

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

Кафедра радиоэлектронных средств

***СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС***

Методические указания
для студентов специальности
«Моделирование и компьютерное проектирование
радиоэлектронных средств»
заочной формы обучения

Минск 2008

УДК 621.396.6 (075.8)

ББК 32.844 я 73

С 34

Системы автоматизированного проектирования РЭС : метод. указания
С 34 для студ. спец. «Моделирование и компьютерное проектирование
радиоэлектронных средств» заоч. формы обуч. / сост. В. С. Колбун, В. И.
Журавлёв,
В. Е. Галузо. – Минск : БГУИР, 2008. – 39 с. : ил.

ISBN 978-985-488-146-1

В работе приводятся содержание дисциплины, методические указания к изучению учебного материала по каждому разделу, описание контрольной работы и методические указания к её выполнению, а также требования к выполнению курсовой работы.

УДК 621.396.6 (075.8)

ББК 32.844 я 73

ISBN 978-985-488-146-1

© Колбун В. С., Журавлёв В. И., Галузо В. Е.,
составление, 2008

© УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| Введение | 4 |
| 1. Содержание дисциплины, методические указания..... | 5 |
| <i>Раздел 1. Общие вопросы и основные принципы автоматизации проектирования печатных плат.....</i> | <i>5</i> |
| <i>Раздел 2. Система автоматизированного проектирования печатных плат P-CAD.....</i> | <i>5</i> |
| <i>Раздел 3. Библиотечные элементы и работа с библиотеками</i> | <i>6</i> |
| <i>Раздел 4. Проектирование электрической схемы</i> | <i>7</i> |
| <i>Раздел 5. Проектирование печатной платы.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Раздел 6. Подготовка производства печатной платы и обмен данными с другими САПР.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Раздел 7. Новые программные продукты для автоматизированного проектирования печатных плат.....</i> | <i>10</i> |
| <i>Раздел 8. Общие вопросы автоматизации проектирования конструкций РЭС</i> | <i>11</i> |
| <i>Раздел 9. Использование графического редактора AutoCAD при проектировании конструкций РЭС</i> | <i>12</i> |
| <i>Раздел 10. Пространственное моделирование конструкций.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Раздел 11. Параметрические возможности современных САПР.....</i> | <i>17</i> |
| <i>Раздел 12. Использование моделей при анализе конструкций с помощью САПР.....</i> | <i>20</i> |
| 2. Перечень практических занятий | 21 |
| 3. Перечень лабораторных работ | 21 |
| 4. Контрольная работа | 21 |
| 5. Курсовая работа | 23 |
| Литература..... | 30 |
| Приложение 1..... | 31 |
| Приложение 2..... | 35 |

ВВЕДЕНИЕ

Учебная дисциплина «Системы автоматизированного проектирования РЭС» изучается студентами специальности «Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств» в течение двух семестров. Учебным планом специальности предусмотрены аудиторные занятия в виде лекций, лабораторных работ и практических занятий, а также выполнение курсовой и контрольной работ.

Целью изучения дисциплины 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 результате изучения дисциплины студент должен знать:

- характеристики современных систем автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств;
- методику проектирования электрических схем и печатных плат с помощью систем автоматизированного проектирования;
- алгоритмы размещения и трассировки печатных плат, используемые в современных САПР;
- методы проектирования конструкций с использованием двумерного и пространственного проектирования.

Пройдя подготовку по дисциплине, студент должен уметь:

- проектировать электрические схемы и печатные платы с помощью САПР;
- задавать параметрические описания элементов деталей и конструкций;
- оформлять документацию средствами плоскостного черчения;
- использовать языки программирования для расширения возможностей САПР и организации диалога с пользователем.

Данная дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении основ алгоритмизации и программирования, теоретических основ САПР, электрорадиоэлементов и устройств функциональной электроники, геометрического моделирования в САПР, конструирования радиоэлектронных средств.

Данные методические указания разработаны для студентов специальности «Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств» заочной формы обучения, однако могут быть полезны и для смежных специальностей.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Раздел 1. Общие вопросы и основные принципы автоматизации проектирования печатных плат

Основные принципы проектирования печатных плат. Общие рекомендации по конструированию токопроводящего рисунка печатной платы. Особенности проектирования многослойных печатных плат. Способы изготовления печатных плат. Терминология.

Общая характеристика прикладного программного обеспечения САПР. Обзор программных средств, используемых для решения вспомогательных задач при автоматизированном проектировании.

[1, с. 6–35; 2, с. 16–39].

Методические указания

При изучении вводной темы важно уяснить, что конкретно понимается под каждым определением, что означает конкретный термин в области проектирования печатных плат.

Параметры токопроводящего рисунка определяются с учётом класса точности печатной платы. При этом надо иметь в виду, что ширину проводников, зазоры между ними и размеры контактных площадок также надо согласовывать с возможными сетками автотрассировки. К этому вопросу следует еще раз вернуться на этапе работы с автотрассировщиками.

При ознакомлении с проектированием многослойных печатных плат предлагается обратить внимание на тот факт, что подключение выводов к внутренним слоям печатной платы в случае сигнальных цепей происходит как и на наружных слоях. Подключение же выводов к внутренним слоям питания, которые представляют собой сплошные области металлизации, может осуществляться как непосредственно, так и с помощью т. н. «тепловых барьеров». Контактные площадки в многослойных печатных платах могут быть разными на разных слоях, что обуславливает в дальнейшем разницу между простыми и сложными стилями площадок.

Раздел 2. Система автоматизированного проектирования печатных плат P-CAD

Система автоматизированного проектирования печатных плат P-CAD. Назначение и основные характеристики системы. Состав программного обеспечения системы P-CAD. Организация работы с САПР P-CAD. Укрупненный алгоритм проектирования печатной платы. Расширения имен файлов в системе P-CAD. Единицы измерения и размеры чертежа.

[3, с. 5–12; 4, с. 10–28; 5].

Методические указания

Изучая данный раздел, необходимо чётко представить работу над печатной платой как сквозной процесс проектирования, начиная с электрической схемы и заканчивая подготовкой производства и получением документации. Необходимо также уяснить, что единицы измерения в редакторах схемы и платы можно менять на любой стадии проекта без потери точности.

Раздел 3. Библиотечные элементы и работа с библиотеками

Структура библиотек P-CAD. Редактор символов Symbol Editor. Интерфейс пользователя. Управление изображением. Выбор объектов, редактирование объектов. Создание и редактирование символов. Свойства выводов элементов.

Создание корпусов Pattern Editor. Установка структуры слоёв печатной платы, понятие парности слоёв. Стеки контактных площадок и переходных отверстий. Простые и сложные стеки контактных площадок. Сквозные и несквозные переходные отверстия.

Создание компонента в Library Executive. Таблица выводов компонента. Скрытые и общие выводы. Создание компонента с неоднородными секциями. [3, с. 383–437; 4, с. 149–171; 6–10].

Методические указания

При изучении данного раздела важно запомнить, что и в схеме, и на плате используются компоненты: в схеме в виде символа, а на печатной плате в виде корпуса (посадочного места). Сам же компонент включает символ, корпус (посадочное место) и таблицу выводов, которая показывает привязку выводов символа (или нескольких символов) к выводам корпуса. Следует тщательно разобраться с тем, какая информация отображается в каждом столбце таблицы выводов. Сложности при изучении процесса создания библиотек обычно вызывают компоненты с общими выводами и неоднородные компоненты. Важно разобраться также с подключением питания к выводам микросхем, которые не показываются на электрической схеме, а присутствуют в таблице выводов и характеризуются как скрытые.

Некоторые компоненты могут иметь в своем составе только символ или корпус. Это обозначения подключения цепей на схеме (например питания) и крепежные отверстия на плате.

Важным элементом конструкции печатной платы являются контактные площадки. В САПР P-CAD параметры контактных площадок и переходных

отверстий описываются при создании соответствующих стилей. При необходимости параметры контактных площадок можно описать отдельно для каждого слоя, тогда площадку нужно определять как сложную (Complex).

Раздел 4. Проектирование электрической схемы

Настройка конфигурации редактора. Единицы измерения и размеры чертежа. Интерфейс пользователя. Управление изображением. Выбор объектов, редактирование объектов.

Проектирование электрической схемы. Размещение элементов на схеме. Ввод электрических цепей. Имена цепей. Применение шин в схеме. Глобальные цепи.

Позиционные обозначения, использование характеристик элементов для получения перечня элементов. Формирование и использование отчётов.

Оформление электрической схемы как конструкторского документа. Основная надпись, поля и работа с полями. Использование иерархических структур при проектировании электрических схем. Создание многостраничных проектов, соединители страниц. Проверка электрической схемы. Виды ошибок схемы и их уровень. Создание списка соединений схемы. Вывод схемы на печать.

[3, с. 15–37, 89–130; 4, с. 30–71; 6–10].

Методические указания

Процесс проектирования электрической схемы в схемном редакторе максимально приближен к традиционным действиям пользователя при рисовании схемы на листе. Однако важно помнить о некоторых особенностях. Имена цепей не должны повторяться, даже если цепи находятся в разных шинах. Если нужно некоторые цепи выделить среди остальных, то лучше их проименовать, чтобы потом легче было к ним обращаться. Цепи, которые на схеме изображены отдельными участками, называются глобальными. К ним относятся цепи питания, цепи, входящие в шины, цепи, расположенные на разных листах схемы. Имена таким цепям присваиваются с помощью специальных элементов, называемых портами. Если этого не сделано пользователем, редактор добавит порты автоматически.

При создании многостраничных проектов (схема на нескольких листах) продолжение цепей на другом листе обозначается с помощью соединителей страниц, позволяющих сразу переходить на нужный лист в место продолжения цепи.

Раздел 5. Проектирование печатной платы

Редактор печатных плат P-CAD PCB. Настройка конфигурации редактора. Единицы измерения и размеры чертежа. Установка структуры слоёв печатной платы, понятие парности слоёв.

Контур печатной платы. Упаковка схемы на печатную плату загрузкой списка связей. Упаковка с помощью текстового описания схемы.

Размещение компонентов на плате, ручное и интерактивное размещение, выравнивание компонентов. Оптимизация связей, режимы перестановки секций и выводов. Оценка качества размещения. Рекомендации по конструированию токопроводящего рисунка печатной платы. Задание правил проектирования печатной платы. Атрибуты цепей, разделение цепей на классы.

Ручная и интерактивная трассировка соединений. Сглаживание и выравнивание проводников. Прокладка шин на плате, одновременная прокладка нескольких трасс. Использование областей металлизации. Внутренние области металлизации, металлизированные области в сигнальных слоях. Вырезы и полигоны. Использование полигонов для соединения нескольких цепей.

Программа автоматической трассировки Quick Route. Стратегия трассировки, управление трассировщиком.

Бессеточный трассировщик Shape Based Router. Отличие бессеточных алгоритмов трассировки от сеточных. Рабочие файлы трассировщика. Установка параметров трассировки. Проходы трассировки. Атрибуты цепей. Ручная и интерактивная трассировка. Отчёты о ходе трассировки.

Внесение изменений в проект, прямая и обратная корректировка проекта, механизм ECO (Engineering Change Order).

Проверка печатной платы на связность и технологические ограничения. Корректировка топологии печатной платы. Получение чертежей печатной платы. Получение и использование текстовой документации.

[3, с. 163–382, 501–528; 4, с. 83–135, 182–197; 6–10].

Методические указания

Перед изучением данного раздела необходимо освежить знания о требованиях к характеристикам печатных плат нормативных документов.

Распространенной ошибкой на начальном этапе работы с печатной платой является невозможность правильной загрузки списка связей, полученного в схемном редакторе. Это чаще всего происходит из-за того, что к редактору печатных плат не подключены те библиотеки, которые использовались при создании электрической схемы.

В редакторе плат отсутствуют средства автоматического размещения, поэтому размещение проводят вручную. При этом следует максимально использовать визуальные средства (изображение компонентов, направление связей, их плотность и т.д.). Для количественной оценки качества размещения можно на время передать плату в автотрассировщик и там воспользоваться его средствами предварительной оценки. При использовании утилиты оптимизации

цепей путем перестановки эквивалентных секций и выводов нужно следить за степенью изменения длины связей и выбрать наилучший вариант.

Перед трассировкой печатной платы следует определить требования к печатным проводникам, которыми будут разводиться разные цепи. Если эти требования одинаковы для нескольких цепей, их целесообразно сгруппировать в классы, а требования описывать для классов. Важно уяснить, что правила проектирования имеют иерархическую структуру. Следует обратить внимание на то, что правила проектирования можно задавать уже на стадии работы с электрической схемой. Значительную часть времени нужно уделить освоению инструментов ручной трассировки, т.к. их результативность зависит от последовательности применения и опыта пользователя.

При использовании автотрассировщиков в первую очередь необходимо изучить их возможности по описанию правил проектирования. Следует также ознакомиться с теми алгоритмами (проходами), которые используются автотрассировщиками, чтобы дальше использовать их комплексно, поэтапно или в разных сочетаниях. Важно также изучить разницу между сеточными и бессеточными автотрассировщиками.

Полноценное использование преимуществ сквозного проектирования печатных плат возможно только на основе четкой организации работы с проектами. Пользователь сможет убедиться в этом при изучении возможностей автоматизированного внесения изменений в проект, когда изменения в схеме отражаются в печатной плате, и наоборот (т.н. прямая и обратная корректировка проекта).

Раздел 6. Подготовка производства печатной платы и обмен данными с другими САПР

Подготовка производства печатной платы. Фотоплоттеры и станки для сверления отверстий.

Текстовый формат описания баз данных электрических схем и печатных плат PDIF, его использование. Обмен данными с другими версиями САПР P-CAD. Передача информации в САПР AutoCAD.

[4, с. 75–80, 137–142, 339–354, 381–386].

Методические указания

Хотя разработчик непосредственно не занимается подготовкой производства печатной платы, общие сведения об этом этапе необходимы. При изучении этого вопроса следует ознакомиться с форматом файлов типа Gerber, который используется при изготовлении фотошаблонов.

Текстовые форматы описания файлов электрических схем и печатных плат традиционно использовались в различных версиях САПР P-CAD. Текстовый формат PDIF в настоящее время может использоваться для перехода

от самых ранних версий к современным, работающим под управлением Windows. Иногда его можно использовать для детального анализа файла, поиска специфических ошибок, для глобальной корректировки параметров проекта, например для изменения ширины проводников. Формат ASCII современных версий можно использовать для перехода от более поздних версий P-CAD к более ранним, хотя это и не предусмотрено его разработчиками. Необходимо отметить, что для этого нужно очень хорошо изучить не только описание самого формата ASCII, но и различия между файлами разных версий.

При передаче информации о схеме и печатной плате в САПР AutoCAD в дальнейшем следует обратить внимание на то, какие преобразования претерпевают объекты P-CAD. Свойства этих объектов необходимо анализировать исходя из возможного использования их информационной составляющей для выполнения графической документации. Для передачи данных при этом используется стандартный формат DXF.

Раздел 7. Новые программные продукты для автоматизированного проектирования печатных плат

Программа размещения компонентов и трассировки проводников SPECCTRA. Общие сведения о программе SPECCTRA. Обмен данными между графическим редактором печатных плат P-CAD PCB и SPECCTRA. Интерфейс программы. Режимы работы программы.

Размещение компонентов. Правила размещения компонентов. Иерархия правил размещения. Классификация и возможности группировки компонентов. Сценарий автоматического размещения. Интерактивное размещение компонентов.

Трассировка проводников. Правила трассировки проводников. Иерархия правил трассировки.

Этапы трассировки: предварительная трассировка, автотрассировка, обработка результатов автотрассировки. Команды автоматической трассировки: Bus, Fanout, Route, Clean. Интерактивная трассировка.

Моделирование электрической схемы. Подготовка схемы к моделированию. Типы компонентов. Атрибуты элементов, предназначенные для моделирования.

Анализ паразитных эффектов. Источники сигналов. Анализ переходных процессов. Расчёт частотных характеристик. Вариация параметров, статистический анализ. Отображение результатов моделирования.

Программа анализа паразитных эффектов печатных плат Signal Integrity. Представление проводников печатных плат. Параметры конфигурации и алгоритма расчёта переходных процессов. Характеристики печатной платы и отдельных цепей. Представление компонентов в виде моделей. Анализ переходных процессов. Согласование с нагрузкой выбранных цепей, варианты согласующих цепей. Анализ перекрестных искажений. Проводники как источники сигналов и как приёмники сигналов.

Тепловой анализ печатной платы. Модуль термического анализа печатных плат VETAsoft-Board. Оценка температуры компонентов, анализ теплового поля печатной платы и температурного градиента.

Преобразование печатной платы в объёмную модель для использования в САПР конструкций РЭС.

[4, с. 202–277, 278–324; 7].

Методические указания

При изучении возможностей программы размещения компонентов и трассировки проводников SPECSTRA следует помнить, что её возможности шире, чем у ранее рассмотренных программ. Она может работать в режиме авторазмещения, а также в режиме автотрассировки. При этом используются бессеточные режимы трассировки с расширенными возможностями описания иерархических правил проектирования и задания проходов трассировки.

Знакомясь с моделированием работы электрических схем, следует на начальном этапе пользоваться компонентами и их моделями, которые поставляются вместе с P-CAD. Только при приобретении достаточного опыта можно попытаться самостоятельно описывать поведение элементов при моделировании.

Необходимость изучения возможностей анализа паразитных эффектов печатных плат обусловлена тем, что из-за внесения в схему паразитных емкостей и индуктивностей проводников, а также за счет их взаимного влияния реальные сигналы в цепях значительно отличаются от расчётных. Следует также обратить внимание на согласование цепей с нагрузкой для уменьшения отражений и на представление компонентов при анализе печатной платы.

Следует уделить внимание тепловым процессам при эксплуатации печатной платы, а также при её изготовлении, когда она подвергается значительным тепловым нагрузкам при пайке. Особенно можно порекомендовать обратить внимание на неравномерность нагрева печатной платы при эксплуатации и на возможности оценки её теплового поля.

Раздел 8. Общие вопросы автоматизации проектирования конструкций РЭС

Структура и принципы построения современных САПР. Основные характеристики САПР.

Обзор программных средств, используемых для решения вспомогательных задач при автоматизированном проектировании. Организация графических данных.

[2; 5].

Методические указания

Как правило, разработчики при автоматизированном проектировании выбирают из многообразия предлагаемых систем те, которые в большей

степени отвечают их требованиям по различным критериям (удобство интерфейса, производительность, полнота реализуемых функций, совместимость с другими системами, преемственность между версиями и т.д.). Следует отметить, что при разработке конструкций РЭС чаще всего применяются САПР P-CAD и AutoCAD, а также некоторые пакеты параметрического проектирования (SolidWorks, Компас-График, ProIngeneer). Полезно сравнить характеристики этих САПР, исходя их предполагаемых потребностей, цены, распространенности в регионе.

Раздел 9. Использование графического редактора AutoCAD при проектировании конструкций РЭС

9.1. Организация работы с редактором AutoCAD. Возможности пакета, настройка AutoCAD. Управление изображением, перерисовка и регенерация. Разновидности меню AutoCAD.

При рассмотрении данных вопросов следует хорошо освоить возможности управления изображением, так как перемещение по полю чертежа, изменение масштаба изображения повторяются во время работы многократно. Необходимо выяснить разницу между перерисовкой и регенерацией изображения. Для эффективного формирования удобного и гибкого интерфейса необходимо изучить виды меню AutoCAD.

[11, с. 40–46, 63–70].

9.2. Единицы измерения линейных и угловых величин. Мировая и пользовательские системы координат, ввод координат объектов.

Проектируемые объекты имеют конкретные размеры, поэтому необходимо хорошо освоить разные способы указания координат вводимых точек, ввод абсолютных и относительных координат, а также использование разных систем координат.

[11, с. 87–98].

9.3. Графические примитивы и их свойства: точка, отрезок, фигура, полоса, дуга, круг, полилиния, форма.

Примитивами в AutoCAD называются простейшие объекты, с помощью отрисовки которых формируются нужные изображения. При изучении свойств примитивов следует обратить внимание на то, что многие команды рисования (прямоугольник, кольцо, многоугольник) создают один и тот же объект – полилинию.

Во время работы с системами автоматизированного проектирования вообще и с AutoCAD в частности необходимо все время следить за сообщениями в командной строке, где выводятся различные запросы, подсказки и предлагаются на выбор дополнительные параметры команд. Например, при рисовании окружности можно выбрать нужный способ рисования. Дополнительные параметры команд доступны и из контекстного меню. Это положение относится и к другим командам AutoCAD.

[11, с. 136–162, 464–510].

9.4. Общие свойства примитивов AutoCAD. Цвет примитивов, тип линии, принадлежность слою, вес линии, уровень расположения и высота примитивов.

При изучении общих свойств примитивов необходимо хорошо уяснить разницу между постоянными и переменными свойствами. Например, два синих отрезка могут иметь постоянный и переменный цвета. Один синий потому, что ему назначен постоянный синий цвет. Другому же назначен переменный цвет «по слою», а синий он потому, что расположен на синем слое.

[11, с. 291–327].

9.5. Средства выбора объектов при их редактировании. Редактирование объектов: перенос, копирование, размножение, поворот, масштабирование, удаление. Отмена действия команд.

Выбирая объекты для редактирования, пользователь чаще всего указывает их непосредственно или с помощью рамки. При этом формируется т.н. «набор выбора», который можно использовать в следующих командах, если требуется, например, сначала перенести объекты, а затем повернуть их. Следует запомнить, что объекты могут добавляться в набор выбора и удаляться из него. Команды редактирования подчинены общему алгоритму: команда, выбор объектов, указание базовой точки, указание нового положения.

[11, с. 201–229].

9.6. Сложное редактирование объектов: разделение сложных примитивов на составные части, изменение свойств, деление и разметка объектов, построение фасок и сопряжений, стирание и отсечение части объекта, удлинение и трансформация фрагментов, редактирование полилиний.

Изучая данные команды редактирования, необходимо учитывать, что результат выполнения команды может зависеть от точек указания объектов, а также от установленного режима обрезки (например при построении скруглений и фасок). Следует также проанализировать порядок указания граничных кромок и объектов при их отсечении и удлинении. При этом нужно следить за правильностью установки режима продления граничных кромок.

[11, с. 230–285].

9.7. Получение справок, информации об объектах чертежа.

[11, с. 329–338].

9.8. Работа с блоками и атрибутами: создание и вставка блока, переопределение блока, использование атрибутов. Внешние ссылки.

Использование блоков является отличным средством систематизации чертежа, создания библиотек элементов, экономии дискового пространства. Блок является единым целым. Нужно чётко уяснить, что объекты, входящие в блок после его создания, недоступны для редактирования. Для доступа к ним блок нужно расчленить. После знакомства с блоками должно остаться понимание того, что содержимое блока описывается и хранится в чертеже один раз, а для остальных изображений блока хранится только точка вставки, масштаб и угол поворота блока, что и позволяет уменьшить объем чертежа на диске. Важно также освоить возможность переопределения блоков, которая позволяет задавать блоку новое содержание и обновлять его изображение во всех точках вставки.

Следует запомнить, что атрибуты, входящие в состав блока, содержат текстовую информацию, которую можно редактировать, несмотря на то, что блок сам по себе не редактируется.

[11, с. 557–626].

9.9. Размеры в AutoCAD. Линейные, угловые, радиальные, ординатные. Выноски в размерах.

Создание и использование размерных стилей. Редактирование размеров. Размерные системные переменные.

Процесс простановки размеров обычно больших трудностей не вызывает. Основные трудности возникают при необходимости придать размерам тот вид, который требуется в соответствии со стандартом, или если необходимо проставлять размеры на насыщенном чертеже. Вид размера определяется размерным стилем, который должен содержать требуемое описание отдельных составляющих размера: стрелок, линий, размерного текста и т.д. При этом необходимо отметить, что внутри размерного стиля можно переопределить некоторые параметры для отдельного вида размера (например для радиального или диаметального). Если не удастся сразу получить нужный вид размера, можно воспользоваться возможностями редактирования размеров, наклонить его, перенести размерный текст и т.д.

Важным свойством размеров является их ассоциативность. Свойство ассоциативности означает, что при изменении измеренного расстояния при

модификации объекта размерный текст также изменяется, отслеживая истинное расстояние.

[11, с. 384–425, 426–463].

9.10. Форма и текст. Способы размещения текста. Ввод специальных символов. Понятие стиля. Создание формы и шрифта.

При изучении данного раздела следует разобраться в том, чем отличается однострочный текст от многострочного. При этом важно хорошо представлять те дополнительные возможности, которые предоставляет использование многострочного текста. Прежде всего это возможность вставки любого символа из таблицы символов, а также формирование дроби с различными разделителями. Использование многострочного текста в качестве размерного текста позволяет сформировать верхние и нижние индексы, используя дробь в формате «a^б».

[11, с. 350–379].

9.11. Штриховка объектов. Стили штрихования. Создание новых образцов штриховок.

Для штриховки объектов AutoCAD предоставляет большое количество уже описанных узоров, свойствами которых являются масштаб и угол поворота. Можно убедиться, что из двух способов указания области для штриховки (точка внутри области или ограничивающие область объекты) предпочтительнее и проще использовать указание области точкой. Если AutoCAD не может правильно определить область, можно попробовать изменить масштаб изображения, чтобы вся область была видна на экране.

Описание недостающих узоров штриховок рекомендуется делать после изучения параметров, входящих в описание, и ознакомления с имеющимися примерами описаний, которые хранятся в файлах с расширением «.pat».

[11, с. 484–497].

Раздел 10. Пространственное моделирование конструкций

10.1. Видовые экраны. Виды в трёхмерном пространстве. Выбор точки зрения. Использование перспективных изображений.

В начале изучения данного раздела нужно понять, что трёхмерное проектирование является следующей ступенью после плоскостного

проектирования и имеет неоспоримые преимущества перед последним. Оно дает возможность перейти от представления формы проектируемых объектов в памяти человека и изображения этой формы в виде проекций, рисуемых по отдельности, к наблюдению реального объёмного изображения объектов. Для этого следует освоить процедуру установки стандартных видов и различные возможности наблюдения объектов с произвольной стороны. Следует выяснить, каким способом можно получить перспективные проекции объектов.

Необходимо попробовать создать несколько видовых экранов в пространстве модели и убедиться, что в этих видовых экранах видны разные части одной и той же детали.

[11, с. 690–723].

10.2. Пространственное моделирование. Трёхмерные полилинии. Пространственные грани. Элементарные поверхности. Трёхмерные многоугольные сети. Редактирование трёхмерных примитивов.

Начальным этапом пространственного проектирования является использование трёхмерных полилиний и поверхностей. Простейшими объектами поверхностного проектирования являются грани. Стыкуя отдельные грани, можно с приемлемой степенью приближения получить требуемую поверхность. Грани могут быть связаны в сеть. Изучая способы построения стандартных поверхностей, необходимо убедиться в том, что все эти поверхности (ящик, чаша, тор и т.д.) являются трёхмерными сетями. Поскольку сеть задается координатами вершин смежных граней, для изменения её формы достаточно задать новые координаты вершин, процесс же описания новой произвольной сети гораздо более трудоемок.

[11, с. 735–773].

10.3. Пространственное твёрдотельное моделирование. Твёрдотельные примитивы: ящик, клин, конус, цилиндр, шар, тор, чаша, купол. Получение тел вращением и выдавливанием.

Составные твёрдотельные объекты. Объединение, вычитание, пересечение, разделение составных объектов. Скругление, скашивание тел. Взаимодействие тел. Редактирование тел и областей.

Изображение твёрдотельных объектов. Виды, разрезы, сечения объектов. Определение площади поверхности тел и областей, простановка размеров.

Пространственное твёрдотельное моделирование является следующим шагом в использовании реального представления проектов. На самом деле, большинство объектов являются все-таки сплошными, т.е. твёрдотельными. Элементарные тела создаются так же просто, как и элементарные поверхности. Тела сложной формы создаются достаточно тяжело. Для этого необходимо изучить такие операции, как объединение, вычитание и пересечение тел. Ориентируя исходные тела друг относительно друга и используя эти операции, можно постепенно довести форму проектируемого объекта до желаемой. Можно также использовать команды редактирования граней и ребер тел.

Если попробовать проставить размеры на созданных телах, то можно заметить, что размеры корректно ставятся только на те расстояния, которые проецируются на плоскость X-Y текущей системы координат. Исходя из этого, для простановки размеров в другой плоскости нужно создать новую систему координат, плоскость X-Y которой будет параллельна измеряемому расстоянию, и только после перехода в эту систему координат проставить нужные размеры.

[11, с. 774–862].

10.4. Организация работы с чертежами. Видовые экраны в пространстве листа. Взаимодействие с другими приложениями. Чертежи в Интернет.

Преимущества пространственного проектирования особенно ощущаются при создании чертежей на основе трёхмерных моделей. Работа в AutoCAD может осуществляться в пространстве модели или в пространстве листа. Результатом изучения этого раздела должно стать чёткое понимание концепции взаимодействия этих двух пространств. В пространстве модели создаётся трёхмерная модель объекта. В пространстве листа создаются несколько видовых экранов, которые здесь являются перекрывающимися. В этих видовых экранах располагаются виды объекта, ориентированные требуемым образом, чтобы получить желаемые проекции и виды, и в итоге сформировать чертёж. Оформление чертежа также проводится в пространстве листа.

[11, с. 863–958].

Раздел 11. Параметрические возможности современных САПР

11.1. Понятие параметризации. Параметрические возможности САПР. Размерные и геометрические ограничения на параметры модели.

Дополнительные возможности пакета: системы проектирования спецификаций, библиотеки, системы проектирования и расчёта механических передач, пружин, тел вращения.

Обзор систем параметрического твёрдотельного проектирования (SolidWorks, ProEngineer и т.д.). Основные понятия.

Переход к использованию параметрических САПР поистине новая ступень в развитии систем проектирования. Понятие параметризации означает, что форма и размеры моделей описываются и управляются параметрами. В качестве параметров могут выступать размеры, а также условия, которые задают взаимосвязи между элементами, из которых состоит модель.

[12, с. 19–41].

11.2. Возможности твёрдотельных САПР. Каркасное представление и модель твёрдого тела. Эскиз и плоскости построения. Кривые и поверхности. [12, с. 43–54].

11.3. Объекты эскиза. Создание, удаление объектов. Размеры при создании эскиза. Справочная геометрия эскиза. Правила создания эскиза. Отношения. Изменение масштаба и перемещение вида.

Создание твёрдотельной модели начинается с эскиза, который рисуется на выбранной плоскости. Вначале требуется чётко представлять понятие определенности эскиза. Следует взять за правило всегда использовать полностью определенный эскиз. Это позволит правильно и в достаточной степени описать параметры и взаимосвязи объектов эскиза и не допустить избыточности в его описании, а в дальнейшем избежать возникновения ошибок при перестраивании деталей и сборок. Здесь же необходимо ознакомиться с возможностями использования объектов справочной геометрии (вспомогательные плоскости, оси, кривые), которые широко используются на этапе создания эскизов, а также в дальнейшем при создании элементов модели. [12, с. 55–82, 107–142, 167–204].

11.4. Получение твёрдотельных элементов с помощью вытягивания, вырезания, поворота.

Получение твёрдотельных элементов по траектории, по сечениям.

Получение твёрдотельных элементов с помощью вытягивания, вырезания, поворота практически ничем не отличается от подобных действий в AutoCAD. Однако пользователь должен заметить, что здесь начисто отсутствуют т.н. булевы операции, а в любом случае в модель даже при удалении материала добавляется элемент (вырез).

Неизмеримо шире в параметрических САПР возможности получения твёрдотельных элементов по траектории и по сечениям. Сначала рекомендуется освоить получение этих элементов без дополнительных параметров. Затем следует воспользоваться параметрами касания и исследовать их влияние на форму элементов. И, наконец, задействовать направляющие кривые. Следует отметить, что направляющих кривых может быть несколько и создаются они в отдельных эскизах.

[12, с. 244–261, 533–558].

11.5. Фаска, скругление, уклон, отверстие, оболочка, ребро, купол, контур, массив.

Большинство из перечисленных выше элементов не требуют при своем создании эскизов. Это т.н. наложенные элементы. Только уклон и ребро предполагают использование эскиза. Следует обратить внимание на

определение отверстия, которое содержит широкий набор параметров для своего описания.

При изучении построения массива особо следует отметить возможность удаления некоторых экземпляров массива. При этом информация о них сохраняется и в случае необходимости эти экземпляры можно восстановить.

[12, с. 365–392, 417–450].

11.6. Работа с деталями. Родительские/дочерние взаимосвязи. Взаимосвязь между элементами деталей. Конфигурации детали. Проверка геометрии модели. Разрез и сечение детали.

При изучении этого раздела рекомендуется попробовать перетащить (переупорядочить) элементы в дереве конструирования. Можно заметить, что некоторые элементы перетащить в желаемое место невозможно, т.к. этому препятствуют родительско-дочерние взаимосвязи.

Знакомство с понятием «конфигурации детали» нужно начинать с определения традиционного понятия «групповой чертёж». Как и в групповом чертеже, в файл детали вставляется таблица, в которой указываются для каждой конфигурации детали свои значения параметров. Кроме того, в таблице может указываться, погашен выбранный элемент для данной конфигурации или присутствует в модели.

[12, с. 487–510].

11.7. Проектирование деталей из листового металла. Тонкие детали. Переупорядочение и полоса отката. Погашенные элементы. Сгибы.

Изготовление деталей из листового металла обладает рядом преимуществ: высокая точность, очень короткий цикл производства, небольшие отходы, зачастую используемые. Следует указать на особенность таких деталей, т.к. они содержат элементы, называемые сгибами. Сгибы могут задаваться разными способами и позволяют учесть деформацию слоёв листа при его гибке. Это учитывается при получении истинных размеров плоского состояния детали (развёртки).

[13, с. 179–191].

11.8. Проектирование литейных форм.

Концепция проектирования литейных форм основана на том факте, что при переходе металла из жидкой фазы в твердую может измениться его объем, а именно: он может дать усадку или, наоборот, увеличиться в объеме. Поэтому следует запомнить, что размеры полости, которая формируется в заготовке

основания формы, рассчитываются с учётом такого параметра, как коэффициент масштаба для используемого материала.

[13, с. 147–157].

11.9. Работа со сборками. Методы проектирования сборок. Дерево конструирования в сборке. Конфигурации сборки и их использование.

Параметризация проектирования предполагает связь документов деталей, сборок и чертежей между собой. Поэтому следует отметить, что при редактировании детали, входящей в сборку, деталь сразу обновляется в сборке. В дереве конструирования сборки появляется новый элемент – группа сопряжений. Сопряжения задают взаимное положение компонентов сборки. Простота описания сопряжений позволяет достаточно уверенно и быстро освоить методику проектирования сборок.

[12, с. 19–41].

11.10. Переход от модели детали и сборки к чертежу. Параметры листа. Виды, разрезы. Условные обозначения. Элементы оформления.

При изучении методики и средств формирования чертежей не требуется значительных усилий, настолько просто и ясно организован процесс получения на чертеже нужных видов, разрезов и т.д. Широкие возможности инструментов работы с чертежом позволяют получить местные и вспомогательные виды, разъединенные виды, устанавливать нужный масштаб. Можно также передавать чертеж в AutoCAD и другие системы проектирования.

[12, с. 717–794].

Раздел 12. Использование моделей при анализе конструкций с помощью САПР

Способы обмена данными между различными САПР. Форматы файлов обмена DXF и IGES. Управление инженерным документооборотом.

Моделирование процессов сборки, изготовления деталей, поведения конструкций при наличии воздействующих факторов. Расчётные приложения для систем твёрдотельного проектирования.

[3, с. 19–42; 4, с. 26–32; 11, с. 910].

2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Расчёт элементов топологии печатной платы при автоматизированном проектировании.

2. Взаимосвязи между элементами эскиза и сопряжения в сборках при параметрическом проектировании.

Практические занятия предшествуют выполнению контрольной и курсовой работы и имеют своей целью рассмотрение вопросов, традиционно вызывающих трудности у студентов при изучении курса.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Создание библиотечных компонентов.
2. Проектирование схемы электрической принципиальной.
3. Размещение компонентов на печатной плате и автотрассировка.
4. Построение чертежа детали в САПР AutoCAD.
5. Объёмное проектирование в САПР AutoCAD.
6. Создание твёрдотельной параметрической модели детали и сборки.

4. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

В контрольной работе студентам предлагаются следующие задания:

Задание 1. Выполнить чертёж детали с помощью САПР AutoCAD.

Задание 2. Построить твёрдотельную трёхмерную модель детали с помощью САПР AutoCAD.

Задание 3. Создать трёхмерную параметрическую модель детали с помощью САПР SolidWorks.

В качестве исходной информации выступает распечатанное изображение некоторой детали с размерами и другими атрибутами чертежа.

Перечисленные выше три задания являются самостоятельными частями контрольной работы и могут выполняться в любой последовательности. При выполнении каждой части следует руководствоваться следующими требованиями.

Задание 1

При выполнении чертежа детали сначала нужно проанализировать состав чертежа, т.е. что он содержит. Например, изображение контура детали, осевые линии, размеры, штриховку, основную надпись, текстовую информацию и т.д. Далее следует сопоставить эти составляющие с теми возможностями, которые предоставляет AutoCAD. Необходимо каждому элементу изображения поставить в соответствие примитив или набор примитивов AutoCAD. Так, для изображения контура детали можно выбрать полилинии, отрезки, дуги, окружности и т.д., для нанесения обозначения шероховатостей можно создать блоки с атрибутами, при простановке размеров необходимо выбрать соответствующий вид размера и при необходимости произвести настройку размерных стилей. Исходя из состава изображения, следует создать несколько слоёв с соответствующими свойствами и разместить элементы чертежа на соответствующих слоях (размеры, оси, контур детали и др.). Ход выполнения задания и обоснование принятия решений необходимо отразить в тексте контрольной работы.

Кроме распечатанного чертежа детали следует представить и файл чертежа.

Задание 2

Перед выполнением этого задания следует ознакомиться с возможностями САПР AutoCAD по созданию тел, при этом в первую очередь обратить внимание на стандартные тела. Далее можно обратиться к таким способам, как выдавливание и вращение.

Деталь, модель которой требуется построить, необходимо представить как состоящую из некоторого набора простых тел, которые объединены в одно целое. Возможно, что требуемая форма детали может быть получена и с применением операций вычитания тел. В тексте контрольной работы должен быть анализ детали на предмет возможности её создания из тел простой формы с применением операций объединения, вычитания и пересечения. Используемые для этих операций тела могут создаваться непосредственно на месте их требуемого расположения (тогда нужно создавать соответствующие системы координат) или просто в пространстве (тогда их нужно переносить и соответствующим образом ориентировать). При наличии достаточного опыта для получения новых форм можно использовать команды редактирования граней твёрдых тел.

После построения модели детали следует перейти в пространство листа, создать там четыре видовых экрана и расположить в них три проекции и изометрическое изображение детали.

В контрольной работе необходимо представить распечатку построенной модели и распечатку листа с проекциями и изометрией, а также электронную версию выполненного задания.

Задание 3

Выполняя задание по созданию трёхмерной параметрической модели, нужно отчётливо представлять разницу между параметрическими и простыми САПР. В параметрических САПР все элементы модели описываются с помощью количественных и геометрических ограничений, называемых параметрами. Поэтому на любом этапе проектирования можно изменить значение параметра любого элемента и тем самым изменить форму детали.

В начале работы над моделью целесообразно определиться со способом изготовления детали. Если деталь будет изготавливаться с помощью механической обработки (токарные и фрезерные операции, удаляющие материал), то в качестве основания можно создать заготовку, которая поступает на первую операцию обработки. Тем самым невольно разработчик вынужден будет в какой-то степени промоделировать процесс изготовления детали. Если деталь изготавливается литьем или прессованием, разработчик обладает большей свободой по выбору формы основания, к которому добавляются другие элементы. Выбор способа изготовления необходимо обосновать.

Основой для создания большинства элементов является эскиз. Эскизы следует создавать полностью определенными, что позволит минимизировать

вероятность появления ошибок при дальнейшей работе над моделью и при её редактировании. Признаком определенности эскиза является его чёрный цвет.

После создания основания следует разработать структуру модели детали, т.е. определиться, какие элементы следует добавить в модель, чтобы постепенно от основания форма детали приобрела требуемые очертания. Рекомендуются использовать более простые эскизы для создания элементов. Хотя это несколько увеличит количество элементов, но зато облегчит управление параметрами модели в дальнейшем.

После создания детали необходимо получить по этой модели чертёж, на котором нужно расположить различные виды детали, изометрию, местные виды, разрезы и т.д.

В контрольной работе необходимо привести вид модели и дерево конструирования с обозначением на модели её элементов. Результаты работы по созданию модели и чертежа должны быть представлены и в виде электронной версии.

Примерный вид материалов для вышеперечисленных заданий приведён в прил. 1.

5. КУРСОВАЯ РАБОТА

Итогом курсовой работы является спроектированная с помощью САПР P-CAD печатная плата, пояснительная записка и графическая документация на схему и печатную плату. Для этого студенту предлагается изображение электрической схемы с описанием её работы и указанием типов элементов. Дополнительно задаются параметры печатной платы, которые необходимо обеспечить в процессе проектирования (коэффициент заполнения, класс точности и т.д.). Кроме того, могут оговариваться требования к отдельным цепям и компонентам. Студент должен создать библиотеку компонентов, спроектировать электрическую схему, перейти к проектированию печатной платы, разместить компоненты на плате с учётом конструктивных и других требований, осуществить трассировку проводников и получить графическую документацию, используя полученные результаты.

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

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 автотрассировка.
6. Анализ недостатков топологии и её ручная корректировка.
7. Получение графической документации.

Заключение

Литература

В пояснительной записке необходимо рассмотреть следующие вопросы:

В разделе **«Введение»** описываются общие подходы к решению поставленной задачи, формулируется цель работы, обосновывается необходимость и значимость проведения работы.

В разделе **«Анализ схемы и элементной базы»** сначала описывается работа и характеристики электрической схемы, в том числе питание. Особое внимание уделяется тем характеристикам и цепям схемы, которые будут определять требования к параметрам конструкции печатной платы. Анализируется состав схемы, разновидности элементов. При этом определяются элементы схемы, которые будут находиться на печатной плате, и те, которые необходимо вынести за её пределы. С этими элементами необходимо обеспечить соединения через внешние соединения.

Для элементов, расположенных 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 питания указываются графически, в виде таблицы или в технических требованиях. Эти данные нужно подготовить, так как они понадобятся при создании библиотечных компонентов.

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, так как 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.

Корпус (посадочное место) создаётся 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 также должны входить точка привязки и атрибут позиционного обозначения. После проверки правильности создания корпус записывается в ту же библиотеку, что и символ.

Компонент создаётся 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.

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.

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 её площадь не превышала полученного значения. Контур печатной платы создаётся 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.

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 соответствующие библиотеки. Как правило, на этом этапе возникают ошибки, которые требуется описать в этом разделе и устранить.

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.

Выполнение раздела *«Подготовка к трассировке и автотрассировка»* 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.

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 разведённые 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 отчётах 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 её 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.

В разделе **«Анализ недостатков топологии и её 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 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 её 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. Необходимость этого объясняется ручными операциями при проектировании топологии, когда разработчик может

неумышленно внести ошибки в проект и не заметить этого. Отчёт о проверке содержит имена неполностью разведённых цепей с указанием оттрассированных частей, а также нарушения технологических ограничений (недопустимые зазоры). При этом в отчёте отражается, между какими объектами обнаружены нарушения и координаты этих ошибок. На печатной плате утилита проверки DRC помещает индикаторы ошибок. Обнаруженные не полностью разведённые цепи следует доразвести 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 большим).

Раздел *«Получение графической документации»* должен содержать описание конкретных действий по выбору размеров листов чертежей и масштаба получаемых изображений.

В графическую часть проекта входят:

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

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

В данном разделе необходимо отразить процесс получения документации средствами САПР P-CAD. Полного соответствия графических материалов требованиям стандартов при этом достичь не удастся, однако получаемые документы могут использоваться в качестве рабочих материалов. Больше внимание следует уделить получению изображения печатной платы. Для этого нужно сформировать и описать в записке соответствующие задания на печать, в которых определить слои, подлежащие распечатке, а также установить другие опции печати. Графические материалы представляются в приложении, их формат указывается в задании на проектирование.

Примерный вид графических материалов по курсовой работе приведен в прил. 2.

Раздел *«Заключение»* должен 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 отчётов и общих статистических данных по печатной плате, а также, воспользовавшись возможностями предварительной оценки платы средствами автотрассировщиков.

В разделе *«Литература»* приводится список источников, действительно использовавшихся 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, вместе с готовой пояснительной запиской необходимо представить и электронный вариант работы: файл электрической схемы и файл печатной платы.

Библиотека БГУИР

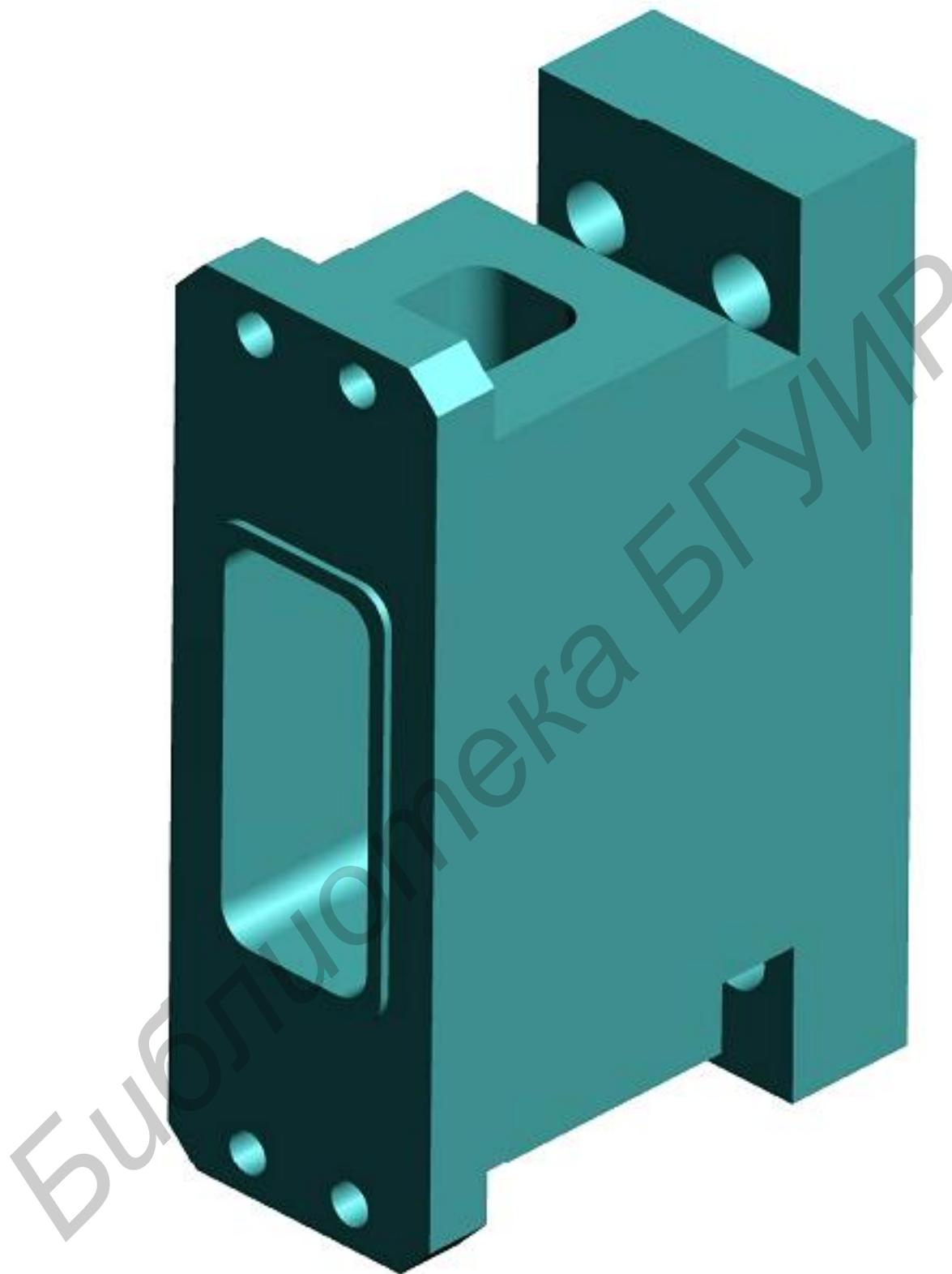
Литература

Основная

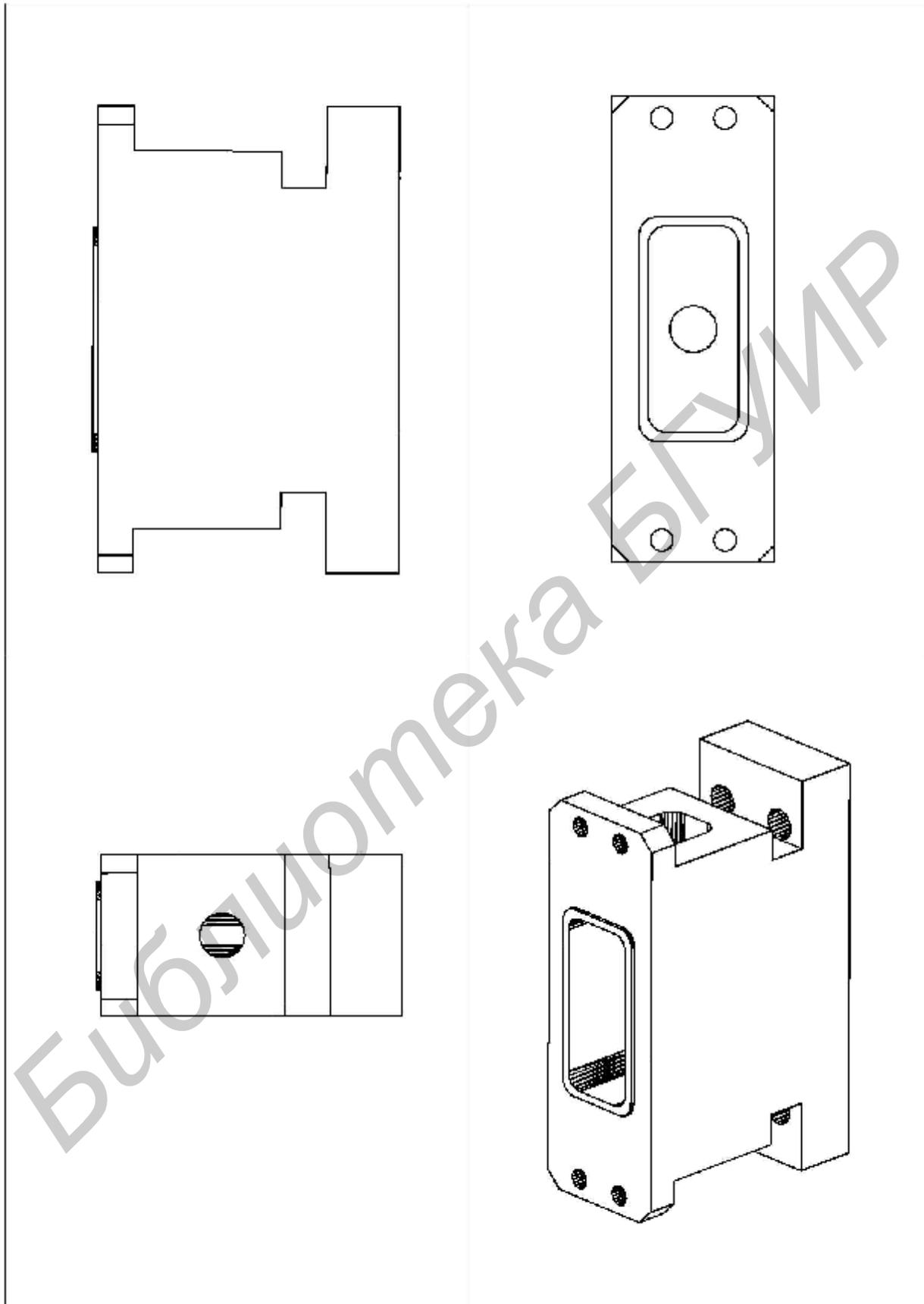
1. Жигалов, А. Т. Конструирование и технология печатных плат / А. Т. Жигалов. – М. : Высш. шк., 1973. – 216 с.
2. Системы автоматизированного проектирования в радиоэлектронике : справочник / под ред. И. П. Норенкова. – М. : Радио и связь, 1986. – 386 с.
3. Лопаткин, А. В. P-CAD2004 / А. В. Лопаткин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
4. Разевиг, В. Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001 / В. Д. Разевиг. – М. : Солон-Р, 2001. – 560 с.
5. Норенков, И. П. Системы автоматизированного проектирования электронной и вычислительной аппаратуры / И. П. Норенков, В. Б. Маничев. – М. : Высш. школа, 1983. – 272 с.
6. Уваров, А. P-CAD 2000, ACEEL EDA, Конструирование печатных плат. Учебный курс / А. Уваров. – СПб. : Питер, 2001. – 320 с.
7. Ёлшин, Ю. М. Справочное руководство по работе с подсистемой SPECSTRA в P-CAD 2000 / Ю. М. Ёлшин. – М. : Солон-Р, 2002. – 272 с.
8. Саврушев, Э. P-CAD для Windows. Система проектирования печатных плат / Э. Саврушев. – М. : Эком, 2002. – 320 с.
9. ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия.
10. Стешенко, В. Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат / В. Б. Стешенко. – М. : Нолидж, 2003. – 720 с.
11. Финкельштейн, Э. AutoCAD 2004. Библия пользователя (+ CD-ROM) / Э. Финкельштейн. – М. : Диалектика, 2004. – 1184 с.
12. Тику, Ш. Эффективная работа: SolidWorks 2005 / Ш. Тику. – СПб. : Питер, 2006. – 816 с.
13. Мюррей, Д. SolidWorks 2003 / Д. Мюррей. – М. : Лори, 2005. – 712 с.

Дополнительная

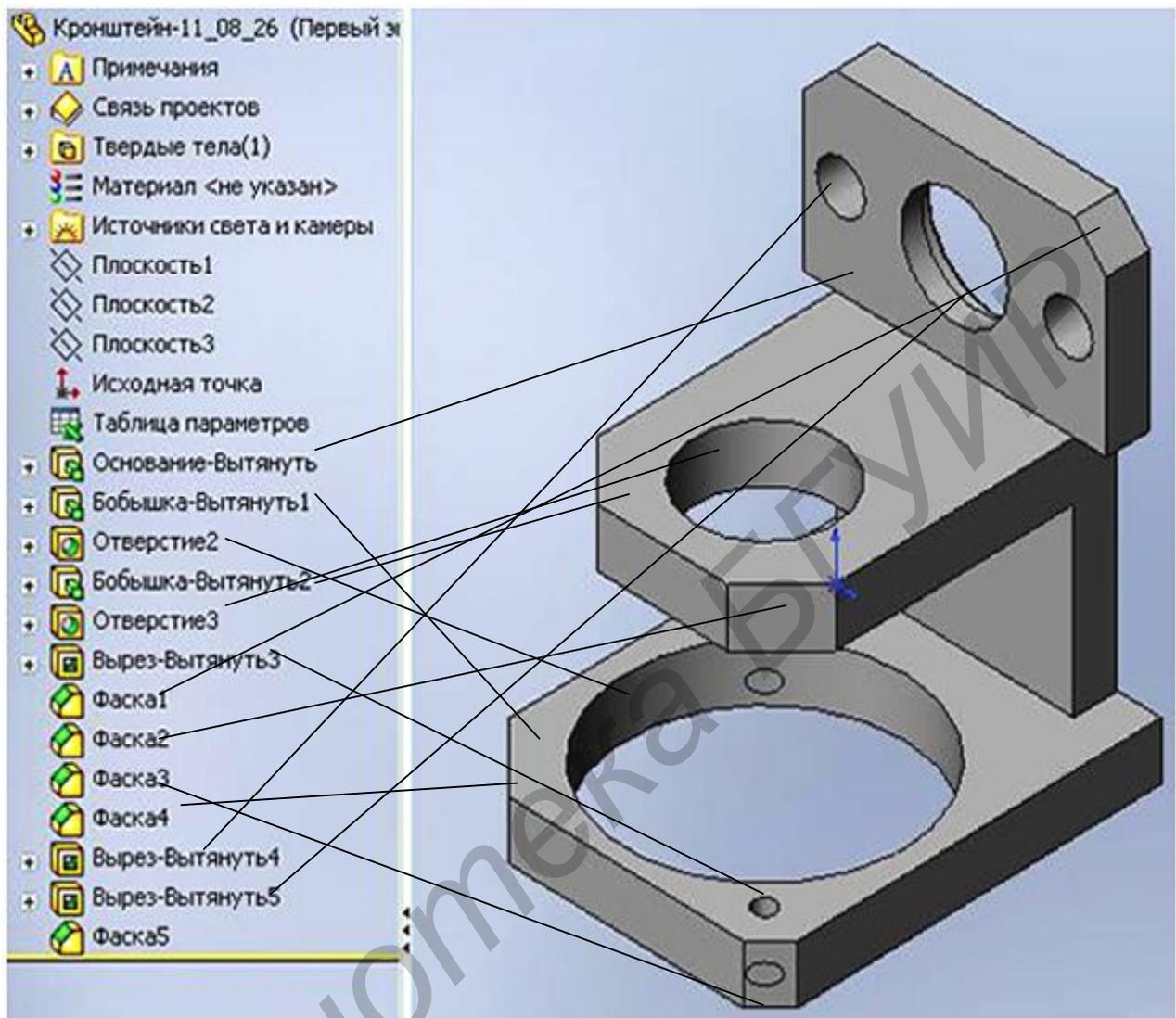
1. Омура, Дж. AutoCAD 2002. Бестселлер №1 (+ CD-ROM) / Дж. Омура. – М. : Лори, 2002. – 788 с.
2. Сучков, Д. И. Адаптация САПР P-CAD к отечественному технологическому оборудованию / Д. И. Сучков. – Обнинск : Призма, 1993. – 460 с.
3. Стешенко, В. Б. EDA. Практика автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств / В. Б. Стешенко. – М. : Нолидж, 2002 – 768 с.
4. Акимов, Ю. С. Паразитные связи и устойчивость аналоговых интегральных схем / Ю. С. Акимов, В. А. Цветков. – М. : Радио и связь, 1984. – 112 с.
5. Наумов, Ю. С. Помехоустойчивость устройств на интегральных логических схемах / Ю. С. Наумов. – М. : Сов. радио, 1975. – 216 с.



Модель корпуса в AutoCAD



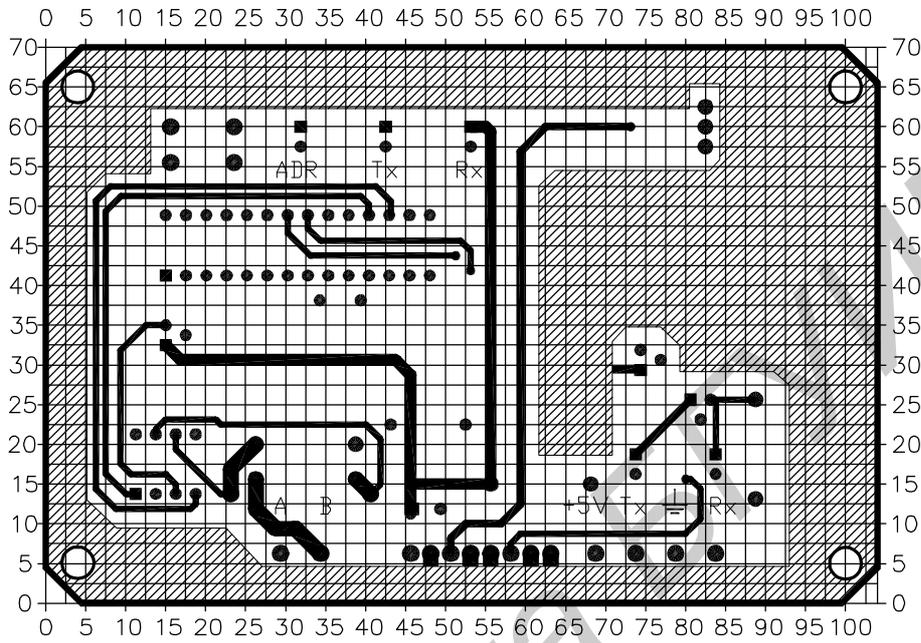
4 вида модели корпуса в пространстве листа AutoCAD



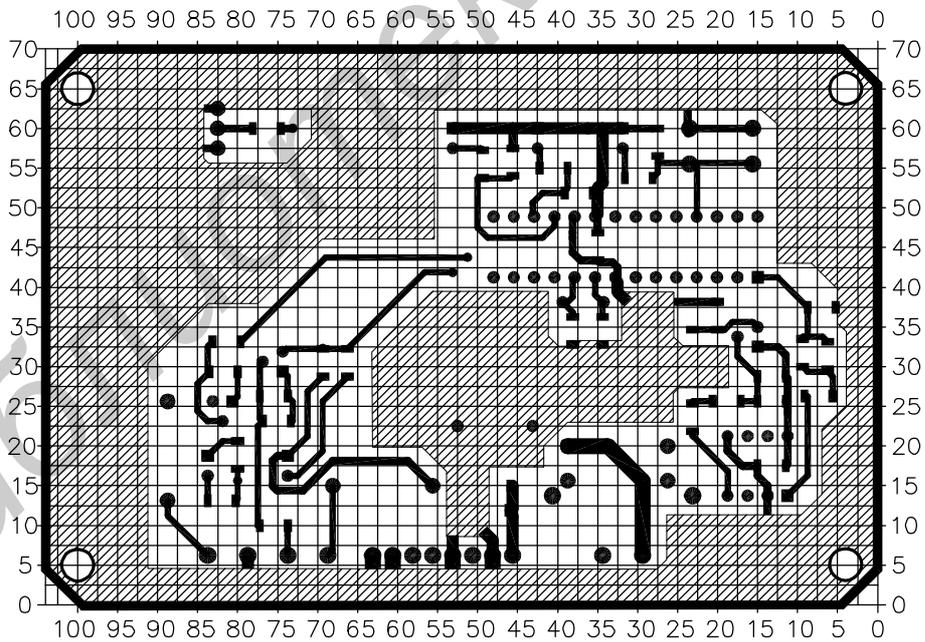
Модель кронштейна в SolidWorks

БГУИ.712345.001

Проводящий рисунок (слой 1)



Проводящий рисунок (слой 2)



| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Изм. № посл. | Попл. и дата | Взам. ипв. № | Ипв. № дубл. | Попл. и дата |
| | | | | |

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

БГУИ.712345.001

Лист
2

Копировал

Формат А4

Печатная плата (продолжение)

Учебное издание

Системы автоматизированного проектирования РЭС

Методические указания
для студентов специальности «Моделирование и компьютерное
проектирование радиоэлектронных средств»
заочной формы обучения

Составители:

Колбун Виктор Сильвестрович
Журавлёв Вадим Игоревич
Галузо Валерий Евгеньевич

Редактор Т. Н. Крюкова
Корректор М. В. Тезина
Компьютерная верстка Е. Г. Бабичева

Подписано в печать 22.12.2007.
Гарнитура «Таймс»
Уч.-изд. л. 2,1.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 150 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,44.
Заказ 335.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6