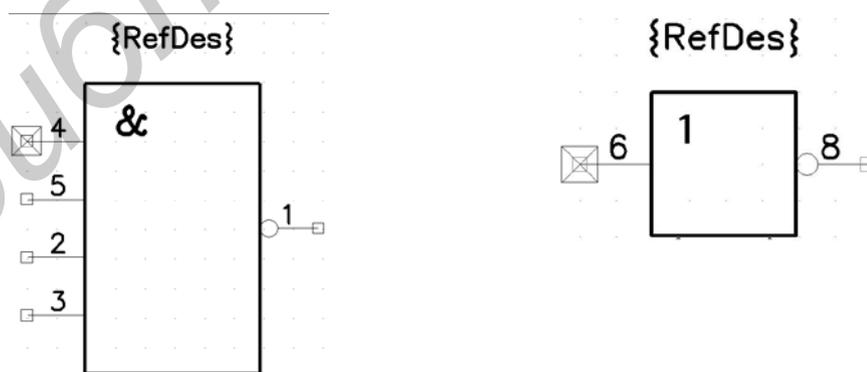


Рисунок 3.3

Создадим в редакторе Pattern Editor посадочное место корпуса DIP14. Размеры корпуса приведены на рисунке 3.4.

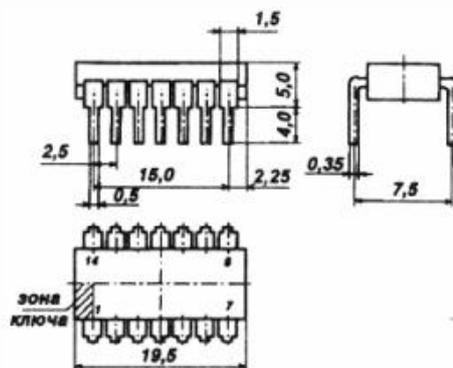


Рисунок 3.4

Сначала создадим описания (стили) контактных площадок. Выводы микросхемы в поперечном сечении – прямоугольник с размерами 0,5x0,35 мм. В отверстии на печатной плате должна поместиться диагональ поперечного сечения, т. е. 0,61 мм. Поэтому диаметр отверстия выбираем равным 0,8 мм, а внешний диаметр контактной площадки – 1,6 мм (рисунок 3.5). Форма контактной площадки круглая (эллипс с равными осями), сквозное отверстие имеет металлизацию. Имя стиля контактной площадки c16h08 содержит информацию о ее форме и размерах.

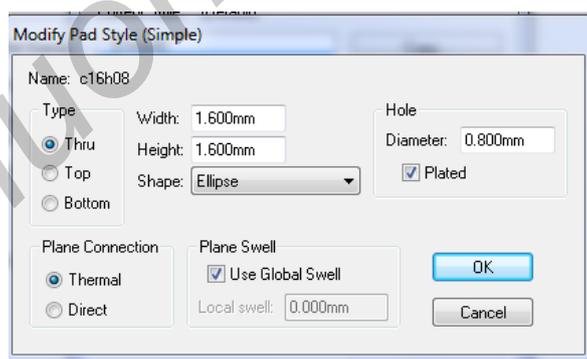


Рисунок 3.5

Поскольку контактная площадка первого вывода микросхемы на плате обычно квадратной формы, создадим еще один стиль с именем s16h08, в котором поменяем форму площадки на Rectangle.

Для создания посадочного места микросхемы воспользуемся мастером (рисунок 3.6). Размеры корпуса и расстояния между выводами установим согласно рисунку 3.4.

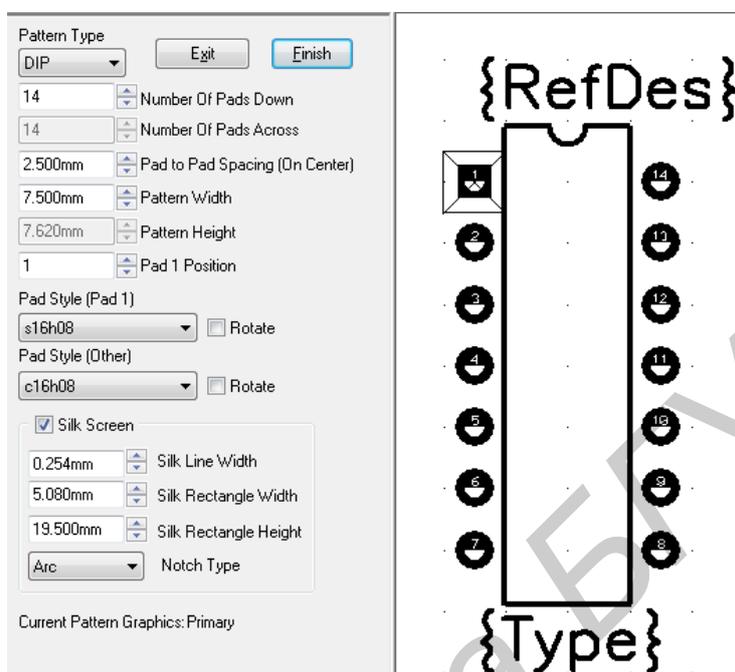


Рисунок 3.6

Записываем посадочное место в ту же библиотеку, что и символы, под именем DIP14.

Компонент создаем с помощью менеджера библиотек Library Executive.

Выбираем библиотеку, в которой для компонента уже записаны символы и корпус. Выбираем корпус DIP14, количество элементов (символов) – 3, префикс позиционного обозначения цифровой микросхемы DD, неоднородный стиль компонента (т. к. символы разные) и цифровую нумерацию. Для каждой секции внизу окна выбираем соответствующий символ (рисунок 3.7).

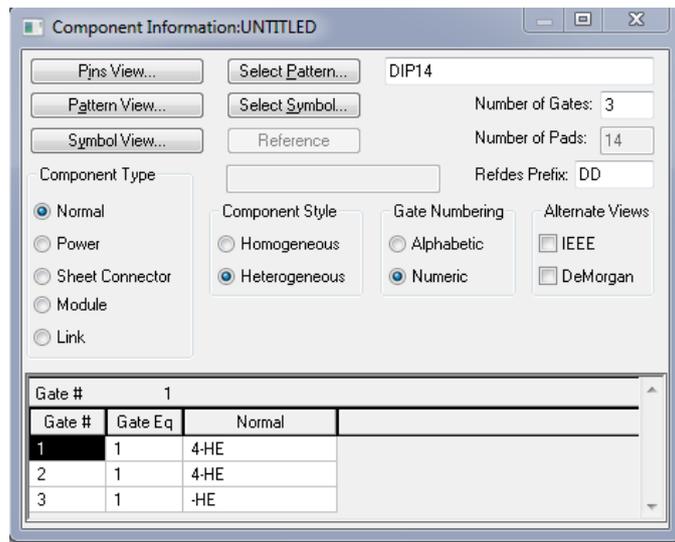


Рисунок 3.7

В таблице выводов по аналогии с первым символом заполняем информацию для второго и третьего символа. Седьмой и четырнадцатый выводы компонента делаем типа Power и в столбце Pin Name пишем имя цепи, к которой должен быть подключен этот вывод (скрытые выводы) (рисунок 3.8).

Pin Eq	Pad #	Pin Des	Gate #	Sym Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec. Type
1	1	1	1	5	y	1		Output
2	2	2	1	3	x3	1	1	Input
3	3	3	1	4	x4	1	1	Input
4	4	4	1	1	x1	1	1	Input
5	5	5	1	2	x2	1	1	Input
6	6	6	3	1	x1	2		Input
7	7	7	PWR		gnd			Power
8	8	8	3	2	y	2		Output
9	9	9	2	1	x1	1	1	Input
10	10	10	2	2	x2	1	1	Input
11	11	11	2	3	x3	1	1	Input
12	12	12	2	4	x4	1	1	Input
13	13	13	2	5	y	1		Output
14	14	14	PWR		+5V			Power

Рисунок 3.8

Записываем созданный компонент в библиотеку под именем K176ЛП12.

Далее для каждого компонента нужно привести вид символа, корпуса и таблицу выводов (рисунок 3.9).

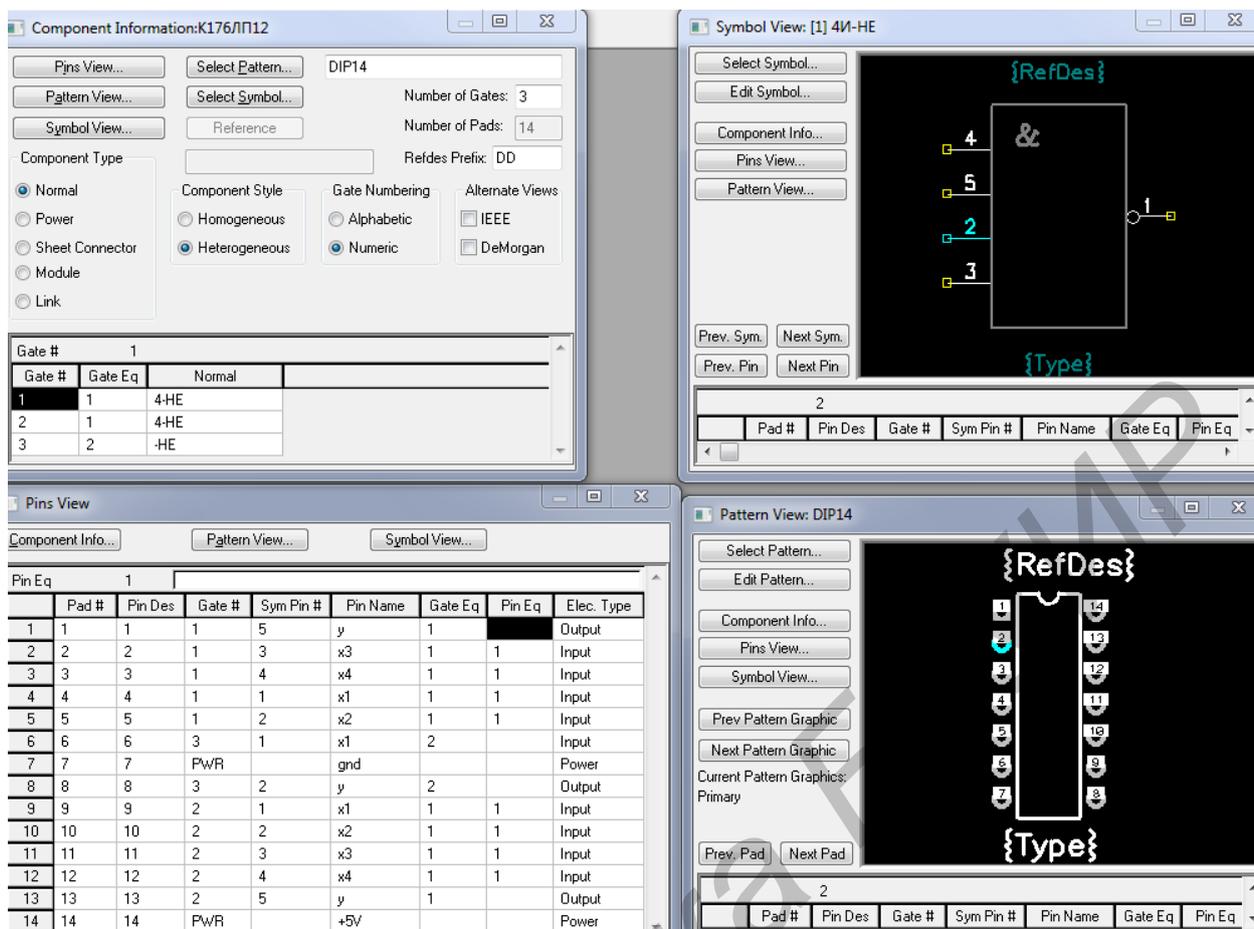


Рисунок 3.9

В Altium Designer для многосекционных компонентов при создании символа последовательно создаются все секции с указанием номеров выводов, а также размещаются выводы питания (скрытые выводы) с указанием, что они не принадлежат ни к одной секции [2, с. 65–68].

3.4 Содержанием раздела «Проектирование электрической схемы» должны стать общие соображения о проектировании данной схемы, сведения об использовании шин для сокращения количества изображаемых связей на схеме, пояснения, каким образом в схеме указано подключение цепей питания и т. д. Здесь же необходимо проанализировать цепи и присвоить некоторым из них имена, чтобы в дальнейшем на них можно было ссылаться для назначения этим цепям конкретных ограничений (ширина проводников, требования к длине и расположению и др.). Спроектированную электрическую схему необходимо сохранить на диске и извлечь из нее список связей. Файлы, относящиеся к одному проекту, лучше сохранять в отдельной папке.

Принципиальную электрическую схему выполняют по ГОСТ 2.701 и ГОСТ 2.702. Условные графические изображения элементов в электрических

схемах должны соответствовать ГОСТ 2.721–2.742, размеры условных обозначений – ГОСТ 2.747, 2.730 и буквенные обозначения – ГОСТ 2.710.

Принципиальная электрическая схема сопровождается перечнем элементов, который выполняют по ГОСТ 2.702.

ГОСТы, определяющие правила выполнения схем:

- ГОСТ 2.701 – Схемы. Виды и типы. Правила выполнения схем;
- ГОСТ 2.702 – Правила выполнения электрических схем;
- ГОСТ 2.705 – Правила выполнения электрических схем обмоток и изделий с обмотками;
- ГОСТ 2.708 – Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники;
- ГОСТ 2.709 – Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах;
- ГОСТ 2.710 – Обозначения условные буквенно-цифровые, применяемые на электрических схемах.

Пример. Устанавливаем в конфигурации формат области проектирования А3. Поскольку выводы символов микросхем мы ставили через 5 мм, шаг сетки в редакторе установим 2,5 мм.

Графические обозначения элементов и соединяющие их линии связи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечивать наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

Расстояние между соседними параллельными линиями связи должно быть не менее 3 мм. Между изображениями рядом стоящих символов должно быть не менее 2 мм.

При анализе схемы примем следующее решение: резистор R1, лампу накаливания HL1, телефон BF1 и батарею GB1 разместим в корпусе за пределами платы. Соединение этих элементов с платой реализуем с помощью двух-контактных разъемов.

На поле схемы поэтапно размещаем элементы и проводим связи. После того как схема готова, выровняем элементы, распределим их по возможности равномерно на схеме и с учетом их функциональной принадлежности. Питание микросхем реализовано через скрытые выводы при создании компонентов. Остальные элементы подключены к питанию и земле с помощью компонентов типа Power. Для цепей питания (+5V и GND) установим атрибут ширины Width, равный 1 мм.

После этого, чтобы выполнить требование стандарта по нумерации позиционных обозначений «сверху вниз в направлении слева направо», воспользуемся командой схемного редактора *Utils/Renumber*.

Присвоим некоторым цепям имена, чтобы потом ссылаться на них. Например, цепи между микросхемой и резистором дадим имя DD1-R7 и т. д.

С помощью команды *Utils/ERC* проверим схему на наличие ошибок. Индикаторы ошибок появляются на схеме, а в отчете приводится полный перечень ошибок (проанализировать отчет).

Таблица выводов питания. На схеме необходимо привести сведения о подключении питания к выводам микросхем. Эту информацию получим из таблицы (*DocTool/Place Table-Power Table*) для скрытых выводов и всех компонентов.

Сохраним схему на диске под именем «Пробник» и по команде *Utils/Generate Netlist* запишем список связей схемы. При этом информация о ширине проводников цепей питания через список связей потом будет передана в редактор РСВ.

При печати схемы сначала устанавливаем параметры страницы для выделенного листа, при этом необходимо обновить установки (*Update Sheet*). Затем возвращаемся в окно *File Print* и распечатываем схему.

Чертеж схемы приведен в приложении Б, перечень элементов – в приложении В.

3.5 Раздел «Размещение компонентов на печатной плате» является одним из важнейших в работе над проектом, т. к. от качества размещения во многом зависит успешная трассировка печатной платы.

Сначала необходимо определить размеры печатной платы. Для этого суммируются установочные площади компонентов и эта сумма делится на коэффициент заполнения. После этого выбираются размеры сторон печатной платы, чтобы ее площадь не превышала полученного значения. Контур печатной платы создается в редакторе печатных плат РСВ в отдельном слое и может отличаться от прямоугольной формы. На плате располагают крепежные отверстия, для чего необходимо создать соответствующие стили площадок. Файлу печатной платы лучше дать имя, немного отличающееся от имени файла электрической схемы, иначе при создании страховочной копии файла схемы и платы соответствующие редакторы будут попеременно уничтожать страховочные копии своего партнера (это не относится к версии P-CAD 2006).

После создания контура платы осуществляется загрузка списка связей, созданного схемным редактором. В этом файле содержится информация о компонентах схемы и связях между их выводами. При загрузке списка связей редактор должен взять из библиотеки посадочные места компонентов и соединить их выводы в соответствии со схемой. Из этого следует, что перед загрузкой списка связей необходимо подключить к редактору РСВ соответствующие библиотеки. Как правило, на этом этапе возникают ошибки, которые требуется описать в этом разделе и устранить.

В Altium Designer передача информации из электрической схемы в редактор печатных плат осуществляется через обновление печатной платы из редактора схем [2, с. 211]. При этом выводится список различий между схемой и платой, пользователю предлагается проверить возможность внесения требуемых изменений и осуществить их. Другими словами, синхронизация схемы и платы осуществляется через механизм ECO, существовавший и в P-CAD.

Далее в этом разделе нужно привести конкретные соображения по размещению тех компонентов, положение которых на плате определяется конструктивными, тепловыми, массогабаритными, электромагнитными и другими ограничениями. Размещение остальных компонентов производится в соответствии с электрической схемой и ориентируясь на визуальное отображение связей этих компонентов при их перемещении.

Для улучшения качества размещения необходимо воспользоваться командой оптимизации связей, которая позволяет за счет перестановки эквивалентных символов и выводов сократить общую длину связей. Команда позволяет оценить общую длину связей до и после перестановок. В разделе приводятся данные для разных вариантов размещения и выбирается лучший из них.

Пример. Чтобы получить печатную плату с компонентами в редакторе РСВ, подключим к редактору нужные библиотеки и загрузим список связей, сгенерированный в схемном редакторе. Результат приведен на рисунке 3.10.

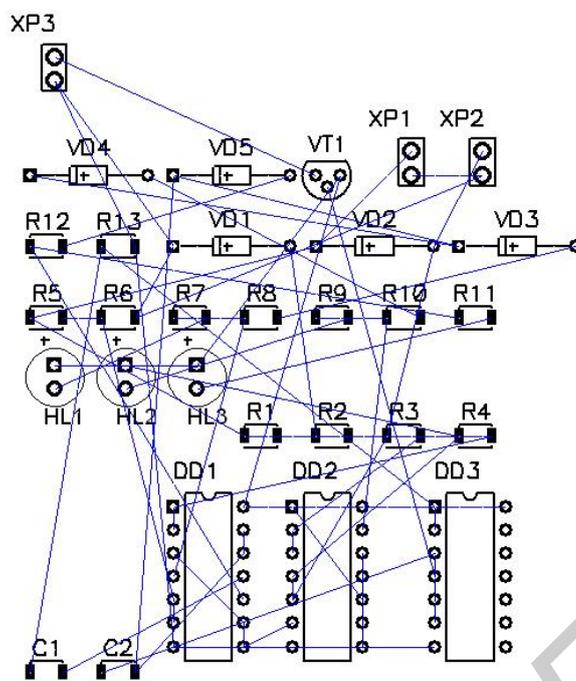
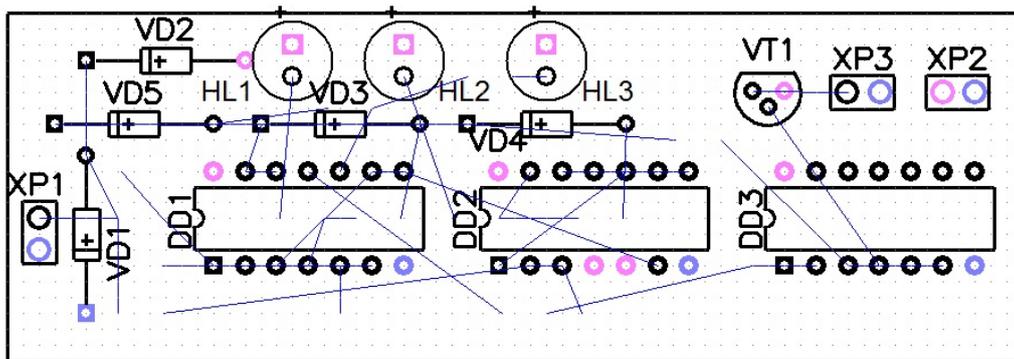


Рисунок 3.10

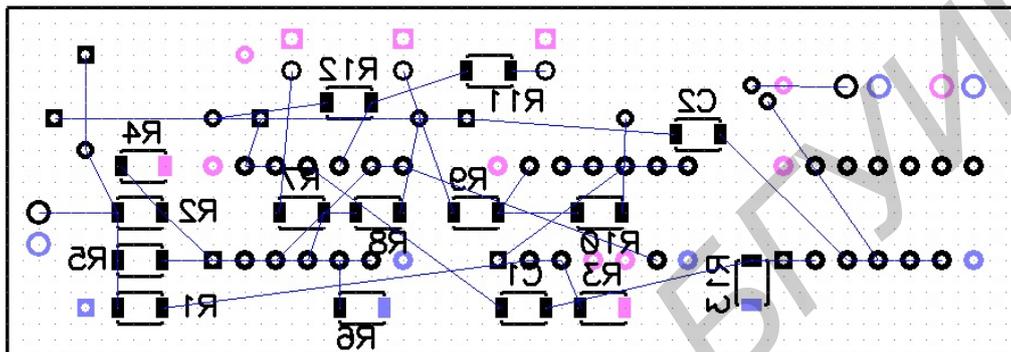
Как правило, конструктивно пробники выполняют в узком корпусе, чтобы было удобно держать его в руке и, контактируя с точками печатной платы, наблюдать за индикаторами пробника. Самыми габаритными элементами схемы пробника являются микросхемы в корпусах DIP14. Поэтому слева поместим входной разъем, а микросхемы расположим за ним в один ряд, ориентируясь на связи. Выходной разъем XP3 и разъем питания XP2 расположим у правого края платы. Поскольку светодиоды подключены к цепи +5В, расположим их в ряд над микросхемами. Остальные элементы – ориентируясь на их связи. Для уменьшения габаритов печатной платы элементы будем располагать с двух сторон платы. Элементы со штыревыми выводами расположим на верхней стороне платы, а элементы поверхностного монтажа – на нижней стороне. При компоновке установим для цепей питания и «земли» определенные цвета, а отображение связей для них отменим.

После размещения компонентов в слое *Board* нарисуем контур печатной платы.

Результат компоновки приведен на рисунке 3.11.



а



б

а – верхняя сторона платы; б – нижняя сторона платы (вид сквозь плату)

Рисунок 3.11

С помощью утилиты *Placement*, расположенной в папке *Utils*, определим коэффициент заполнения платы (рисунок 3.12).

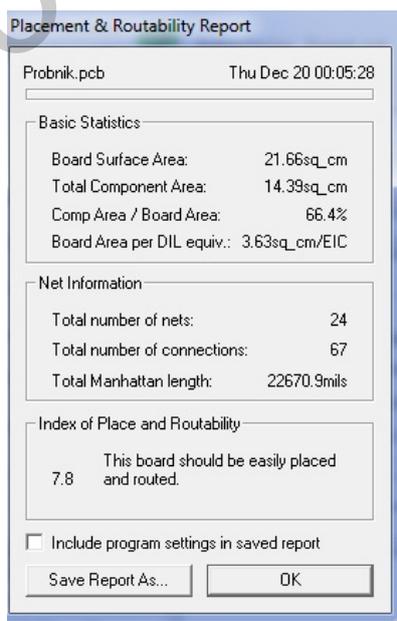


Рисунок 3.12

Используем такие свойства элементов, как эквивалентность секций и выводов, и проведем оптимизацию связей (команда *Utils/Optimize Nets*). Используем команду в автоматическом режиме. Результат перестановок приведен на рисунке 3.13.

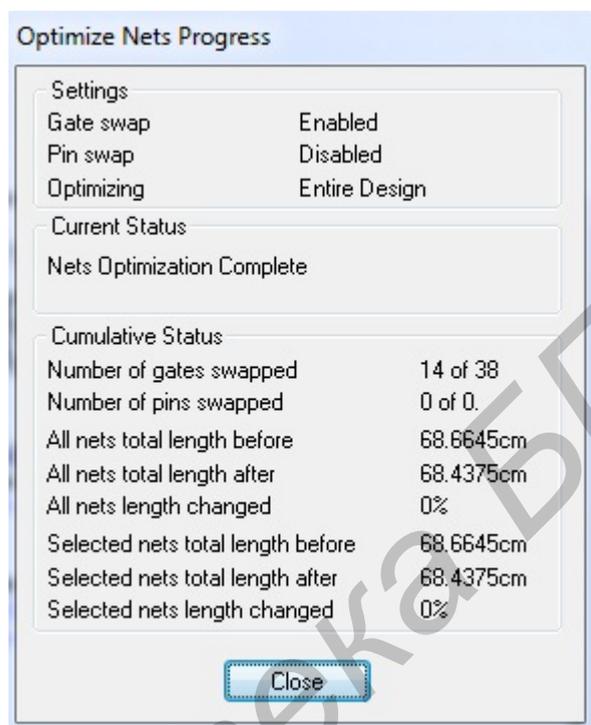


Рисунок 3.13

Изменение длины связей незначительно, что говорит об удачном варианте предварительного ручного размещения компонентов.

Несомненно, такими же возможностями по оптимизации цепей обладает и Altium Designer, только здесь пользователю предоставляется право разрешать или запрещать возможность замены эквивалентных выводов и секций для некоторых элементов прямо в схемном редакторе.

3.6 Выполнение раздела «Подготовка к трассировке и трассировка проводников» следует начать с размещения барьеров трассировки. Барьерами на плате выделяются места, на которых запрещается размещение проводников. Это места расположения крепежных отверстий, несущих конструкций, радиаторов охлаждения, проводящих корпусов компонентов. Барьеры можно располагать на отдельных слоях. Барьеры учитываются при интерактивной и автоматической трассировке.

Далее на основании класса точности печатных плат устанавливаются параметры трассировки для всей платы – ширина проводников и зазоры между ними. Группы цепей с похожими характеристиками могут объединяться в классы, для которых необходимо установить свои правила трассировки (например цепи питания). Следует выделить цепи со специфическими параметрами (высокая частота сигнала, ширина, ограничения по длине и т. д.) и назначить им индивидуальные правила.

Рассмотрим типовую конструкцию многослойной платы.

В первом, наиболее распространенном, варианте внутренние слои платы формируются из двустороннего ламинированного медью стеклотекстолита, который называют «ядро». Наружные слои выполняются из медной фольги, спрессованной с внутренними слоями при помощи связующего – смолистого материала, называемого «препрег». После прессования при высокой температуре образуется «пирог» многослойной печатной платы, в котором далее сверлятся и металлизировываются отверстия.

Менее распространен второй вариант, когда внешние слои формируются из «ядер», скрепляемых «препрегом».

Это упрощенное описание, на основе данных вариантов существует множество других конструкций. Однако основной принцип состоит в том, что в качестве связующего материала между слоями выступает «препрег». Очевидно, что не может быть ситуации, когда соседствуют два двусторонних «ядра» без прокладки из «препрега», но структура «фольга – препрег – фольга – препрег...» и т. д. возможна и часто используется в платах со сложными сочетаниями глухих и скрытых отверстий.

Термин «глухие отверстия» означает переходы, связывающие внешний слой с ближайшими внутренними слоями и не имеющие выхода на второй внешний слой. Он происходит от английского слова blind и является аналогичным термину «слепые отверстия». Скрытые, или погребенные (от английского buried), отверстия выполнены между внутренними слоями и не имеют выхода наружу.

Их применение оправдано в случае очень плотной разводки или для плат, очень насыщенных планарными компонентами с обеих сторон. Наличие этих отверстий приводит к удорожанию стоимости платы от полутора до нескольких раз, но во многих случаях, особенно при трассировке микросхем в корпусах BGA с маленьким шагом без них не обойтись.

Типовые конструкции печатных плат основаны на применении стандартного стеклотекстолита типа FR4 с рабочей температурой, как правило, от -50 до $+110$ °С, температурой стеклования (разрушения) T_g около 135 °С. Диэлектрическая постоянная у него может быть от 4,4 до 4,8 в зависимости от поставщика и вида материала.

При повышенных требованиях к термостойкости или при монтаже плат в печи по бессвинцовой технологии (t до 260 °С) применяется высокотемпературный FR4 High T_g или FR5.

Если плата предназначена для работы при высоких температурах или при резких перепадах температур применяется полиимид. Кроме того, полиимид используют для изготовления плат повышенной надежности для военных применений, а также в случаях, когда требуется повышенная электрическая прочность.

Для плат с СВЧ-цепями (более 2 ГГц) применяются отдельные слои СВЧ-материала или плата целиком делается из СВЧ-материала.

Знание доступных толщин материалов важно инженеру не только для формирования общей толщины платы. При проектировании МПП разработчики сталкиваются с такими задачами, как:

- расчет волнового сопротивления проводников на плате;
- расчет величины межслойной высоковольтной изоляции;
- выбор структуры глухих и скрытых отверстий.

Хорошее заземление – общее требование насыщенной, многоуровневой системы. И оно должно планироваться с первого шага работы над платой. Основное правило – разделение земли. Разделение земли на аналоговую и цифровую части – один из простейших и наиболее эффективных методов подавления шума. Один или более слоев многослойной печатной платы обычно отводится под слой земляных полигонов. Если разработчик не очень опытен или невнимателен, то земля аналоговой части будет непосредственно соединена с этими полигонами, т. е. аналоговый возвратный ток будет использовать ту же цепь, что и цифровой возвратный ток. Автотрассировщики работают примерно также и объединяют все земли вместе.

Если переработке подвергается ранее разработанная печатная плата с единым земляным полигоном, объединяющим аналоговую и цифровую земли, то необходимо сначала физически разделить земли на плате. После этого проводятся все подключения к аналоговому земляному полигону компонентов аналоговой части схемы (формируется аналоговая земля), а затем к цифровому

земляному полигону компонентов цифровой части схемы (формируется цифровая земля). И лишь после этого в месте расположения источника питания производится объединение цифровой и аналоговой земли.

Другие правила формирования земли. Шины питания и земли должны находиться под одним потенциалом по переменному току, что подразумевает использование конденсаторов развязки и распределенной емкости.

Не допускается перекрытие аналоговых и цифровых полигонов. Шины и полигоны аналогового питания следует располагать над полигоном аналоговой земли (это же справедливо для шин цифрового питания). Если в каком-либо месте существует перекрытие аналогового и цифрового полигона, распределенная емкость между перекрывающимися участками будет создавать связь по переменному току, и наводки от работы цифровых компонентов попадут в аналоговую схему. Такие перекрытия приводят к уменьшению изоляции полигонов.

Разделение не означает электрической изоляции аналоговой земли от цифровой. Они должны соединяться вместе в каком-то, желательно, одном низкоимпедансном узле. Правильная, с точки зрения земли, система имеет только одну землю, которая является выводом заземления для систем с питанием от сетевого переменного напряжения или общим выводом для систем с питанием от постоянного напряжения (например аккумулятора). Все сигнальные токи и токи питания в этой схеме должны возвращаться к этой земле в одну точку, которая будет служить системной землей. Такой точкой может быть вывод корпуса устройства. Важно понимать, что при подсоединении общего вывода схемы к нескольким точкам корпуса могут образовываться земляные контуры. Создание единственной общей точки объединения земель является одним из наиболее трудных аспектов системного дизайна.

По возможности нужно разделять выводы разъемов, предназначенные для передачи возвратных токов, – возвратные токи должны объединяться только в точке системной земли. Старение контактов разъемов, а также частая расстыковка их ответных частей приводит к увеличению сопротивления контактов, следовательно, для более надежной работы необходимо использование разъемов с некоторым количеством дополнительных выводов. Сложные цифровые печатные платы имеют много слоев и содержат сотни или тысячи проводников. Добавление еще одного проводника редко создает проблему в отличие от добавляемых дополнительных выводов разъемов. Если это не удастся

сделать, то необходимо создавать два проводника возвратного тока для каждой силовой цепи на плате, соблюдая особые меры предосторожности.

Важно отделять шины цифровых сигналов от мест на печатной плате, где расположены аналоговые компоненты схемы. Это предполагает изоляцию (экранирование) полигонами, создание коротких трасс аналоговых сигналов и внимательное размещение пассивных компонентов при наличии рядом расположенных шин высокоскоростных цифровых и ответственных аналоговых сигналов. Шины цифровых сигналов должны разводиться вокруг участков с аналоговыми компонентами и не перекрываться с шинами и полигонами аналоговой земли и аналогового питания. Если этого не делать, то разработка будет содержать новый непредусмотренный элемент – антенну, излучение которой будет воздействовать на высокоимпедансные аналоговые компоненты и проводники.

Сигналы тактовых частот являются достаточно высокочастотными сигналами, поэтому даже небольшие емкости между трассами и полигонами могут создавать значительные связи. Необходимо помнить, что не только основная тактовая частота может вызывать проблему, но и ее высшие гармоники.

Хорошей концепцией является размещение аналоговой части схемы вблизи к входным/выходным соединениям платы. Разработчики цифровых печатных плат, использующие мощные интегральные схемы, часто склонны разводить шины шириной 1 мм и длиной несколько сантиметров для соединения аналоговых компонентов, полагая, что малое сопротивление трассы поможет избавиться от наводок. То, что при этом получается, представляет собой протяженный пленочный конденсатор, на который будут наводиться паразитные сигналы от цифровых компонентов, цифровой земли и цифрового питания, усугубляя проблему.

На основании задания на проектирование или самостоятельно разработчик должен выделить цепи, которые следует развести вручную и запретить их дальнейшую модификацию при автотрассировке. В записке следует пояснить критерии такого выбора. Для разводки этих цепей лучше воспользоваться ручной трассировкой, т. к. интерактивная трассировка не всегда позволяет задать требуемое положение проводников.

Затем следует оттрассировать цепи питания. Цепи питания, как правило, проходят по всей печатной плате, поэтому их следует размещать так, чтобы они не мешали проведению других проводников. При этом очень важно учитывать вопросы электромагнитной совместимости, т. к. через цепи питания возможно возникновение паразитных связей, особенно при наличии на одной печатной

плате цифровых и аналоговых сигналов. Цепи питания можно попробовать трассировать автоматически с последующим редактированием. Для придания им желаемой конфигурации можно временно установить барьеры в виде линий, однако следует проанализировать трудоемкость и эффективность этого способа и, возможно, остановиться на ручной трассировке цепей питания.

После описанных выше действий остальные цепи следует развести с помощью автотрассировщика. Требования к параметрам трассировки этих цепей определяются классом точности печатной платы, но возможны и специфические требования к отдельным цепям. Также можно устанавливать различные требования к топологии в разных местах платы с помощью определения «комнат». Предварительно разведенные цепи перед автотрассировкой необходимо защитить от модификации. При автотрассировке необходимо провести несколько сеансов трассировки с разными параметрами: изменить шаг сетки, ширину проводников, зазоры между проводниками. Затем на основании сравнения количественных показателей, содержащихся в отчетах о трассировке для каждого варианта, и на основе визуального анализа топологии следует выбрать наилучший вариант.

Другой подход заключается в том, что после первого сеанса автотрассировки анализируется топология и делается вывод о том, какие параметры трассировки нужно изменить для улучшения ее качества. Кроме того, при визуальном анализе топологии могут возникнуть предложения об изменении размещения компонентов для освобождения каналов трассировки в тех местах, где компоненты блокируют проведение проводников.

Все эти этапы необходимо отразить в пояснительной записке и привести конкретные данные, подтверждающие обоснованность сделанных выводов и произведенных действий.

Пример. В углах печатной платы размещаем крепежные отверстия диаметром 3,2 мм под винты М3. Для этого создаем стиль контактной площадки с именем «м3», установив диаметр отверстия и контактной площадки 3,2 мм и форму *Mounting Hole*. В зоне расположения монтажных отверстий необходимо запретить проведение проводников, т. к. сверху будет расположена шайба, а снизу – опорная поверхность. Разместим для этого барьеры трассировки в виде полигона с запретом для всех слоев.

Так как пробник не содержит элементов с выводами малых размеров и с малым шагом, мы можем ориентироваться на требования третьего класса точности, для которого минимальные ширина проводников и зазоры между эле-

ментами проводящего рисунка равны 0,25 мм. Установим правило ширины проводников для всего проекта и зададим ширину 0,3 мм (рисунок 3.14).

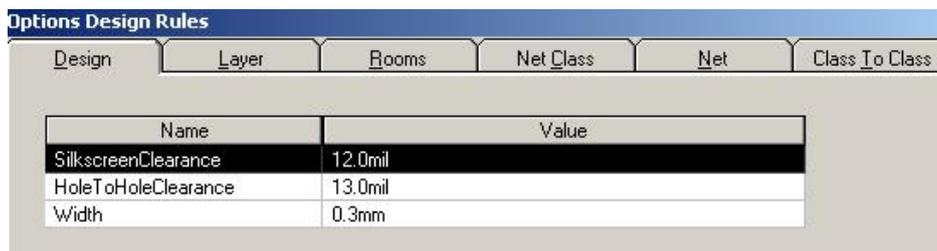


Рисунок 3.14

Для цепей питания +5V и GND ширина 1 мм установлена еще в схемном редакторе.

Через светодиоды, а также подключенные к ним элементы и эмиттер транзистора протекают значительные токи. Поэтому объединим эти цепи в один класс (имя 06MM) и назначим ему ширину проводника 0,6 мм (рисунок 3.15).

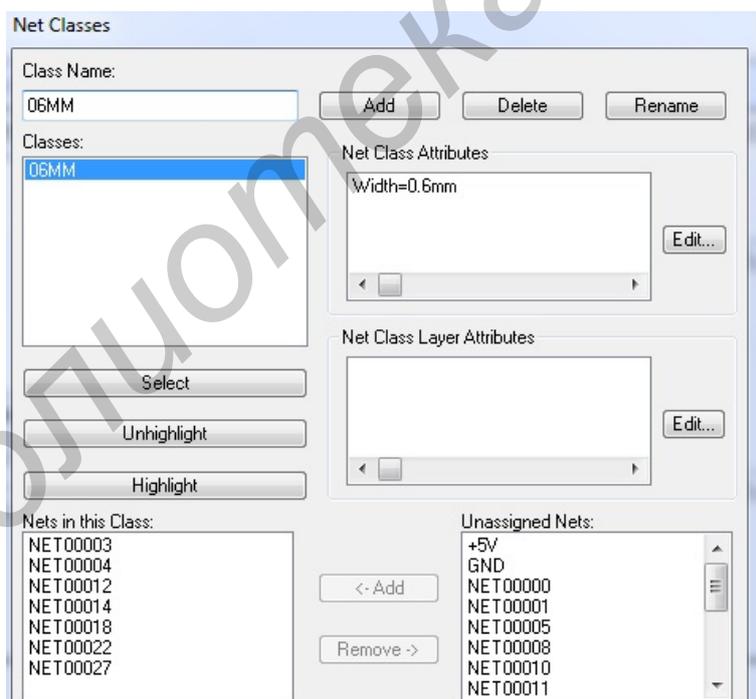


Рисунок 3.15

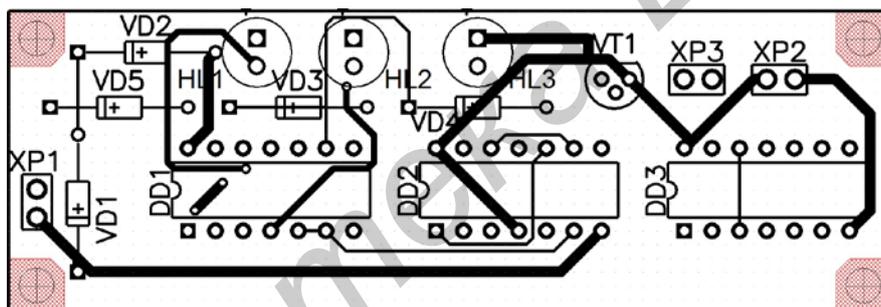
Проведем ручную входную цепь, идущую от XP1 к резисторам, и зафиксируем ее.

Попробуем автоматически оттрассировать в первую очередь цепи питания. Запустим автотрассировщик Shape Route и в окне Edit/Net Attributes в столбце Priority установим для цепей питания приоритет 1 и 2 (рисунок 3.16).

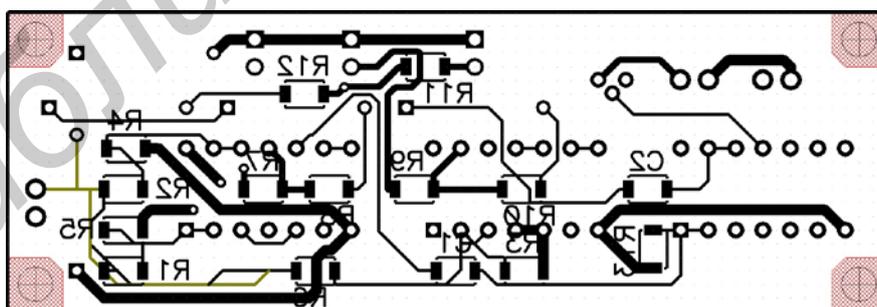
Net	Display	Priority	Length Minimize	Route Action	Route Layers	Width
GND	True	1	Min Dist	Default	All Layers	1.
+5V	True	2	Min Dist	Default	All Layers	1.
NET00000	True	Default	Min Dist	Default	All Layers	0.3
NET00001	True	Default	Min Dist	Default	All Layers	0.3
NET00004	True	Default	Min Dist	Default	All Layers	0.6

Рисунок 3.16

После окончания работы автотрассировщика возвращаемся в редактор PCB (*File/Save and Return*). Результат трассировки представлен на рисунке 3.17.



а



б

а – верхняя сторона платы; б – нижняя сторона платы (вид насквозь)

Рисунок 3.17

3.7 В разделе «Анализ недостатков топологии и ее ручная корректировка» следует сначала тщательно проанализировать топологию платы в целом, а также конфигурацию отдельных цепей. На плате необходимо найти и исправить те места, где проводники образуют петли, которые являются хорошими излучателями помех. Поскольку автотрассировщик проводит проводники с соблюдением минимальных зазоров, установленных правилами проектирования, необходимо в местах, где это возможно, равномерно распределить проводники и тем самым увеличить зазоры (устранить «узкие» места).

При необходимости увеличения ширины проводников следует использовать области металлизации, подключенные к этим цепям, и располагать их на соответствующих слоях. Области металлизации применяются также в качестве экранов, при этом они должны быть подключены к цепи «земля». Целесообразно свободные места на сигнальных слоях печатной платы также заполнить металлизацией и заземлить ее для повышения помехоустойчивости работы устройства.

Финальным этапом работы над топологией печатной платы является проверка печатной платы на полноту трассировки и на соблюдение зазоров средствами редактора печатных плат (утилита DRC). Необходимость этого объясняется ручными операциями при проектировании топологии, когда разработчик может неумышленно внести ошибки в проект и не заметить этого. Отчет о проверке содержит имена не полностью разведенных цепей с указанием оттрассированных частей, а также нарушения технологических ограничений (недопустимые зазоры). При этом в отчете отражается, между какими объектами обнаружены нарушения и координаты этих ошибок. На печатной плате утилита проверки DRC помещает индикаторы ошибок. Обнаруженные не полностью разведенные цепи следует доработать вручную, а выявленные ошибки топологии устранить. Рекомендуется при проверке платы средствами утилиты DRC поэтапно увеличивать задаваемые в правилах проверки зазоры, что позволит вести исправления нарушений постепенно (переходить от меньших зазоров к большему).

Пример. Анализ топологии после автотрассировки выявил некоторые недостатки, которые помечены овалами на видах сторон печатной платы (рисунок 3.18).

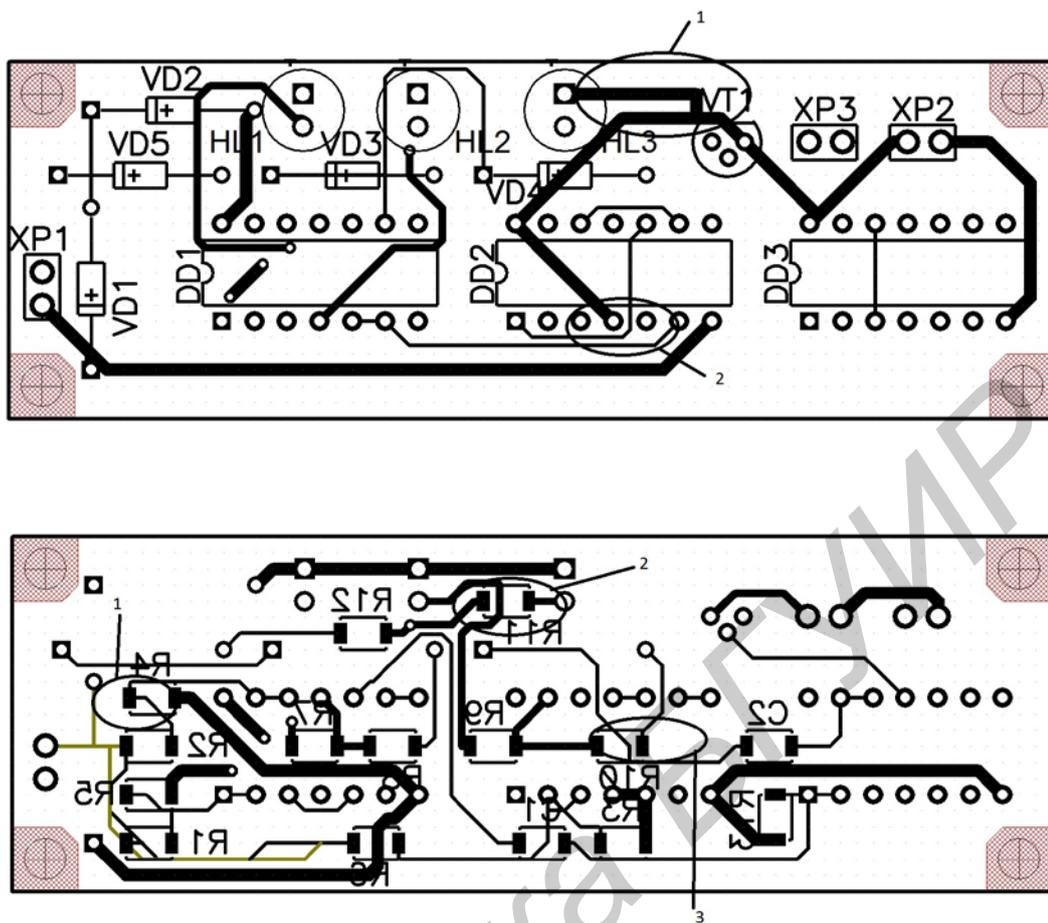


Рисунок 3.18

Изменим ручную конфигурацию проводников, устранив замеченные недостатки. Свободные места на сигнальных слоях печатной платы заполним металлизацией и подключим ее к земле для повышения помехоустойчивости работы устройства (рисунок 3.19). Стиль полигона установим заштрихованным, расстояние между линиями – 2 мм и включим опцию удаления неподключенных островков.

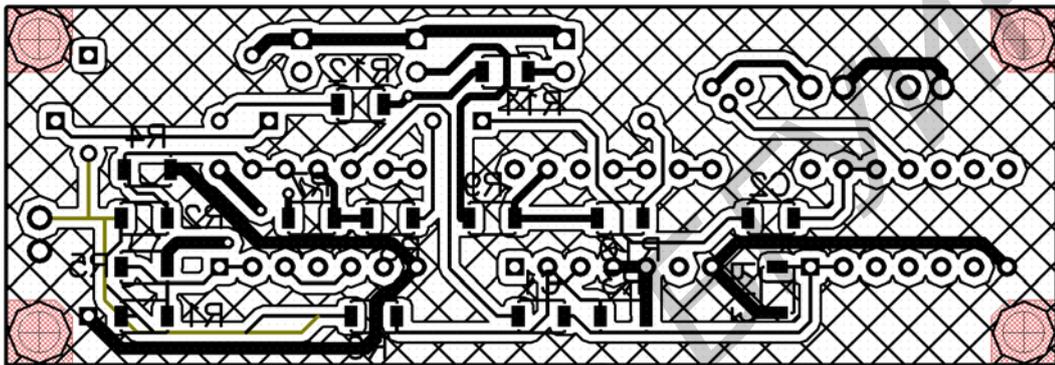
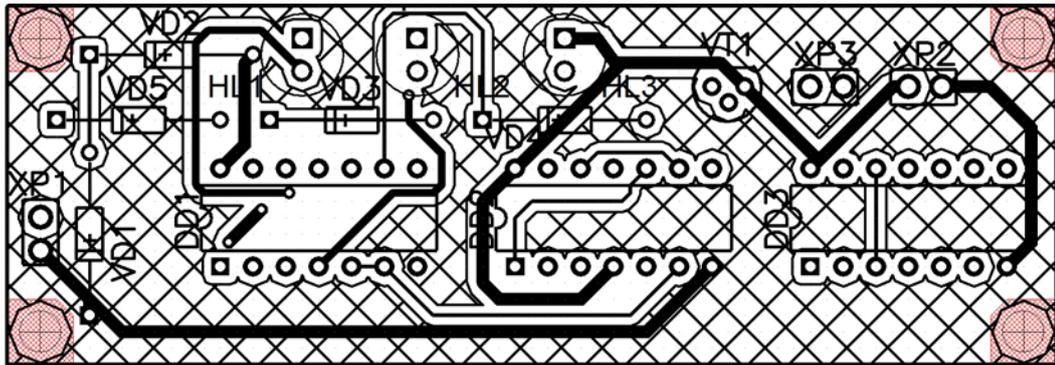


Рисунок 3.19

Проверим печатную плату на наличие неразведенных цепей и на соблюдение зазоров с помощью утилиты DRC.

DRC Report Options:

Net List Compare: Off
Clearance Violations: On
Text Violations: Off
Net List Violations: Off
Unrouted Nets: On
Unconnected Pins: Off
Net Length Violations: Off
Silk Violations: Off
Copper Pour Violations: On
Plane Violations: Off
Component Violations: Off
Drill Violations: On
Test Point Violations: Off

DRC Errors:

CLEARANCE VIOLATIONS:

Error 1 -- Clearance Violation between:

- * *Pad VT1-3 at (60.025, 48.800) mm [Top layer]*
- * *Pad VT1-2 at (58.775, 47.550) mm [Top layer]*
- * *Calculated Clearance: 0.268mm.*
- * *Rule: Layer{Top}.PadToPadClearance=0.300mm*

COPPER POUR VIOLATIONS:

Error 5 -- Clearance Violation between:

- * *Copper Pour at (3.750, 55.000),(3.750, 27.500),(83.750, 27.500),...mm [Top layer]*
- * *Polygon Keepout at (3.750, 55.000):(3.750, 50.000) mm [All layer]*
- * *Calculated Clearance: 0.000mm.*
- * *Rule:*

Обнаруженные нарушения зазоров (менее 0,3 мм) не превышают граничное значение для третьего класса точности (0,25 мм), а пересечение полигонов с барьерами можно не считать ошибкой.

3.8 Раздел «Получение графической документации» должен содержать описание конкретных действий по созданию в чертежах необходимых изображений с требуемыми масштабами и текстовых объектов.

В графическую часть проекта входят:

- а) чертеж схемы электрической принципиальной;
- б) чертеж печатной платы;
- в) сборочный чертеж печатной платы.

Для электрической схемы необходимо составить перечень элементов, а для сборочного чертежа печатной платы – спецификацию.

Чертеж печатной платы следует выполнять согласно ГОСТ 2.417 и ГОСТ 2.123 (при автоматизированном проектировании).

Указания о маркировании и клеймении изделия должны соответствовать ГОСТ 2.314.

Информация, отсутствующая на изображении печатной платы, но необходимая для ее изготовления, должна содержаться в документах, ссылки на которые приводятся в технических требованиях.

При составлении технических требований на чертежах печатных плат следует придерживаться последовательности, предусмотренной ГОСТ 2.316.

В данном разделе необходимо отразить процесс получения документации средствами САПР P-CAD и AutoCAD. При этом для полного соответствия полученных графических материалов требованиям стандартов основную работу по оформлению чертежей приходится делать в САПР AutoCAD. Больше внимание следует уделить получению изображения печатной платы. Графические материалы представляются в приложении, их формат указывается в задании на проектирование.

Согласно ГОСТ 2.123 в комплект конструкторских документов входит ведомость документов на носителях данных. Перечисленные в ней документы служат для передачи информации о результатах проектирования в систему автоматизированного изготовления печатной платы. При невозможности реализации электронной цифровой подписи выпускается информационно-удостоверяющий лист. Носитель, содержащий перечисленные в ведомости документы, сопровождается этикеткой, в которой указываются сведения об изделии, т. е. о печатной плате и идентификатор носителя.

Пример. Начиная проектирование схемы, мы уже подразумевали, что схема представляет собой графический документ и выбирали размеры листа в соответствии с форматами. Поэтому чертеж схемы электрической принципиальной можно получить непосредственно из схемного редактора. Для этого в редакторе нарисуем рамку чертежа и основную надпись (предпочтительнее создать форматку и подключить ее к схеме).

Для оформления чертежа печатной платы и сборочного чертежа экспортируем информацию о плате в САПР AutoCAD (*File/Export/DXF*). При этом выделяем нужные слои и устанавливаем экспорт символов сверления с размером 1 (на самом деле это масштаб блоков символов сверления в AutoCAD). Далее по команде *Setup* устанавливаем соответствие диаметров отверстий и символов сверления (рисунок 3.20).

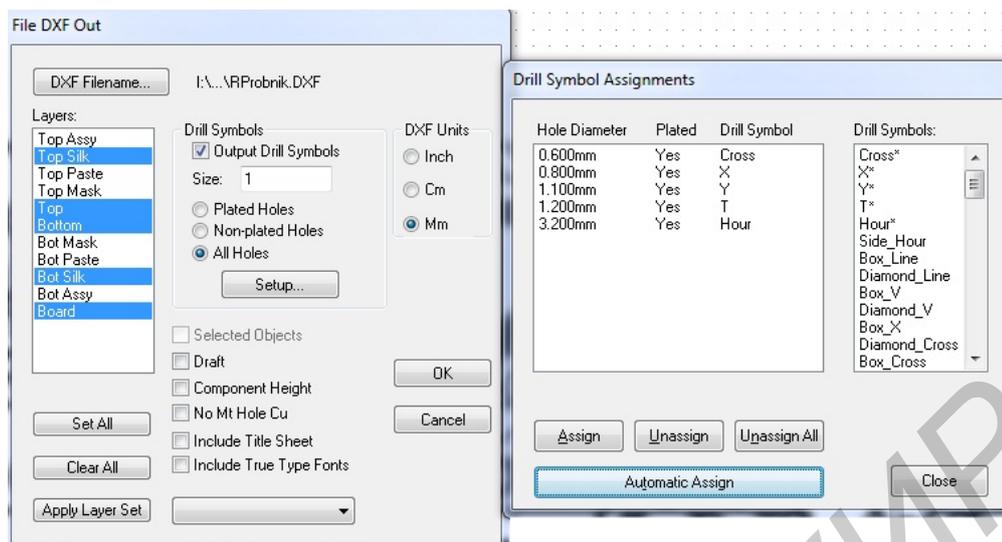


Рисунок 3.20

Открываем файл *RProbnik.DXF* в AutoCAD. Чтобы увидеть экспортированную информацию, выполним команду Вид/Зуммирование/Границы (рисунок 3.21).

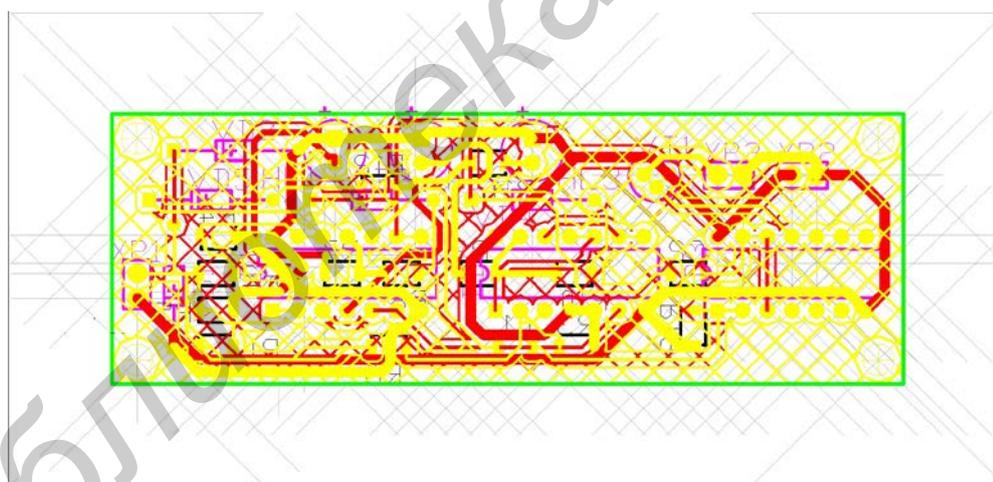


Рисунок 3.21

Компоненты в AutoCAD экспортируются в виде блоков, поэтому для выделения объектов на отдельных слоях (например, проводники и контактные площадки на слое *top*) разбиваем (командой Расчлнить) блоки компонентов на составные части, а потом и блоки контактных площадок, которые входили в блоки компонентов. После этого с помощью Быстрого выбора выделяем объекты нужного слоя и переносим их в новое место. Изображение слоя *Bottom* отражаем зеркально относительно выбранной оси в соответствии с расположением

ем проекций платы на чертеже. Также действуем и при формировании видов печатной платы для сборочного чертежа (рисунок 3.22).

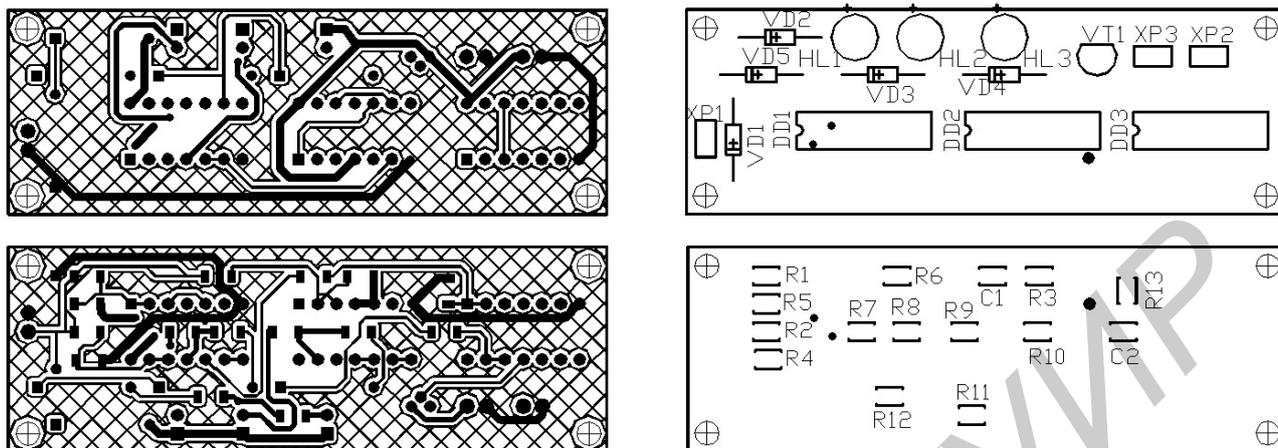


Рисунок 3.22

На слой *DRILL_LAYER* экспортированы символы сверления в виде блоков с именами *X*, *Y*, *T*, *HOUR*, *CROSS*, которые соответствуют диаметрам отверстий в плате. Чтобы обозначить отверстия рекомендуемыми обозначениями, переопределим блоки. Для этого нарисуем окружность и заштрихуем ее половину. Затем создадим блок с существующим именем *X*, содержащий изображение этой окружности со штриховкой. Все блоки с именем *X* поменяют свой вид. Также поступаем и с остальными блоками символов сверления (рисунок 3.23).

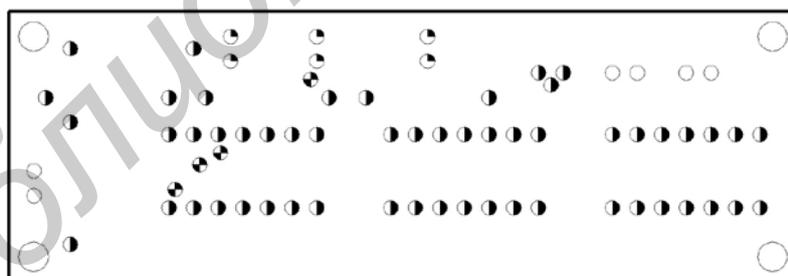


Рисунок 3.23

Полученные виды объектов печатной платы можно использовать для оформления документации.

Примерный вид графических материалов курсового проекта приведен в приложениях:

- чертеж печатной платы – в приложении Г;

- сборочный чертеж пробника – в приложении Д;
- спецификация пробника – в приложении Е;
- ведомость документов на носителях данных – в приложении Ж.

Один из вариантов технических требований для чертежа печатной платы приведен ниже.

1. *Размер для справок.
2. Плату изготовить комбинированным позитивным методом.
3. Печатная плата должна соответствовать ГОСТ 23752–79, группа жесткости 3.
4. Класс точности 3 по ГОСТ 23751–86.
5. Шаг координатной сетки 1,25 мм по ГОСТ 10317–71. Линии сетки нанесены через одну.
4. Проводящие слои выполнить согласно ГУИР.758722.001 Т1М, ГУИР.758722.001 Т1.1М.
5. Защитные маски выполнить согласно ГУИР.758722.001 Т1.2М, ГУИР.758722.001 Т1.3М.
6. Отверстия выполнить согласно ГУИР.758722.001 Т2М.
7. Шелкографию выполнить согласно ГУИР.758722.001 Т1.4М, ГУИР.758722.001 Т1.5М.

3.9 В разделе «Построение трехмерной модели печатной платы» необходимо представить сведения о процессе передачи данных из системы электронного проектирования в механическую САПР. Полученная трехмерная модель печатной платы может быть использована при компоновке проектируемого прибора. В настоящее время на печатных платах размещаются органы управления и индикации, внешние коммутирующие элементы, широко применяются межплатные соединения. Поэтому добиться правильного взаимного положения всех элементов конструкции гораздо проще, используя преимущества автоматизированного проектирования, в частности, имея трехмерную модель печатной платы.

Для этой цели в САПР SolidWorks служит модуль *CircuitWorks*. Добавить его к числу действующих модулей можно через Инструменты/Добавления (рисунок 3.24).

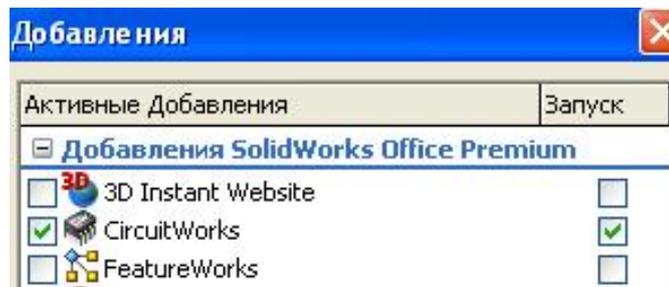


Рисунок 3.24.

Передача данных о печатной плате из редактора печатных плат PCB в САПР SolidWorks осуществляется через формат *IDF*.

Пример. Экпортируем формат *IDF* из редактора печатных плат. При этом формируются два файла: *RProbnik.pro* и *RProbnik.brd*. Файл *RProbnik.brd* содержит информацию о физическом размере и форме печатной платы (включая отверстия и вырезы), а также о местоположениях компонентов. Файл *RProbnik.pro* содержит информацию о размере и форме каждого компонента. Формат *IDF* версии 4.0 использует один файл с расширением *.idf*.

Откроем *IDF* формат в *CircuitWorks* (*CircuitWorks/Открыть файл ECAD*) (рисунок 3.25).

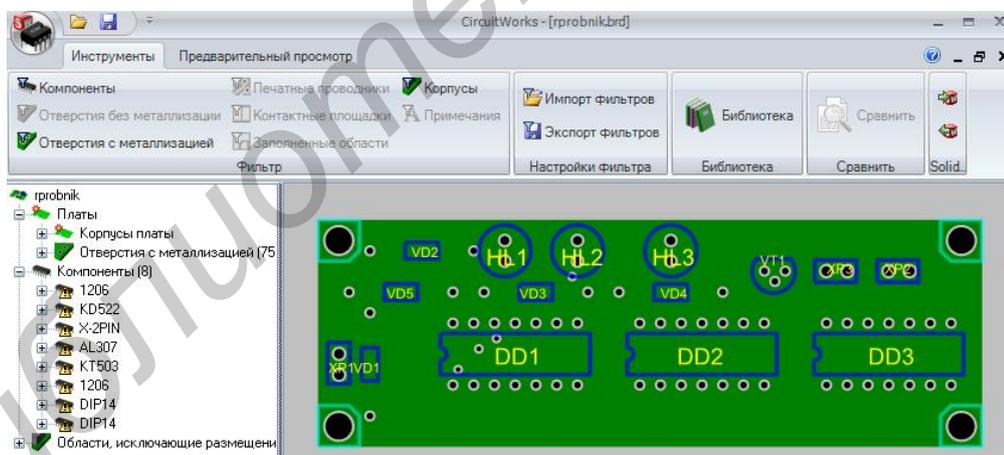


Рисунок 3.25

Слева в окне *CircuitWorks* отображается структура данных печатной платы в виде дерева. Группам компонентов можно назначить высоту через их свойства. Тогда при построении трехмерной модели платы эти компоненты приобретут вид объемной детали заданной высоты в сборке платы. Компонен-

ты с незаданной высотой также будут присутствовать в сборке, но они будут содержать только эскиз корпуса (рисунок 3.26)

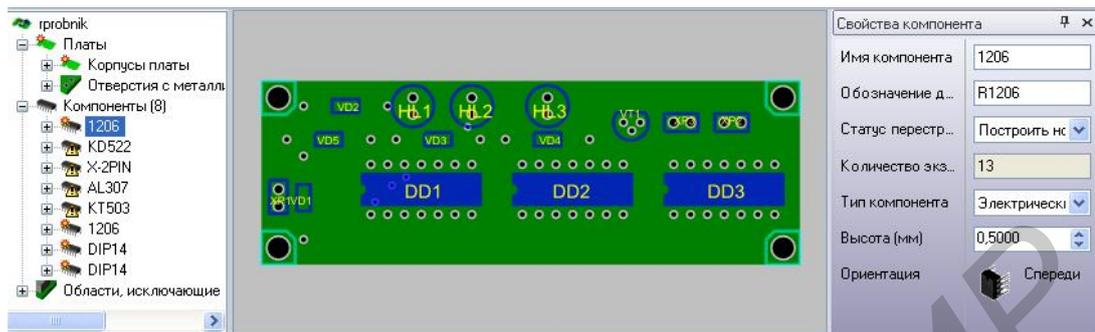


Рисунок 3.26

Выполним команду «Построение модели». В окне внизу появляются сообщения о ходе процесса построения модели и его завершении. Чтобы увидеть результат, переключаемся в SolidWorks (рисунок 3.27).

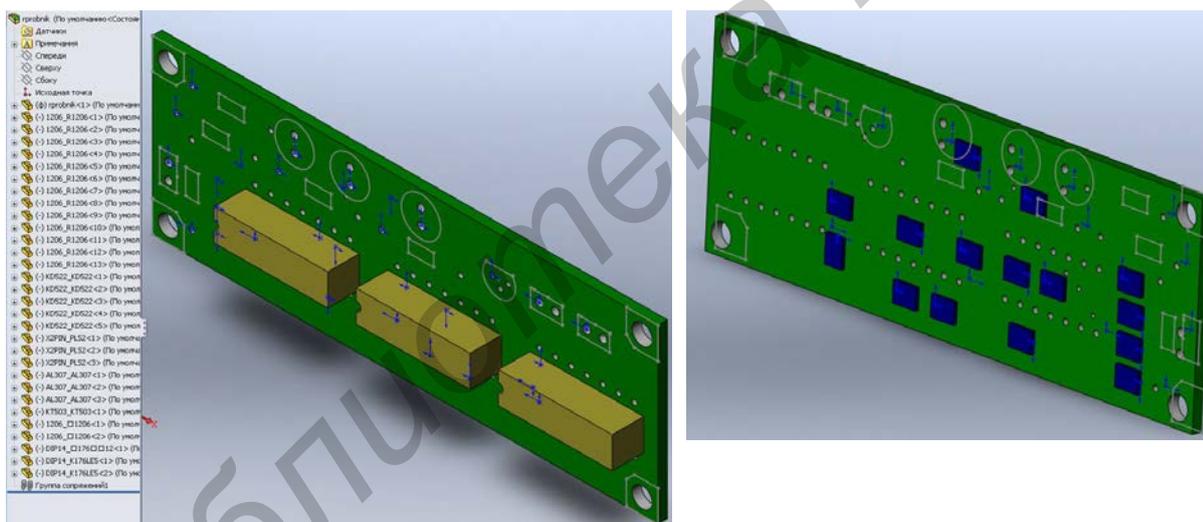


Рисунок 3.27

Результат представляет собой сборку, компоненты которой можно редактировать, т. е., открыв, например, деталь *X2PIN_PLS2* в отдельном окне, мы увидим только эскиз (прямоугольник) с именем *Component_Outline*. Выберем эскиз в дереве проектирования, через контекстное меню войдем в режим его редактирования и добавим в него размеры и взаимосвязи. Вытянем этот эскиз на высоту 2,5 мм (Бобышка/Вытянуть). На нижней плоскости бобышки откроем эскиз и нарисуем в нем два квадрата со стороной 0,64 мм для создания выводов.

Вытянем этот эскиз в двух направлениях на 3 мм и 8,5 мм. Добавим фаски на концы выводов и зададим цвет элементам модели. Сохраним модель и перейдем к сборке платы. Модель разъема из эскиза превратится в реальный вид (рисунок 3.28).

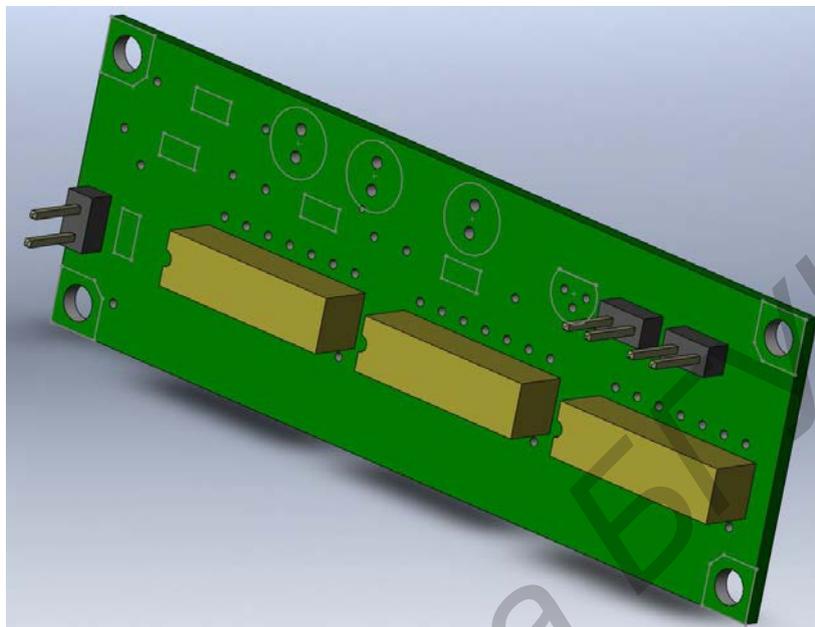


Рисунок 3.28

Таким же образом можно отредактировать и остальные элементы (рисунок 3.29).

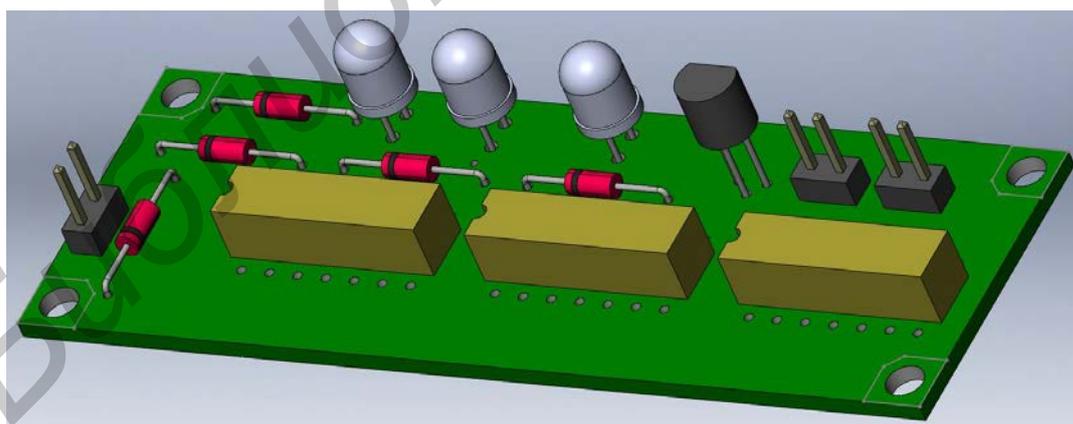


Рисунок 3.29

3.10 Заключение должно содержать анализ этапов разработки печатной платы в P-CAD, анализ причин возникновения ошибок при проектировании, выводы о преимуществах автоматизированного проектирования печатных плат.

Здесь же приводятся конкретные результаты проектирования, количественные показатели параметров печатной платы, которые можно получить из отчетов и общих статистических данных по печатной плате, а также, воспользовавшись возможностями предварительной оценки платы средствами авто-трассировщиков.

3.11 В списке литературы приводятся источники, действительно использовавшиеся при выполнении курсового проекта. При этом желательно в тексте пояснительной записки указывать текущие ссылки на источники при рассмотрении конкретных вопросов.

Поскольку выполнение проекта полностью проводится с помощью САПР P-CAD, AutoCAD и SolidWorks, вместе с готовой пояснительной запиской необходимо представить и электронный вариант работы: файл электрической схемы и файл печатной платы, документацию в AutoCAD и трехмерную модель печатной платы с моделями элементов в SolidWorks.

Пояснительная записка заканчивается ведомостью курсового проекта, содержащей перечень материалов проекта (приложение И).

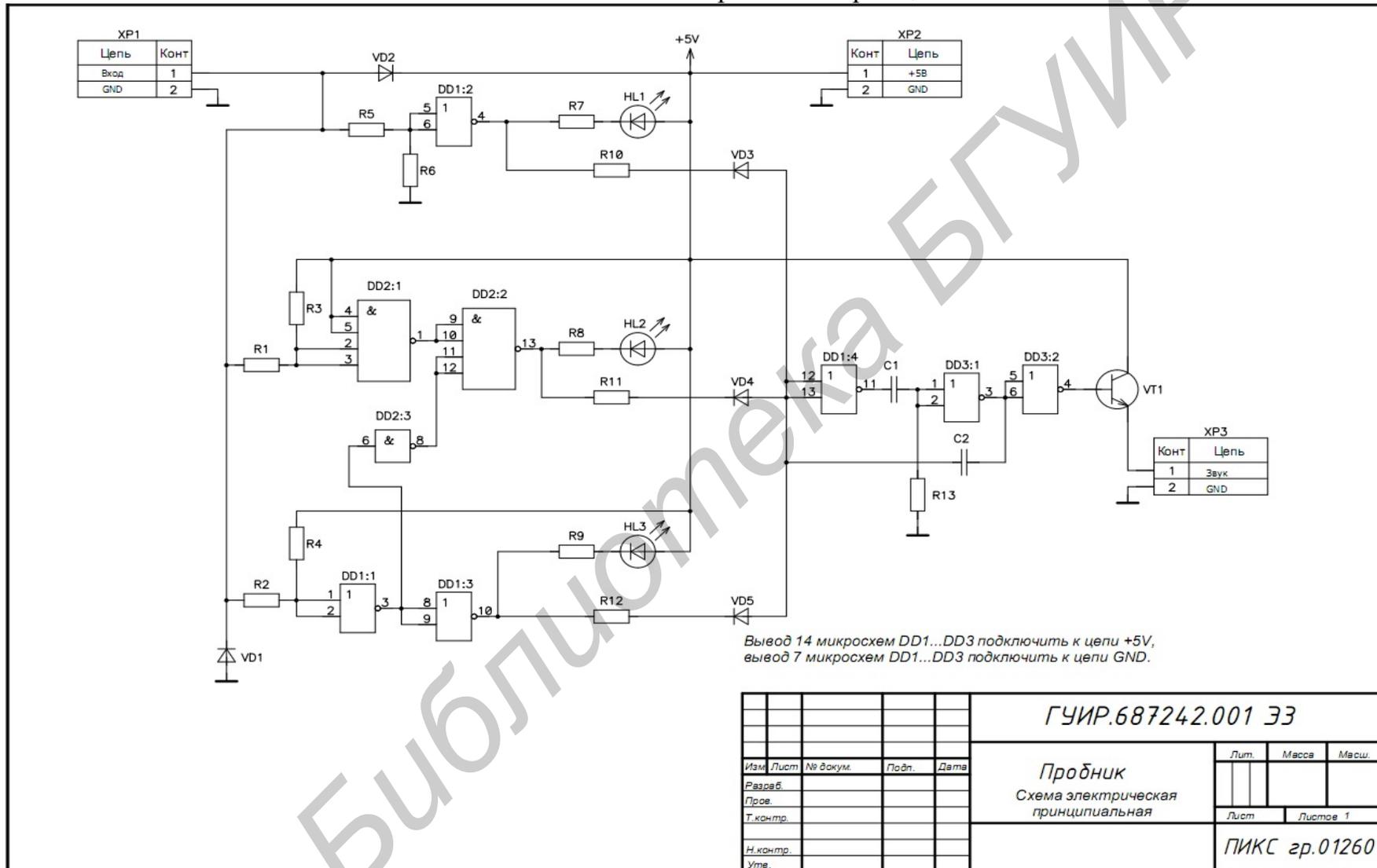
ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Условные графические обозначения элементов

<p>Резистор постоянный</p>	<p>Резистор постоянный</p>	<p>Резистор переменный</p>	<p>Резистор переменный двоянный</p>	<p>Резистор переменный с замыкающим контактом</p>	<p>Резистор подстроечный</p>
<p>Резисторы нелинейные: терморезистор и варистор</p>	<p>Конденсатор постоянной емкости</p>	<p>Конденсаторы окисленные полярный и неполярный</p>	<p>Конденсатор подстроечный</p>	<p>Конденсатор переменной емкости (КПЕ)</p>	<p>Сдвоенный блок КПЕ</p>
<p>Конденсаторы проходной и опорной</p>	<p>Катушка индуктивности, дроссель (L3 – с отводами)</p>	<p>Катушка, дроссель с магнитопроводом (L7 – с медным)</p>	<p>Трансформатор с тремя обмотками и электроста- тическим экраном</p>	<p>Диод, диодный мост</p>	<p>Стабилитрон (VD8 – двуханодный)</p>
<p>Диод Шоттки (VD9), ограничительный (VD10), варикап (VD11)</p>	<p>Варикапная матрица</p>	<p>Динистор (VS1), триностор (VS2, VS3), симистор (VS4)</p>	<p>Транзистор p-n-p</p>	<p>Транзистор n-p-n</p>	<p>Транзистор однопереходный</p>
<p>Транзистор полевой с p-каналом</p>	<p>Транзистор полевой с изолированным затвором и p-каналом</p>	<p>Транзистор полевой с двумя изолированными затворами и n-каналом</p>	<p>Фоторезистор</p>	<p>Фото- и светодиод</p>	<p>Фототранзистор</p>
<p>Оптрон резисторный</p>	<p>Оптрон диодный</p>	<p>Оптрон тиристорный</p>	<p>Оптрон транзисторный</p>	<p>Триод</p>	<p>Двойной триод</p>
<p>Пентод</p>	<p>Контакт замыкающий (выключатель)</p>	<p>Контакт размыкающий</p>	<p>Контакт переключающий</p>	<p>Геркон</p>	<p>Переключатель 2ПЗН</p>
<p>Переключатель 6П1Н</p>	<p>Переключатель 3П2Н (среднее положение – нейтральное)</p>	<p>Выключатель и переключатель кнопочные (с самовозвратом)</p>	<p>Выключатель и переключатель кнопочные с возвратом в иск. положение повторным нажатием</p>	<p>Штырь и гнездо разъема соединителя (XW1 – XW4 – коаксиального)</p>	<p>Вилка и розетка разъемного соединителя</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)
Схема электрическая принципиальная



ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)
Перечень элементов

Поз. обозначение	Наименование	Кол	Примечание			
	<i>Конденсаторы</i>					
C1,C2	X7R 1206-16B-0,047 мкФ±10%	2				
	<i>Микросхемы бк0.348.047 ТУ</i>					
DD1	K176/Е5	1				
DD2	K176/ЛП12	1				
DD3	K176/Е5	1				
HL1...HL3	Светодиод АЛ307 аА0.336.076 ТУ	3				
	<i>Резисторы</i>					
R1	1206 12 кОм±5 %	1				
R2	1206 7,5 кОм±5 %	1				
R3	1206 43 кОм±5 %	1				
R4	1206 36 кОм±5 %	1				
R5	1206 12 кОм±5 %	1				
R6	1206 20 кОм±5 %	1				
R7...R9	1206 910 Ом±5 %	3				
R10...R12	1206 5,1 кОм±5 %	3				
R13	1206 2,4 кОм±5 %	1				
ГУИР.687242.001 ПЭЭ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.			
Дата						
Разраб.	Пробник Перечень элементов			Лит.	Лист	Листов
Пров.					1	2
Т.контр.						
Н.контр.						
Утв.						

Поз. обозначение	Наименование	Кол	Примечание
VD1...VD5	Диод КД522 ТТЗ.362.068ТУ	5	
VT1	Транзистор КТ503 аАО. 336.183 ТУ	1	
XP1...XP3	Разъем PLS-2	3	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.
			Лист
			2

ГУИР.687242.001 ПЭЭ

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)
Чертеж печатной платы

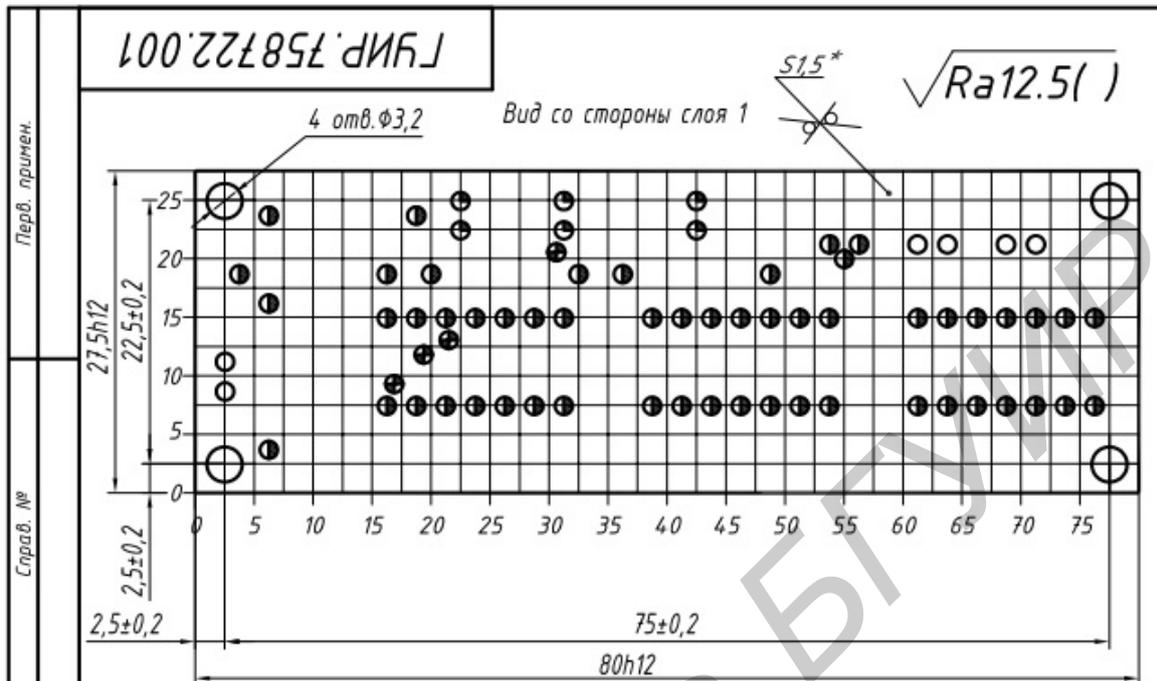


Таблица 1

Условное обозначение	Диаметр отверстия, мм	Размер контактной площадки, мм	Шероховатость поверхности отверстия	Кол.	Наличие металлизации
⊕	0.6	1.0	6.3	4	Есть
⊙	0.8	1.6		55	
⊖	1.1	1.65		6	
○	1.2	2.0		6	

- *Размер для справок.
- Плату изготовить комбинированным позитивным методом.
- Печатная плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79, группа жесткости 3.
- Класс точности 4 по ГОСТ 23751-86.
- Шаг координатной сетки 1,25 мм по ГОСТ 10317-71. Линии сетки нанесены через одну.
- Проводящие слои выполнить согласно ГУИР.758722.001 Т1М, ГУИР.758722.001 Т1.1М.
- Защитные маски выполнить согласно ГУИР.758722.001 Т1.2М и ГУИР.758722.001 Т1.3М.
- Отверстия выполнить согласно ГУИР.758722.001 Т2М.
- Шелкографию выполнить согласно ГУИР.758722.001 Т1.4М, ГУИР.758722.001 Т1.5М.

				ГУИР.758722.001			
				Плата печатная			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.						20г	2:1
Пров.					Лист 1	Листов 2	
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.							
				Стеклотекстолит фольгированный СФ-2-35-1.5 ГОСТ 10316-78			

Копировал

Формат

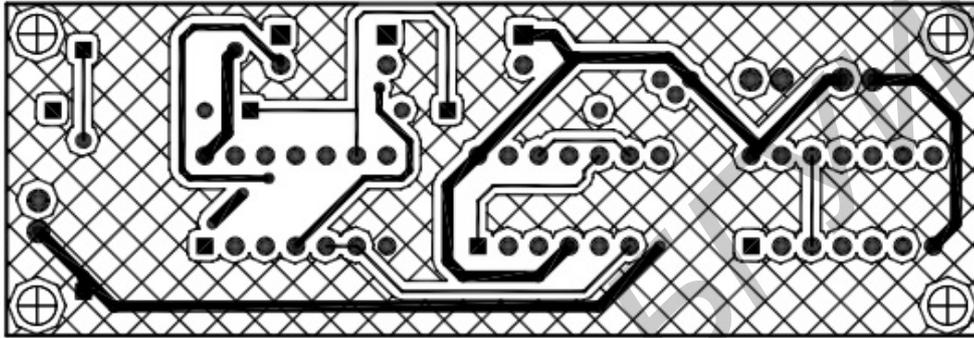
A4

ГЧИР.758722.001

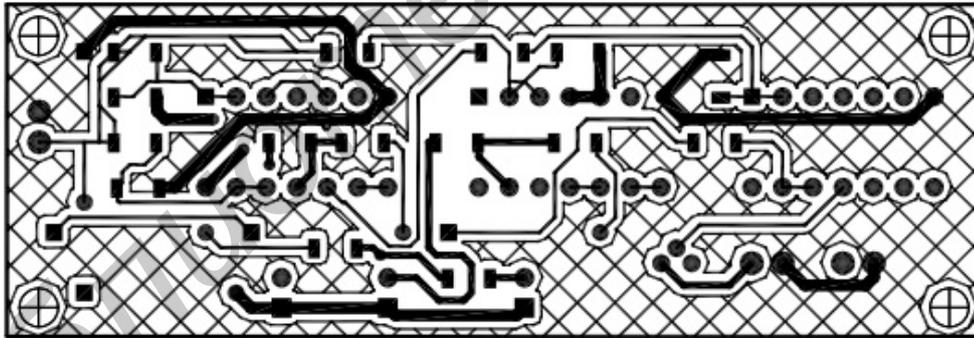
Перв. примен.

Справ. №

Проводящий рисунок (слой 1)



Проводящий рисунок (слой 2)



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ГЧИР.758722.001

Лист

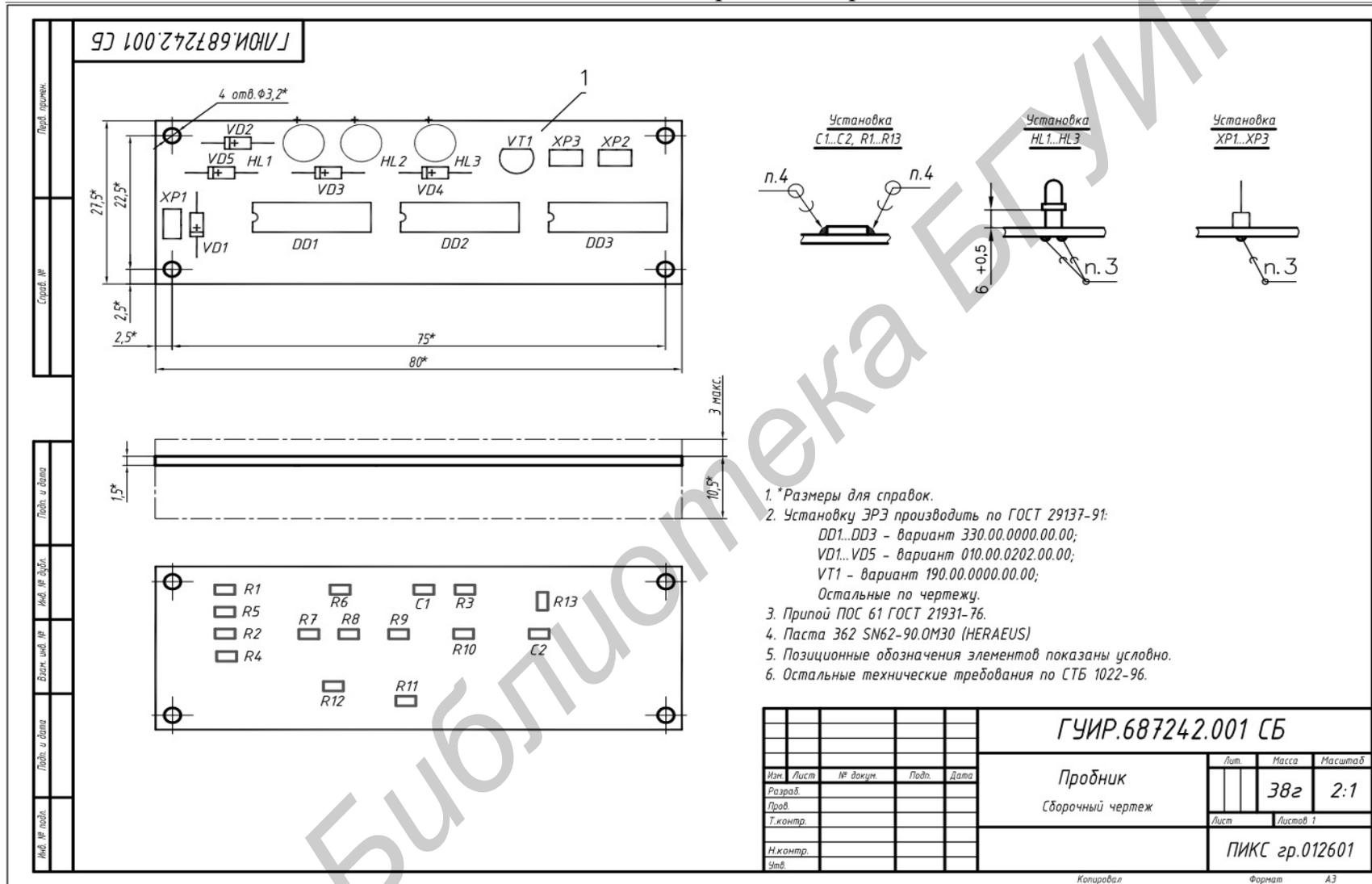
2

Копировал

Формат

A4

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(справочное)
Сборочный чертёж



ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(справочное)
Спецификация

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A3			ГЛЮИ.687252.601 СБ	Сборочный чертеж	1	
A3			ГЛЮИ.687252.601 ЭЭ	Схема электрическая принципиальная	1	
A4			ГЛЮИ.687252.601 ПЭЭ	Перечень элементов	1	
A4			ГУИР.758722.001 ВН	Плата печатная	1	
				Ведомость документов на носителях данных		
				<u>Детали</u>		
A4		1	ГУИР.758722.001	Плата печатная	1	
				<u>Прочие изделия</u>		
		2		Диод КД522 ТТ3.362.068ТУ	5	VD1... VD5
				Конденсаторы		
		5		X7R 1206-16В-0,047 мкФ±10%	2	C1, C2
			ГУИР.687242.001			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.					Лит.	Лист
Пров.					Т	1
Т. Контр.						2
Н. Контр.						
Утв.						
Пробник						

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Положение об организации и проведении курсового проектирования в БГУИР. – Минск : БГУИР, 2010.
- 2 Сабунин, А. Е. Новые решения в проектировании электронных устройств / А. Е. Сабунин. – М. : Солон-Р, 2009. – 432 с.
- 3 Суходольский, В. Ю. Altium Designer: проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах / В. Ю. Суходольский. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 480 с.
- 4 Лопаткин, А. В. P-CAD2004 / А. В. Лопаткин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
- 5 Разевиг, В. Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001 / В. Д. Разевиг. – М. : Солон-Р, 2001. – 560 с.
- 6 Финкельштейн, Э. AutoCAD 2004. Библия пользователя (+ CD-ROM) / Э. Финкельштейн. – М. : Диалектика, 2004. – 1184 с.
- 7 Тику, Ш. Эффективная работа: SolidWorks 2005 / Ш. Тику. – СПб. : Питер, 2006. – 816 с.
- 8 ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия.
- 9 Уваров, А. P-CAD 2000, ACEEL EDA. Конструирование печатных плат: учебный курс / А. Уваров. – СПб. : Питер, 2001. – 320 с.
- 10 Ёлшин, Ю. М. Справочное руководство по работе с подсистемой SPECSTRA в P-CAD 2000 / Ю. М. Ёлшин. – М. : Солон-Р, 2002. – 272 с.
- 11 Саврушев, Э. P-CAD для Windows. Система проектирования печатных плат / Э. Саврушев. – М. : Эком, 2002. – 320 с.
- 12 Системы автоматизированного проектирования в радиоэлектронике: справочник / под ред. И. П. Норенкова. – М. : Радио и связь, 1986. – 386 с.
- 13 Норенков, И. П. Системы автоматизированного проектирования электронной и вычислительной аппаратуры / И. П. Норенков, В. Б. Маничев. – М. : Высш. шк., 1983. – 272 с.
- 14 Уваров, А. AutoCAD 2002 для конструкторов / А. Уваров. – СПб. : Питер, 2002. – 320 с.
- 15 Мюррей, Д. SolidWorks 2003 / Д. Мюррей. – М. : Лори, 2005. – 712 с.

- 16 Стешенко, В. Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат / В. Б. Стешенко. – М. : Нолидж, 2003. – 720 с.
- 17 Стешенко, В. Б. EDA. Практика автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств / В. Б. Стешенко. – М. : Нолидж, 2002. – 768 с.
- 18 ГОСТ 29137–91. Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования.
- 19 ГОСТ 23751–86. Платы печатные. Основные параметры конструкций.
- 20 ГОСТ 23752–79. Платы печатные. Общие технические условия.
- 21 СТБ 1014-95. Изделия машиностроения. Детали. Общие технические условия.
- 22 СТБ 1022–96. Изделия машиностроения. Сборочные единицы. Общие технические условия.

Библиотека БГУИР

Учебное издание

**Колбун Виктор Сильвестрович
Галузо Валерий Евгеньевич**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

ПОСОБИЕ

Редактор *Е. Н. Батурчик*
Корректор *Е. И. Герман*
Компьютерная правка, оригинал-макет *В. М. Задоя*

Подписано в печать 14.01.2016. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс»
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 3,0. Тираж 100 экз. Заказ 76.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
ЛП №02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6