

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

Кафедра электронной техники и технологии

*СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ*

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ
для студентов специальности
Медицинская электроника
заочной формы обучения

Минск 2006

УДК 004.4 (075.8)
ББК 32.973 я 73
С 40

Составители:
В.М. Бондарик, С.В. Кракасевич

Системы автоматизированного проектирования средств медицинской электроники: Метод. указания и контрольные задания для студ. спец. «Медицинская электроника» заочной формы обуч. / Сост. В.М. Бондарик, С.В. Кракасевич. – Мн.: БГУИР, 2006. – 27 с.: ил.

Приведены содержание дисциплины «Системы автоматизированного проектирования средств медицинской электроники», общие методические указания к ее изучению и варианты контрольной работы, тематика и требования к курсовой работе.

Настоящие методические указания и контрольные задания предназначены для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Медицинская электроника».

УДК 004.4 (075.8)
ББК 32.973 я 73

© Бондарик В.М., Кракасевич С.В.,
составление, 2006
© БГУИР, 2006

1. ПРЕДМЕТ ДИСЦИПЛИНЫ И ЦЕЛЬ ЕЕ ПРЕПОДАВАНИЯ

Предметом изучения дисциплины являются методы и средства автоматизации конструкторского и технологического проектирования средств медицинской электроники (СМЭ).

Цель дисциплины – изучение принципов автоматизированного проектирования на этапах конструкторского и технологического проектирования электронной аппаратуры (ЭА), методов и средств решения задач на данных этапах, а также изучение методологии автоматизированного проектирования СМЭ, способов построения и реализации систем автоматизированного проектирования (САПР) и особенностей используемых при этом технических средств и программного обеспечения, получение навыков конструирования ЭА и проектирования технологий с помощью САПР.

2. ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ЕЕ СТРУКТУРА

Дисциплина предназначена для подготовки специалистов-инженеров, занимающихся проектированием и эксплуатацией СМЭ. Поставленная цель достигается путем самостоятельного изучения основных и дополнительных источников литературы, прослушивания курса лекций по основным разделам дисциплины, проведения практических занятий по наиболее сложным темам и выполнения курсовой работы.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

знать:

- основные задачи автоматизации конструкторского и технологического проектирования ЭА, методы и алгоритмы их решения;
- структуру и принципы построения САПР СМЭ;
- основы методологии автоматизированного проектирования, формализации и автоматизации интеллектуальной деятельности человека;
- современные пакеты САПР СМЭ;

уметь характеризовать:

- изделия медицинской электроники с целью обоснования необходимости автоматизации проектирования;
- методы компоновки, замещения и соединения электронных блоков СМЭ;
- технические средства САПР;

уметь анализировать:

- принципы построения и возможности систем автоматизированного конструкторского и технологического проектирования;
- методы моделирования и математические модели деталей и конструктивных узлов электронной аппаратуры;

приобрести навыки:

- использования прикладных пакетов САПР с целью создания электронной аппаратуры, конструкторской и технологической документации на их изготовление;

– разработки и модернизации электронных баз данных для прикладных пакетов САПР.

Программа дисциплины рассчитана на 30 часов аудиторных занятий, проводимых в двух семестрах: лекций – 14 часов, практических занятий – 4 часа, лабораторных работ – 12 часов. В осеннем семестре выполняется одна контрольная работа, в весеннем – курсовая работа. Форма отчетности: теоретический зачет и экзамен.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина является системной в подготовке студентов специальности «Медицинская электроника». Ее изучение основано на знаниях, полученных студентами по следующим дисциплинам: «Высшая математика, теория вероятности и математическая статистика», «Программирование», «Начертательная геометрия и инженерная графика», «Элементная база средств медицинской электроники», «Техническая механика», «Конструкционные и электротехнические материалы средств медицинской электроники», «Микроэлектронные схемы, микротехнологии и микропроцессоры в средствах медицинской электроники».

Изучение дисциплины предусматривает систематическую самостоятельную работу студентов со специальной технической литературой, последними достижениями науки и техники, отраженными в научных журналах, а также использование технических средств обучения, компьютеров при выполнении лабораторных и курсовой работы.

Рабочим планом дисциплины предусмотрено выполнение контрольной работы в седьмом семестре. Варианты заданий указываются преподавателем индивидуально для каждого студента во время установочной сессии. При выполнении контрольных работ студент дает полные ответы на два теоретических вопроса, которые поясняются схемами, рисунками, диаграммами. При решении задачи студент должен по схеме функциональной (выдается преподавателем) выполнить компоновку и размещение электронного модуля в соответствии с заданными алгоритмами (определяются преподавателем). Результатом решения задачи является схема электрическая принципиальная электронного модуля и схема размещения элементов на монтажной плоскости.

При решении задачи необходимо приводить аргументированный выбор элементной базы, расчетные формулы, описание применяемых алгоритмов покрытия и размещения с соответствующими графами и матрицами, модель монтажного поля печатной платы, расшифровывать условные обозначения.

Выполнение контрольной работ предусматривает не только изучение студентами учебной и методической литературы, но и самостоятельную работу со справочной и специальной научно-технической литературой, патентными и рекламно-информационными источниками. Это позволит приобрести навыки анализа изделия медицинской электроники с целью обоснования необходимости автоматизации проектирования, выбора методов компоновки, размещения и соединения электронных блоков ЭА.

Ответы на вопросы должны быть полными, отражать их сущность и поясняться рисунками, графиками и диаграммами (можно в виде ксерокопий). При решении задачи необходимо приводить описание конкретных алгоритмов, расшифровывать условные обозначения.

4. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ И ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Осенний семестр

Введение

Комплексная автоматизация проектирования, производства и эксплуатации ЭА. Взаимосвязь в рамках интегрированных производственных комплексов основных систем автоматизации. [1, с. 3-9; 2; 3, кн.1, с. 5-13; 4].

Методология автоматизированного проектирования электронной аппаратуры

Общие сведения о проектировании ЭА. Этапы проектирования ЭА. Классификация систем автоматизированного проектирования. Определение и состав математического обеспечения (МО) САПР. Требования к математическим моделям*. [1, с. 10-16; 3, кн. 1, с. 24-32, 82-96; 2; 4; 9; 14; 17].

Основы теории графов. Формальное описание коммутационных схем с помощью гиперграфов и матриц цепей и инцидентности. Общая постановка задач топологического проектирования. [1, с. 79-101; 2; 3, кн. 1, с. 33-49; 4; 9; 14].

Основные модели представления коммутационной схемы ЭА в памяти ЭВМ. Основы теории алгоритмов. Математическая модель электронной схемы и монтажного пространства. [1, с. 368-373; 3, кн. 6; 14, с. 33-38, 102-133; 9, с. 88-113; 17].

Использование пакета прикладных программ P-CAD для проектирования печатных плат

Назначение. Возможности. Структура. Требования к компьютеру. Настройки. Принципы работы. Методика проектирования электрических схем ЭА и создания библиотечных элементов с использованием пакета прикладных программ (ППП) P-CAD 2000/06. Утилиты системы для работы с библиотеками, создания файлов перекрестных ссылок и электрических связей. [5, с. 7-29, 149-161; 9; 27].

Создание символов компонентов (условных графических обозначений). Особенности создания символов неоднородных и дискретных компонентов. Редактирование символов компонентов. Создание корпусов компонентов со штыревыми и планарными выводами. Особенности создание корпусов компонентов для технологии поверхностного монтажа. [5, с.149-182; 9; 27; 29].

*Темы, выделенные жирным шрифтом, даются на установочных и обзорных лекциях.

Графический редактор принципиальных схем и символов компонентов PCAD Schematic. Утилиты проверки принципиальных схем. Создание и редактирование принципиальной электрической схемы. [5, с. 30-83; 9; 10; 27; 29].

Графический редактор печатных плат PCAD PCB. Автоматическое и ручное размещение компонентов на печатной плате. Автоматическая и ручная трассировка соединений. Алгоритмы трассировки. Редактирование стратегии трассировки. Утилита проверки печатных плат. [5, с. 83-149, 182-202; 9; 10; 27].

Составление текстовых отчетов. Сравнение списка электрических связей. Описание печатной платы в текстовом виде. Внесение изменений в проект. Обмен данными с другими пакетами САПР. [5, с. 30-176, 381-551; 9; 10; 27].

Особенности получения конструкторско-технологической документации в САПР P-CAD 2000/06. Получение программ, управляющих технологическим оборудованием. Вывод чертежей на принтер и плоттер. Обмен данными с другими пакетами САПР. [5 с. 325-355; 9; 10; 14; 20; 27; 29].

Алгоритмизация задач конструкторского проектирования электронной аппаратуры

Компоновка типовых элементов конструкций. Последовательные алгоритмы разрезания схем. Алгоритмы парных и групповых перестановок (минимизация числа межблочных соединений). Итерационный алгоритм улучшения начального размещения. Алгоритмы покрытия. [1, с. 373-387; 3, кн.6; 9, с. 113-119; 14; 17].

Алгоритмы размещения. Классификация. Алгоритмы линейного назначения. Итерационные алгоритмы. Алгоритмы случайного поиска и случайного блуждания. Эвристические алгоритмы размещения: последовательные и параллельные алгоритмы. Непрерывно-дискретные алгоритмы. Алгоритмы, использующие дискретные методы оптимизации. [1, с. 382-396; 2, с. 192-212; 9, с. 119-129; 17; 14].

Алгоритмы и модели трассировки. Классификация. Трассировка проводных и печатных соединений. Алгоритм Краскала. Алгоритм Прима. Постановка задачи трассировки печатных соединений. Ортогональные алгоритмы. Волновой алгоритм Ли. Метод встречной волны. Лучевой алгоритм трассировки. [1, с. 396-406; 2, с. 212-246; 9, с. 129-139; 17; 14].

Эвристические алгоритмы трассировки. Алгоритмы трассировки на основе нейронных сетей. Алгоритм Абрайтиса. Алгоритм трассировки по магистралям. Алгоритм гибкой трассировки. Алгоритмы канальной трассировки. [1, с. 396-406; 9, с. 139-150; 14; 17].

Весенний семестр

Геометрическое моделирование в системах автоматизированного проектирования

Геометрическое моделирование и синтез форм деталей. Виды геометрических моделей. Аналитические, канонические, каркасные, кинематические, геометрические макромодели и их применение при автоматизированном проектировании. [2; 3, кн.6, с. 7-12, 36-41; 14].

Система автоматизированного проектирования AutoCAD

САПР AutoCAD 2000/06. Назначение. Возможности. Структура. Требования к компьютеру. Настройки. Общие принципы работы. Подготовка рабочей среды. Создание чертежа-прототипа. [6, с. 8-78, 97-199; 8; 11-13; 26; 28].

Графические примитивы и их создание. Средства черчения. Команды вычерчивания и редактирования примитивов. Средства редактирования чертежей. Выполнение чертежа детали и сборочной единицы. [6, с. 78-96, 199-307; 26; 28].

Нанесение размеров. Дополнительные средства формирования чертежей. Работа с блоками и атрибутами. Способы передача объектов в различные системы САПР. [6, с. 308-376; 8; 11-13; 26; 28].

Трехмерное моделирование. Виды моделей, реализуемых с помощью пакета. Трехмерное моделирование. Моделирование каркасов поверхностей. Твердотельное моделирование. Примеры создания трехмерных деталей. Методика проектирования изделий ЭА в ППП AutoCAD 2000/06. [6, с. 379-515; 11-13; 24; 26; 28].

Подготовка конструкторской документации в глобальных 3D-системах

Подготовка документации в глобальных 3D-системах. Разработка конструкции изделий с помощью пакета T-FLEX CAD. Основные положения работы с системой. Трехмерное параметрическое проектирование в T-FLEX CAD. Графическое моделирование и сквозное проектирование конструкции ЭА с помощью пакета T-FLEX CAD. Подготовка документации в глобальных 3D-системах. Особенности формирования чертежей в САПР Mechanical Desktop Power Pack, Pro/ENGINEER. [4; 15; 18; 19; 21; 22; 30].

Автоматизация технологического проектирования электронной аппаратуры

Требования к моделям, используемым при решении типовых задач конструкторско-технологического проектирования ЭА. [2; 3, кн.6, с. 69-91].

Функциональные и структурные модели технологических процессов (ТП) изготовления ЭА. Структурно-логические модели ТП. Классы структурно-логических моделей. Табличные модели. Сетевая форма описания ТП. Алгоритм проектирования технологических процессов с использованием сетевой модели. [2; 3, кн.6, с. 69-91].

Перестановочная форма описания ТП. Алгоритм проектирования ТП с использованием перестановочной модели. Индивидуальный и обобщенный технологические маршруты. Алгоритм синтеза технологического маршрута из обобщенного ТП. [2; 3, кн. 6, с. 92-142; 9].

Автоматизированная подготовка технологической документации

Средства документирования в САПР ТП. Организация системы формирования технологической документации. Применением систем автоматизации технологического проектирования ТехноПро, Techcard для разработки комплекта технологической документации. Способы формирования техпроцесса сборки платы с помощью общих технологических операций. Способы формирования техпроцесса изготовления детали и сборочной единицы. Обмен дан-

ными с другими пакетами. [2; 7; 9; 16; 23].

Информационное обеспечение систем автоматизированного проектирования средств медицинской электроники

Информационные модели данных. Общая структура и характеристика информационного обеспечения в САПР ТП. Основные типы и структуры данных. Логическое и физическое представление данных. Логические структуры данных. Физическая организация данных. Банки данных. Принципы организации банков данных. Системы управления банками данных. Назначение, требования и режимы работы ППП Access. Организация работы с базой данных Access. [1; 3, кн. 3, с. 7-17, 53-77; 13; 14; 17].

Техническое обеспечение систем автоматизированного проектирования средств медицинской электроники

Состав технических средств САПР СМЭ. Основные технические параметры ЭВМ. Локальные сети в САПР СМЭ. Алгоритмы работы линейных и круговых интерполяторов. Перспективы развития методов, алгоритмов и подсистем автоматизированного проектирования конструкций и технологических процессов производства ЭА. [1; 2, с. 315-365; 3, кн. 3, с. 93-94; 4; 17].

5. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ п.п.	Название темы	Содержание	Объем в часах
<i>Осенний семестр</i>			
1	Создание электронной библиотеки компонентов для P-CAD	Изучение средств и способов создания схемных элементов и корпусов ИЭТ в системе P-CAD. Стеки контактных площадок. Определение соответствия между схемным элементом и корпусом ИЭТ	4
2	Создание принципиальной электрической схемы и трассировка печатной платы в P-CAD	Изучения средств и способов создания электрических схем ЭА в P-CAD 2001/05. Изучение способов размещения элементов на печатной плате, алгоритмов трассировки, редактирование стратегии трассировки	4
<i>Весенний семестр</i>			
3	Экспорт схемы электрической и платы печатной из P-CAD в AutoCAD. Оформление чертежа платы печатной и сборочного чертежа электронного блока с использованием пакета AutoCAD	Изучение возможности экспорта чертежей электрических схем и печатных плат из P-CAD в AutoCAD; получение навыков исправления и доработки экспортированных чертежей с использованием пакета AutoCAD в соответствии с нормативно-технической документацией на платы печатные, электрические схемы и сборочные чертежи электронных блоков	4

6. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п.п.	Название темы	Содержание	Объем в часах
<i>Осенний семестр</i>			
1	Представление схем электрических в матричной форме	Изучение особенностей представление схем электрических в виде матриц инцидентности цепей. Составление матриц инцидентности и смежности конкретной схемы электрической принципиальной	2
<i>Весенний семестр</i>			
2	Разработка маршрутной технологии с применением САПР ТП	Разработка маршрутной технологии сборки электронного блока на основе типовых технологических операций с применением САПР ТП ТехноПро	2

7. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Вариант 1

1. Составные части САПР. Основные требования и принципы создания САПР.
2. Пакет P-CAD 2001/06. Редактирование стратегии трассировки.
3. Задача.

Вариант 2

1. Модификации волнового алгоритма. Метод встречной волны.
2. Пакет P-CAD 2001/06. Возможности и способы вывода информации для дальнейшего изготовления плат печатных.
3. Задача.

Вариант 3

1. Комбинированные методы трассировки печатных соединений.
2. Алгоритмы размещения. Классификация. Непрерывно-дискретные алгоритмы.
3. Задача.

Вариант 4

1. Волновой алгоритм Ли трассировки печатных соединений.
2. Алгоритмы размещения. Классификация. Дискретные алгоритмы.
3. Задача.

Вариант 5

1. Основы теории алгоритмов. Способы записи алгоритмов. Свойства алгоритмов.
2. Модифицированные волновые алгоритмы трассировки. Метод соединения комплексами.
3. Задача.

Вариант 6

1. Эвристические алгоритмы размещения. Последовательные алгоритмы. Алгоритмы парной перестановки.
2. Волновой алгоритм Ли при трассировке с параллельной оптимизацией по нескольким критериям.
3. Задача.

Вариант 7

1. Трассировка проводных соединений. Алгоритм Прима.
2. Основные этапы проектирования печатных плат. Назначение, возможности, структура P-CAD 2001/06.
3. Задача.

Вариант 8

1. Классификация алгоритмов компоновки. Последовательные и итерационные алгоритмы компоновки.
2. Пакет P-CAD 2001/06. Графический редактор принципиальных схем.
3. Задача.

Вариант 9

1. Особенности алгоритмов размещения при многоцелевой оптимизации.
2. Постановка задачи трассировки печатных соединений. Классификация алгоритмов трассировки. Ортогональные алгоритмы.
3. Задача.

Вариант 10

1. Определение и состав математического обеспечения САПР. Основы теории графов и ее применение при проектировании электронной аппаратуры.
2. Пакет P-CAD 2001/06. Графический редактор символов компонентов.
3. Задача.

Вариант 11

1. Алгоритмы и модели трассировки. Классификация. Требования к трассировке.
2. Пакет P-CAD 2001/06. Создание и редактирование принципиальной электрической схемы.
3. Задача.

Вариант 12

1. Формальное описание коммутационных схем.
2. Пакет P-CAD 2001/06. Создание символов компонентов. Особенности создания символов неоднородных и дискретных компонентов.
3. Задача.

Вариант 13

1. Параллельный алгоритм размещения на основе метода обратного размещения.

2. Пакет P-CAD 2001/06. Создание корпусов компонентов со штыревыми и планарными выводами.

3. Задача.

Вариант 14

1. Эвристические алгоритмы трассировки.

2. Пакет P-CAD 2001/06. Автоматическое и ручное размещение компонентов на печатной плате.

3. Задача.

Вариант 15

1. Трассировка проводных соединений. Алгоритм Краскала.

2. Пакет P-CAD 2001/06. Автоматическая и ручная трассировка соединений. Особенности автотрассировщиков.

3. Задача.

Вариант 16

1. Составные части САПР. Основные требования и принципы создания САПР.

2. Пакет P-CAD 2001/06. Редактирование стратегии трассировки.

3. Задача.

Вариант 17

1. Модифицированные волновые алгоритмы трассировки. Метод встречной волны.

2. Представление коммутационных схем в памяти ЭВМ.

3. Задача.

Вариант 18

1. Модифицированные волновые алгоритмы трассировки. Лучевой алгоритм.

2. Представление монтажного пространства в памяти ЭВМ.

3. Задача.

Вариант 19

1. Трассировка плат печатных с применением алгоритмов, построенных на нейронных сетях.

2. Компоновка типовых элементов конструкций. Последовательные алгоритмы разрезания схем.

3. Задача.

Вариант 20

1. Итерационные алгоритмы компоновки.

2. Геометрическое моделирование и синтез форм деталей. Виды геометрических моделей и их применение при автоматизированном проектировании.

3. Задача.

Вариант 21

1. Алгоритмы и модели трассировки. Трассировка проводных соединений по алгоритму Краскала.
2. Получение программ, управляющих технологическим оборудованием, в САПР P-CAD 2000/06.
3. Задача.

Вариант 22

1. Алгоритмы и модели трассировки. Трассировка проводных по алгоритму Прима.
2. САПР P-CAD 2000/06: обмен данными с другими пакетами САПР.
3. Задача.

Вариант 23

1. Модифицированные волновые алгоритмы трассировки. Метод встречной волны.
2. САПР P-CAD 2000/06: создание стеков контактных площадок.
3. Задача.

Вариант 24

1. Непрерывно-дискретные алгоритмы размещения.
2. САПР P-CAD 2000/06: создание стеков контактных площадок.
3. Задача.

Вариант 25

1. Дискретные алгоритмы размещения.
2. САПР P-CAD 2000/06: утилиты системы для работы с библиотеками, создания файлов перекрестных ссылок и электрических связей.
3. Задача.

Вариант 26

1. Алгоритм гибкой трассировки при проектировании СМЭ.
2. САПР P-CAD 2000/06: задание технологических ограничений на трассировку соединений.
3. Задача.

Вариант 27

1. Элементы теории графов и их использование при проектировании СМЭ.
2. САПР P-CAD 2000/06: средства подготовки фотошаблонов плат печатных.
3. Задача.

Вариант 28

1. Алгоритмы канальной трассировки при проектировании СМЭ.
2. САПР P-CAD 2000/06: программа анализа паразитных эффектов плат печатных.
3. Задача.

Вариант 29

1. Алгоритм Абрайтиса трассировки печатных соединений.
2. САПР P-CAD 2000/06: схемотехническое моделирование средствами Protel.
3. Задача.

Вариант 30

1. Алгоритм трассировки печатных соединений по магистралям.
2. САПР P-CAD 2000/06: менеджер библиотек компонентов.
3. Задача.

8. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

По заданной схеме функциональной (рис. 1) выполнить компоновку и размещение электронного модуля.

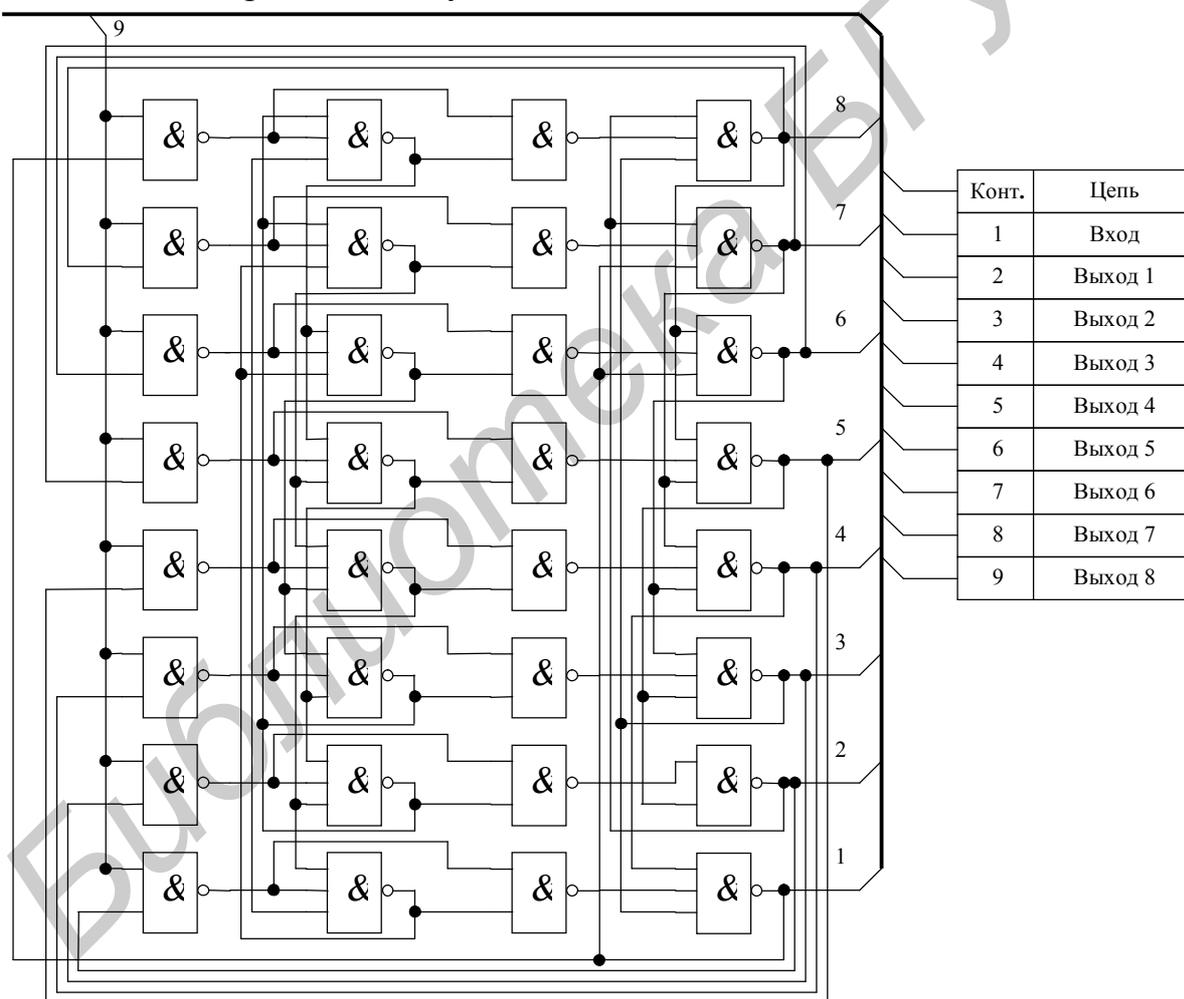


Рис. 1. Схема электрическая функциональная электронного модуля

Решение

При решении задачи необходимо выполнить:

- функциональное (схемотехническое) проектирование, в ходе которого выбирается функционально-логическая база, разрабатываются принципиаль-

ные электрические схемы изделий электронной техники в целом и ее составных частей, оптимизируются их параметры устройства;

- техническое (конструкторское) проектирование, которое решает задачи синтеза конструкций в целом, определяет компоновку и размещение элементов, разрабатывает топологию электрических соединений.

На первом этапе решения задачи выбирается элементная база. Электронный модуль (см. рис. 1) содержит 16 элементов 2И-НЕ и 16 элементов 3И-НЕ. Для реализации данного устройства будем использовать следующие микросхемы (выбираются по справочной литературе):

- К561ЛА7 – содержит 4 элемента 2И-НЕ в одном корпусе;
- К561ЛА9 – содержит 3 элемента 3И-НЕ в одном корпусе.

Справочная информация для данных микросхем приведена в приложении.

Расчет покрытия. В качестве примера для распределения восьми элементов 3И-НЕ по корпусам микросхем К561ЛА9 вычерчиваем часть схемы электрической функциональной электронного модуля, содержащую только группу элементов 3И-НЕ, и строим соответствующий ей граф (рис. 2).

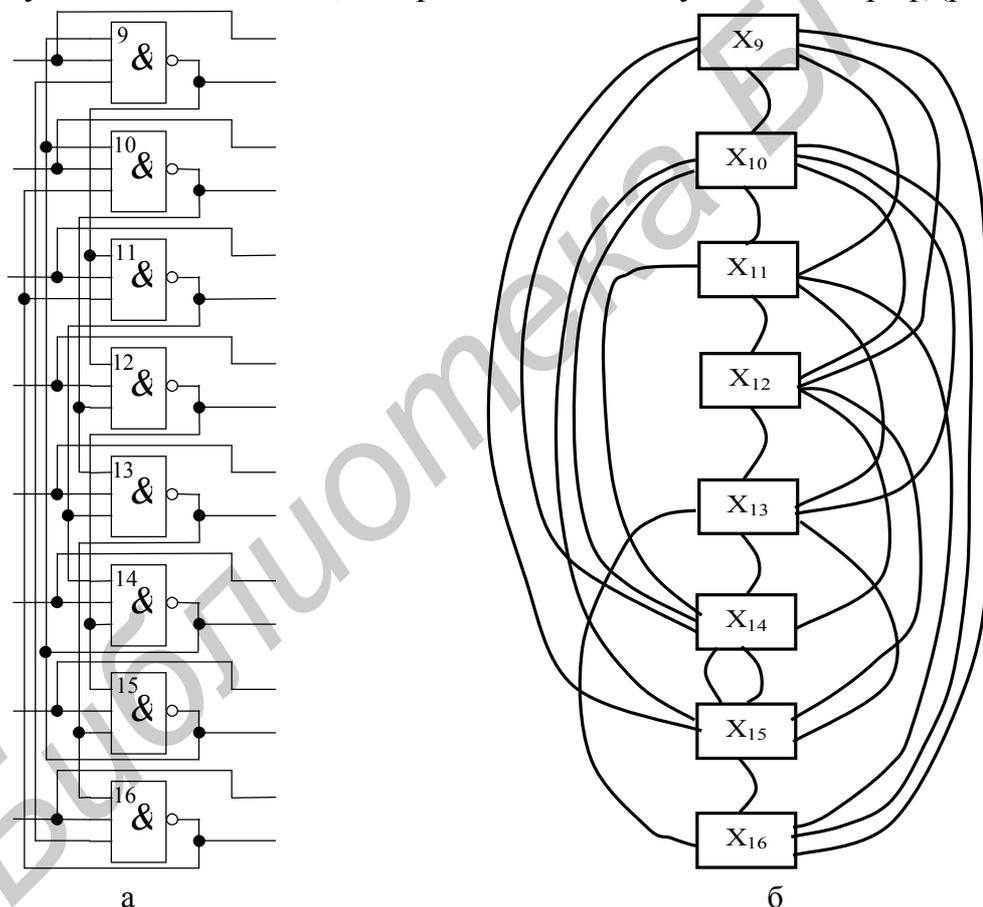


Рис. 2. Часть схемы электрической функциональной электронного модуля (а) и соответствующий ей граф смежности (б)

В качестве вершин графа X_i выбираются отдельные модули 3И-НЕ с соответствующими номерами. При составлении графа смежности внешние связи не учитывали, т.к. они сопрягаются с блоками другого типа (2И-НЕ).

Распределим по корпусам элементы X_9 - X_{18} . Для этого определяем локаль-

ные степени вершин:

$$\begin{aligned} \rho(X_9) &= 6, & \rho(X_{13}) &= 6, \\ \rho(X_{10}) &= 7, & \rho(X_{14}) &= 7, \\ \rho(X_{11}) &= 6, & \rho(X_{15}) &= 7, \\ \rho(X_{12}) &= 6, & \rho(X_{16}) &= 5. \end{aligned}$$

Принимаем за базовую вершину с большей локальной степенью. Для данного примера выбрали X_{14} . Вершина X_{14} и смежные с ней $X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}$ образуют подграф $G(X_{14}) = \{X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}\}$.

Для каждой из этих вершин рассчитываем значение функционала:

$$L_i = a_i - \rho_i, \quad (1)$$

где a_i – общее число связей проверяемой вершины; ρ_i – число связей проверяемой вершины с базовой.

$$\begin{aligned} L_9 &= 6 - 1 = 5, & L_{13} &= 6 - 1 = 5, \\ L_{10} &= 7 - 1 = 6, & L_{15} &= 7 - 2 = 5, \\ L_{11} &= 6 - 1 = 5, & L_{16} &= 5 - 0 = 5. \\ L_{12} &= 6 - 1 = 5, \end{aligned}$$

Выбираем вершину с минимальным значением функционала (для данного примера выбрали вершину с максимальным a_i – X_{15}) и производим факторизацию вершин X_{14} и X_{15} . В результате получаем новый граф, приведенный на рис. 3.

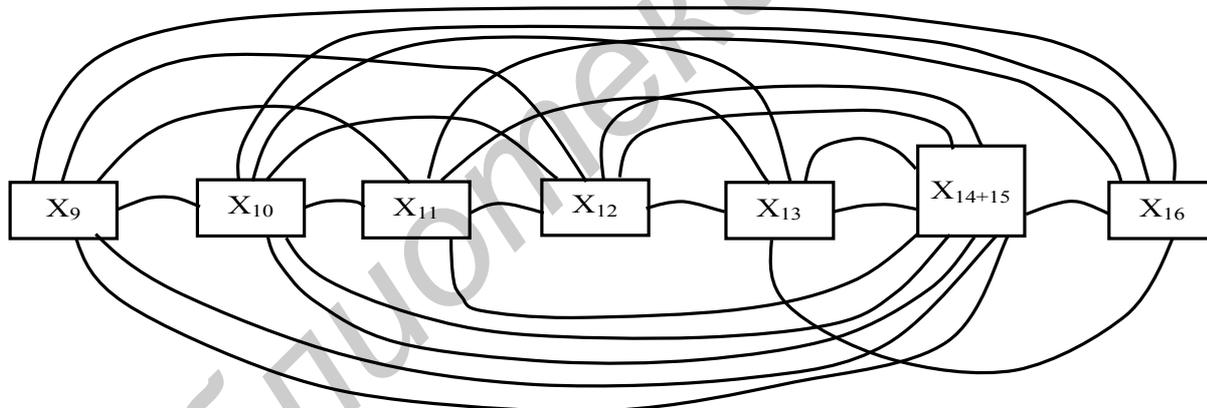


Рис. 3. Граф смежности части электронного модуля после первой итерации

Определяем локальные степени вершин:

$$\begin{aligned} \rho(X_9) &= 6, & \rho(X_{13}) &= 6, \\ \rho(X_{10}) &= 7, & \rho(X_{14+15}) &= 10, \\ \rho(X_{11}) &= 6, & \rho(X_{16}) &= 5, \\ \rho(X_{12}) &= 6, \end{aligned}$$

Принимаем за базовую вершину с большей локальной степенью X_{14+15} . Вершина X_{14+15} и смежные с ней $X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{16}$ образуют подграф $G(X_{14+15}) = \{X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{16}\}$.

Для каждой из этих вершин рассчитываем значение функционала:

$$L_9 = 6 - 2 = 4,$$

$$L_{10} = 7 - 2 = 5,$$

$$L_{11} = 6 - 2 = 4,$$

$$L_{12} = 6 - 2 = 4,$$

$$L_{13} = 6 - 2 = 4,$$

$$L_{16} = 5 - 1 = 4.$$

Выбираем вершину с минимальным значением функционала (X_9) и производим факторизацию вершин X_{14} , X_{15} и X_9 . Так как в микросхему К561ЛА9 входит три секции 2И-НЕ, то элементы 9, 14 и 15 объединяем в один корпус и исключаем их из рассматриваемого графа (рис. 4).

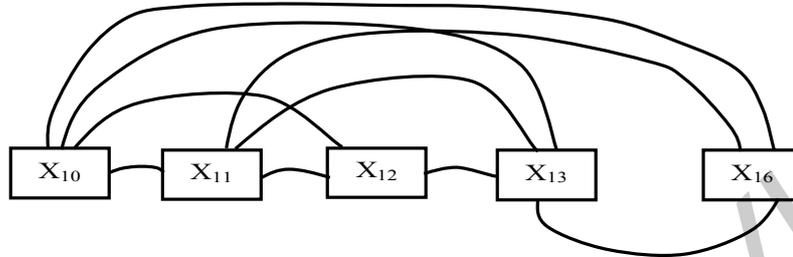


Рис. 4. Граф смежности части электронного модуля после второй итерации

Определяем локальные степени вершин:

$$\rho(X_{10}) = 4,$$

$$\rho(X_{11}) = 4,$$

$$\rho(X_{12}) = 3,$$

$$\rho(X_{13}) = 4,$$

$$\rho(X_{16}) = 3.$$

Принимаем за базовую вершину с большей локальной степенью (например X_{13}). Вершина X_{13} и смежные с ней X_{10} , X_{11} , X_{12} , X_{16} образуют подграф $G(X_{13}) = \{X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{16}\}$.

Для каждой из этих вершин рассчитываем значение функционала:

$$L_{10} = 4 - 1 = 3,$$

$$L_{11} = 4 - 1 = 3,$$

$$L_{12} = 3 - 1 = 2,$$

$$L_{16} = 3 - 1 = 2.$$

Выбираем вершину с минимальным значением функционала (например X_{12}) и производим факторизацию вершин X_{13} и X_{12} . В результате получаем новый граф, приведенный на рис. 5.

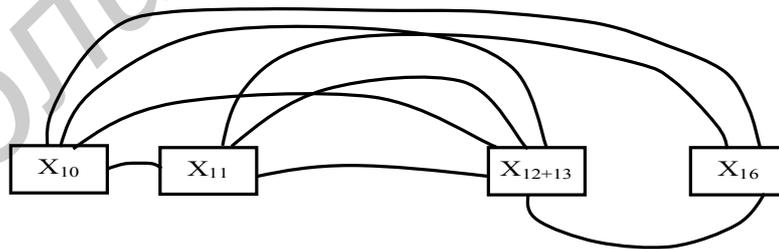


Рис. 5. Граф смежности части электронного модуля после третьей итерации

Определяем локальные степени вершин:

$$\rho(X_{10}) = 4,$$

$$\rho(X_{11}) = 4,$$

$$\rho(X_{12+13}) = 5,$$

$$\rho(X_{16}) = 3.$$

Принимаем за базовую вершину с большей локальной степенью (X_{12+13}). Вершина X_{12+13} и смежные с ней X_{10} , X_{11} , X_{16} образуют подграф $G(X_{12+13}) = \{X_{10}, X_{11}, X_{16}\}$.

Для каждой из этих вершин рассчитываем значение функционала:

$$L_{10} = 4 - 2 = 2,$$

$$L_{16} = 3 - 1 = 2.$$

$$L_{11} = 4 - 2 = 2,$$

Выбираем вершину с минимальным значением функционала (при равенстве функционалов выбираем вершину с максимальным a_i , например X_{10}) и производим факторизацию вершин X_{10} , X_{13} и X_{12} .

Элементы 10, 12 и 13 объединяем в один корпус. Оставшиеся элементы 11 и 16 также объединяем в один корпус.

Аналогичным образом производится компоновка остальных элементов по корпусам микросхем. В результате получаем схему электрическую принципиальную электронного модуля (рис. 6). Для оформления схемы по действующим стандартам необходимо соответствующим образом перенумеровать позиционные обозначения элементов.

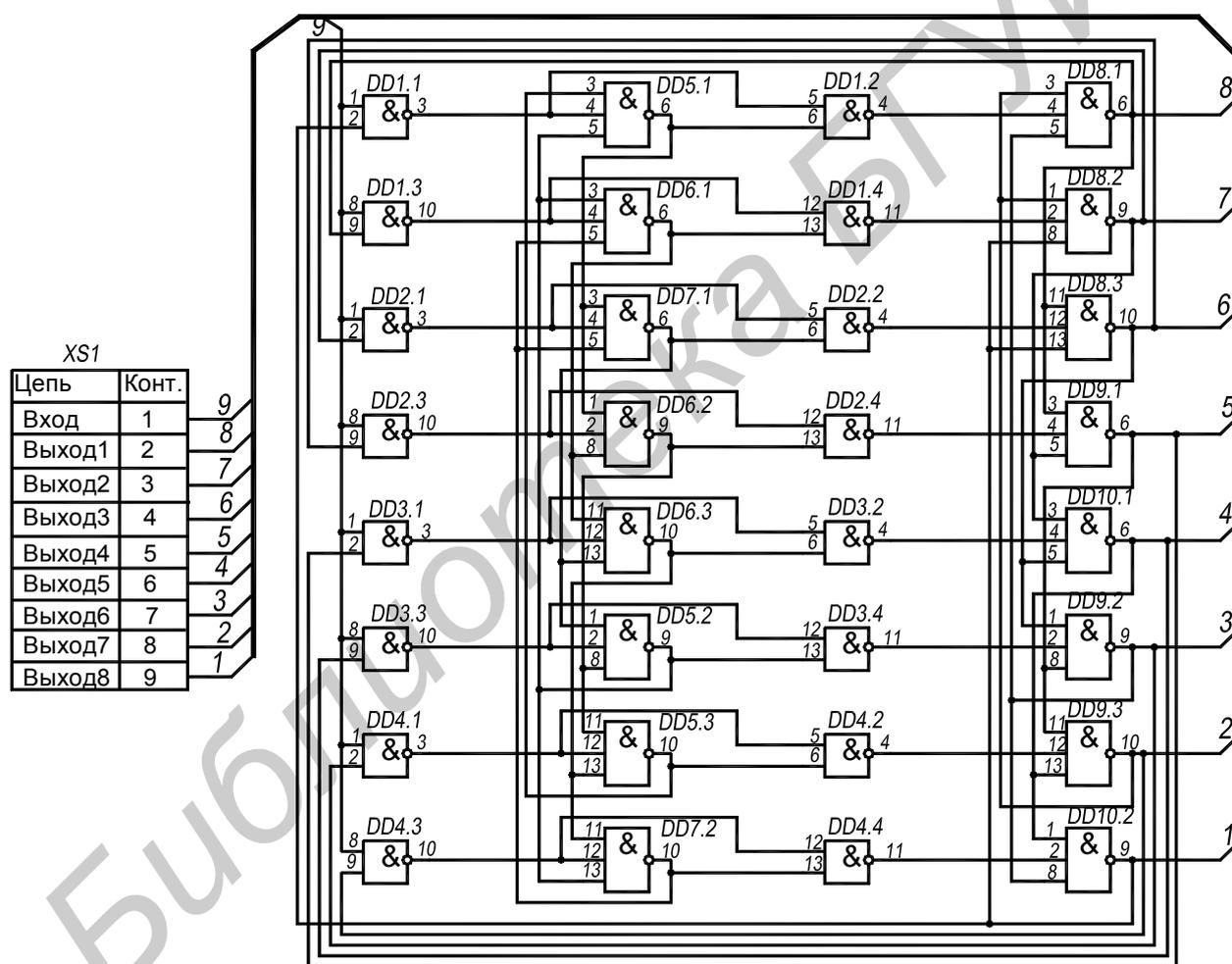


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная электронного модуля

Решение задачи размещения. Для построения математической модели задачи размещения удобно использовать граф смежности, в котором в качестве вершин графа – корпуса микросхем, а в качестве ребер – электрические связи между ними. На рис. 7 представлена часть графа, описывающего схему электронного модуля.

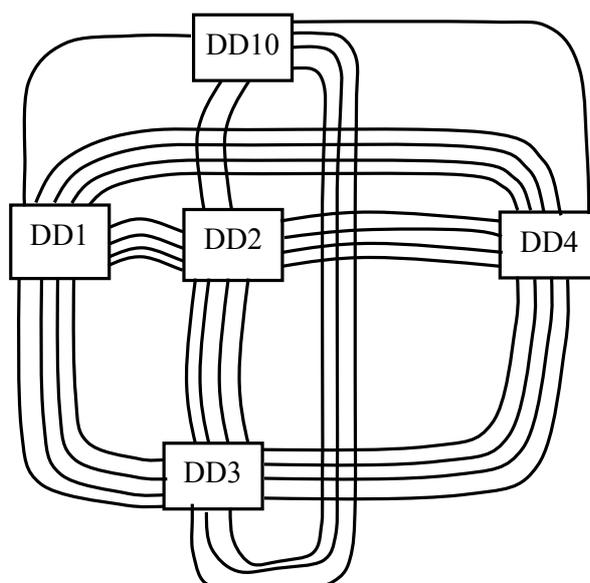


Рис. 7. Часть графа смежности электронного модуля

По построенному графу (см. рис. 7) составляем матрицу смежности R для электронного модуля:

	DD1	DD2	DD3	DD4	DD5	DD6	DD7	DD8	DD9	DD10	XS1	Σa_{ij}
DD1	0	4	4	4	3	5	0	6	1	1	4	32
DD2	4	0	4	4	3	3	2	3	3	2	4	32
DD3	4	4	0	4	3	3	2	0	5	3	4	32
DD4	4	4	4	0	3	1	3	0	3	1	4	27
DD5	3	3	3	3	0	2	4	0	0	0	0	18
DD6	5	3	3	1	2	0	3	0	0	0	0	15
DD7	0	2	2	3	4	3	0	0	0	0	0	14
DD8	6	3	0	0	0	0	0	0	5	3	4	21
DD9	1	3	5	3	0	0	0	5	0	4	7	28
DD10	1	2	3	1	0	0	0	3	4	0	5	19
XS1	4	4	4	4	0	0	0	4	7	5	0	32

Определяем суммарную величину связей каждого элемента конструкции с остальными, для чего в матрице смежности R произведем построчное сложение ее элементов a_{ij} и вычислим соответственно суммы Σa_{ij} .

Составляем модель монтажного пространства для электронного модуля. В качестве монтажного пространства выбираем плату печатную с 13 ячейками для размещения компонентов электронного модуля (рис. 8)

10	11	12	13
6	7	8	9
2	3	4	5
			1

Рис. 8. Модель монтажного пространства электронного модуля

По модели составляем матрицу расстояний D:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
2	1	0	1	2	3	1	2	3	4	2	3	4	5
3	1	1	0	1	2	2	1	2	3	3	2	3	4
4	1	2	1	0	1	3	2	1	2	4	3	2	3
5	1	3	2	1	0	4	3	2	1	5	4	3	2
6	2	1	2	3	4	0	1	2	3	1	2	3	4
7	2	2	1	2	3	1	0	1	2	2	1	2	3
8	2	3	2	1	2	2	1	0	1	3	2	1	2
9	2	4	3	2	1	3	2	1	0	4	3	2	1
10	3	2	3	4	5	1	2	3	4	0	1	2	3
11	3	3	2	3	4	2	1	2	3	1	0	1	2
12	3	4	3	2	3	3	2	1	2	2	1	0	1
13	3	5	4	3	2	4	3	2	1	3	2	1	0

В качестве элемента, который будет фиксировано устанавливаться в ячейку 1 монтажного поля печатной платы, выбираем розетку XS1 и рассчитываем коэффициенты относительно взвешенной связности для всех оставшихся элементов:

$$\Phi_i = \frac{\sum a_{ij}}{V_i}, \quad (2)$$

где a_{ij} – количество связей между проверяемым элементом и ранее установленными (из матрицы смежности R); V_i – общее количество связей проверяемого элемента.

$$\Phi_{DD1} = \frac{4}{32} = 0,125,$$

$$\Phi_{DD6} = \frac{0}{15} = 0,$$

$$\Phi_{DD2} = \frac{4}{32} = 0,125,$$

$$\Phi_{DD7} = \frac{0}{14} = 0,$$

$$\Phi_{DD3} = \frac{4}{32} = 0,125,$$

$$\Phi_{DD8} = \frac{4}{21} = 0,19,$$

$$\Phi_{DD4} = \frac{4}{27} = 0,148,$$

$$\Phi_{DD9} = \frac{7}{18} = 0,25,$$

$$\Phi_{DD5} = \frac{0}{18} = 0,$$

$$\Phi_{DD10} = \frac{5}{19} = 0,26.$$

На второй итерации размещаем элемент с максимальным значением Φ_i , т.е. элемент DD10.

Рассчитываем приращение целевой функции для незанятых ячеек монтажного пространства печатной платы:

$$\Delta F_i = a_{ij} \times r_{ij}, \quad (3)$$

где r_{ij} – расстояние между ячейками.

$$\Delta F_2 = a_{XS1DD10} \times r_{12} = 5 \times 1 = 5,$$

$$\Delta F_8 = a_{XS1DD10} \times r_{18} = 5 \times 2 = 10,$$

$$\Delta F_3 = a_{XS1DD10} \times r_{13} = 5 \times 1 = 5,$$

$$\Delta F_9 = a_{XS1DD10} \times r_{19} = 5 \times 2 = 10,$$

$$\begin{aligned}\Delta F_4 &= a_{XS1DD10} \times r_{14} = 5 \times 1 = 5, \\ \Delta F_5 &= a_{XS1DD10} \times r_{15} = 5 \times 1 = 5, \\ \Delta F_6 &= a_{XS1DD10} \times r_{16} = 5 \times 2 = 10, \\ \Delta F_7 &= a_{XS1DD10} \times r_{17} = 5 \times 2 = 10,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta F_{10} &= a_{XS1DD10} \times r_{110} = 5 \times 3 = 15, \\ \Delta F_{11} &= a_{XS1DD10} \times r_{111} = 5 \times 3 = 15, \\ \Delta F_{12} &= a_{XS1DD10} \times r_{112} = 5 \times 3 = 15, \\ \Delta F_{13} &= a_{XS1DD10} \times r_{113} = 5 \times 3 = 15.\end{aligned}$$

Выбираем минимальное значение из рассчитанных ΔF_i , это соответствует 2, 3, 4 и 5 ячейкам коммутационного поля. Заполняем ячейку с меньшим порядковым номером, т.е. элемент DD10 размещаем во вторую ячейку.

На третьей итерации рассчитываем коэффициенты относительной взвешенности элементов схемы электронного модуля:

$$\begin{aligned}\Phi_{DD1} &= \frac{a_{X1DD1} + a_{DD10DD1}}{V_i} = \frac{4+1}{32} = 0,156, & \Phi_{DD6} &= \frac{a_{X1DD6} + a_{DD10DD6}}{V_i} = \frac{0+0}{15} = 0, \\ \Phi_{DD2} &= \frac{a_{X1DD2} + a_{DD10DD2}}{V_i} = \frac{4+2}{32} = 0,187, & \Phi_{DD7} &= \frac{a_{X1DD7} + a_{DD10DD7}}{V_i} = \frac{0+0}{14} = 0, \\ \Phi_{DD3} &= \frac{a_{X1DD3} + a_{DD10DD3}}{V_i} = \frac{4+3}{32} = 0,218, & \Phi_{DD8} &= \frac{a_{X1DD8} + a_{DD10DD8}}{V_i} = \frac{4+3}{21} = 0,33, \\ \Phi_{DD4} &= \frac{a_{X1DD4} + a_{DD10DD4}}{V_i} = \frac{4+1}{27} = 0,185, & \Phi_{DD9} &= \frac{a_{X1DD9} + a_{DD10DD9}}{V_i} = \frac{4+7}{28} = 0,39. \\ \Phi_{DD5} &= \frac{a_{X1DD5} + a_{DD10DD5}}{V_i} = \frac{0+0}{18} = 0,\end{aligned}$$

На текущей итерации размещаем элемент с максимальным значением Φ_i , т.е. элемент DD9.

Рассчитываем приращение целевой функции:

$$\begin{aligned}\Delta F_3 &= a_{XS1DD9} \times r_{13} + a_{DD10DD9} \times r_{23} = 7 \times 1 + 4 \times 1 = 11, & \Delta F_9 &= a_{XS1DD9} \times r_{19} + a_{DD10DD9} \times r_{29} = 7 \times 2 + 4 \times 4 = 30, \\ \Delta F_4 &= a_{XS1DD9} \times r_{14} + a_{DD10DD9} \times r_{24} = 7 \times 1 + 4 \times 2 = 15, & \Delta F_{10} &= a_{XS1DD9} \times r_{110} + a_{DD10DD9} \times r_{210} = 7 \times 3 + 4 \times 2 = 29, \\ \Delta F_5 &= a_{XS1DD9} \times r_{15} + a_{DD10DD9} \times r_{25} = 7 \times 1 + 4 \times 3 = 19, & \Delta F_{11} &= a_{XS1DD9} \times r_{111} + a_{DD10DD9} \times r_{211} = 7 \times 3 + 4 \times 3 = 33, \\ \Delta F_6 &= a_{XS1DD9} \times r_{16} + a_{DD10DD9} \times r_{26} = 7 \times 2 + 4 \times 1 = 18, & \Delta F_{12} &= a_{XS1DD9} \times r_{112} + a_{DD10DD9} \times r_{212} = 7 \times 3 + 4 \times 4 = 37, \\ \Delta F_7 &= a_{XS1DD9} \times r_{17} + a_{DD10DD9} \times r_{27} = 7 \times 2 + 4 \times 2 = 22, & \Delta F_{13} &= a_{XS1DD9} \times r_{113} + a_{DD10DD9} \times r_{213} = 7 \times 3 + 4 \times 5 = 41. \\ \Delta F_8 &= a_{XS1DD9} \times r_{18} + a_{DD10DD9} \times r_{28} = 7 \times 2 + 4 \times 3 = 26,\end{aligned}$$

Выбираем минимальное значение из рассчитанных ΔF_i , это соответствует третьей ячейке коммутационного поля. Элемент DD9 размещаем в 3-ю ячейку.

На последующих итерациях аналогичным образом размещаем оставшиеся элементы электронного модуля в монтажном пространстве.

Элемент DD8 размещаем в ячейку 4, затем размещаем элемент DD1 в ячейку 5, так как он имеет максимальное количество связей с элементом DD8 и т.д. После размещения всех элементов модель монтажного поля печатной платы электронного блока будет выглядеть следующим образом (рис. 9).

Таким образом, по заданной схеме функциональной (см. рис. 1) спроектировали схему электрическую принципиальную электронного модуля (см. рис. 6) и выполнили размещение элементов схемы на плате печатной.

10	DD7 ₁₁	DD6 ₁₂	DD5 ₁₃
6	DD3 ₇	DD2 ₈	DD4 ₉
DD10 ₂	DD9 ₃	DD8 ₄	DD1 ₅
XS1 ₁			

Рис. 9. Схема размещения элементов электронного модуля на плату печатную

На следующем этапе проектирования электронного модуля можно выполнять трассировку платы печатной (в ходе выполнения курсовой работы).

9. КУРСОВАЯ РАБОТА

Целью курсовой работы является систематизация и закрепление теоретических знаний студентов по основным разделам дисциплины, углубленное изучение методики автоматизированного проектирования электронных блоков СМЭ, получение практических навыков работы с пакетами САПР, технической документацией на электронные изделия. При курсовом проектировании необходимо выполнить чертежи электрической схемы, платы печатной и сборочной единицы формата А2, А1. Курсовая работа предполагает проведение конструкторских и технологических расчетов при принятии решения. На выполнение курсовой работы необходимо затратить 12-16 часов аудиторного времени (работа на компьютере).

Курсовая работа должна соответствовать всем требованиям задания на курсовое проектирование и быть представлена к защите в установленные кафедрой сроки. Она состоит из пояснительной записки (25-30 страниц текстового материала) и графической части (2-3 листа формата А1, как правило, схема электрическая принципиальная электронного блока, чертеж платы печатной и сборочный чертеж блока).

Примерный перечень тем курсовых работ:

- разработка сборочного чертежа электронного узла СМЭ;
- разработка технологического процесса с применением ЭВМ;
- разработка комплекта конструкторской документации на механический узел ЭА с использованием системы AutoCad;
- разработка платы печатной средствами P-CAD включая подготовку конструкторской документации с помощью AutoCad;
- трехмерное проектирование технологической оснастки с использованием пакета CAD T-FLEX;
- трехмерное моделирование сборочного чертежа электронного блока с использованием пакета CAD T-FLEX;
- разработка справочно-технологической системы типовых технологических операций и технологической оснастки;

– моделирование технологического процесса создания ЭА с применением пакетов прикладных программ.

Исходными данными для курсовой работы являются: схема электрическая принципиальная электронного блока СМЭ (как правило, результат решения задачи контрольной работы), технические требования к условиям эксплуатации, сборке и монтажу устройства, а также программа выпуска изделия.

После получения задания студент внимательно изучает объект проектирования, используемую элементную базу и материалы, условия эксплуатации устройства, предполагаемые габариты изделия и технологию его изготовления, выбирает необходимые пакеты САПР для проектирования всего устройства (рекомендуется для проектирования платы печатной использовать пакет P-CAD).

Следующим этапом является расчет параметров печатной платы, включая компоновочный расчет и расчет элементов проводящего рисунка. По результатам расчетов уточняются габаритные размеры блока, класс точности и группа жесткости платы печатной, а также размеры ее конструктивных элементов (диаметры отверстий, размеры контактных площадок и т.п.). Затем с учетом полученных данных необходимо создать электронные библиотеки компонентов, входящих в разрабатываемое устройство [27, 29]. С помощью разработанных библиотек компонентов в САПР создается схема электрическая принципиальная (при использовании пакета P-CAD – в Schematic) и выполняется трассировка платы печатной с учетом рассчитанных размеров и технологических ограничений (при использовании P-CAD данные о схеме передаются в PCB, выполняется размещение корпусов изделий электронной техники на плате и трассировка по выбранным алгоритмам и технологическим ограничениям) [27, 29].

Завершающим этапом работы студента является оформление чертежей в соответствии с существующей нормативно-технической документацией. Для этого необходимо экспортировать данные из P-CAD в пакет САПР, выбранный для оформления документации, доработать чертежи и вывести их на печать [28, 31].

Курсовая работа считается законченной после того, когда все разделы задания выполнены в полном объеме, пояснительная записка и чертежи подписаны студентом [31]. После проверки руководителем пояснительной записки и графической части необходимо исправить сделанные замечания, не стирая пометок преподавателя, и подготовить доклад для защиты работы. На защиту студент предоставляет вместе с курсовой работой электронную версию графической части, а также электронные библиотеки компонентов и промежуточные результаты работы пакета по трассировке схемы.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств: Учеб. пособие для вузов / О.В. Алексеев, А.А. Головков, И.Ю. Пивоваров и др.; Под ред. О.В. Алексеева. - М.: Высш. шк., 2000. – 479 с.
2. Автоматизация машиностроения / Н.М. Капустин и др. – М.: Высш. шк., 2003. – 223 с.
3. САПР. Системы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для техн. вузов: В 9 кн. – Мн.: Выш. шк., 1989.
4. Ли К. Основы САПР (CFD/CAM/CAE). – СПб.: Питер Принт, 2004. – 560 с.
5. Разевиг В.Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001. – М.: «СОЛОН-Р», 2001. – 557 с.
6. Федоренков А., Кимаев А. AutoCAD 2002: практический курс. – М.: «ДЕСС КОМ», 2002. – 576 с.
7. Система автоматизации технологического проектирования ТехноПро. Версия 5. Руководство пользователя. - М: АО «ТОП Системы», 2003. – 485 с.
8. Погорелов В. AutoCAD 2006: моделирование в пространстве для инженеров и дизайнеров. – СПб.: ВHV-СПб, 2006. – 368 с.
9. Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат: Учеб. пособие. – М.: Радио и связь, 2001. – 220 с.

Дополнительная

10. Саврушев Э.Ц. P-CAD для Windows: система проектирования печатных плат: практическое пособие. – М.: Эком, 2002. – 320 с.
11. Тику Ш. AutoCAD 2004. – СПб.: Питер Принт, 2004. – 1040 с.
12. Ткачев Д. AutoCAD 2005. – СПб.: Питер Принт, 2005. – 462 с.
13. Мироненко И.Г. Автоматизированное проектирование узлов и узлов и блоков РЭС средствами современных САПР. - М.: Высш. шк., 2002. – 391 с.
14. Деньдобренко Б.Н., Малика А.С. Автоматизация конструирования РЭА: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1980. – 384 с.
15. T-FLEX PARAMETRIC CAD. Двумерное проектирование и черчение. Трёхмерное моделирование. Руководство пользователя. – М.: АО «ТОП Системы», 1999. – 245 с.
16. Techcard. Версия 3.5. Руководство пользователя / А.М. Куприянич, И.М. Гинзбург, Ф.И. Печков и др. – Мн.: Репринт, 1999. – 183 с.
17. Аветисян Д.А. Автоматизация проектирования электрических систем. – М.: Высш. шк., 1998. – 254 с.
18. Кудрявцев Е.М. Mechanical Desktop Power Pack. Основы работы в системе. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.
19. Pro/ENGINEER. Руководство по обучению основам конструирования. – USA: Parametric Technology Corporation. – 1996. - 243 с.

20. OrCad 10. Проектирование печатных плат / С.А. Кузнецова, А.В. Нестеренко, А.О. Афанасьев; Под ред. А.О. Афанасьева. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 454 с.

21. Степанов Н.В., Голованов А.А. Практический курс пользователя Pro/Engineer 2001 / Под общ. ред. Д.Г. Красовского. – М.: КомпьютерПресс, 2001. – 271 с.

22. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справ. пособие / Э.Т. Романычева и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.

Учебно-методические пособия

23. Табаровец В.В., Стацук И.П. Методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования». – Мн.: МРТИ, 1993. – 59 с.

24. Методическое пособие по разработке печатного монтажа / Ж.С. Воробьева, Н.С. Образцов, С.Н. Юрко и др. – Мн.: МРТИ, 1993. – 120 с.

25. Печатные платы в конструкциях РЭС: Учеб. пособие по курсу «Конструирование радиоэлектронных устройств» для студ. спец. Т 08.01 00 «Проектирование и производство РЭС» / Под ред. Ж.С. Воробьевой, Н.С. Образцова. – Мн.: БГУИР, 1999. – 87 с.

26. Станкевич А.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Прикладные пакеты систем автоматизированного проектирования проблемно-ориентированных электронно-вычислительных средств». – Мн.: БГУИР, 2000. – 36 с.

27. Системы автоматизированного проектирования: Лаб. практикум для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптическое аппаратостроение» дневной формы обуч. В 3 ч. Ч. 1: Проектирование печатных плат в PCAD 2001 / В.М. Бондарик, А.М. Криштапович. – Мн.: БГУИР, 2004. – 63 с.

28. Системы автоматизированного проектирования: Лаб. практикум для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптическое аппаратостроение» дневной и заочной форм обуч.: В 3 ч. Ч. 2. Проектирование электронной аппаратуры в AutoCAD / В.М. Бондарик, С.В. Кракасевич, Н.Е. Казаринова, М.А. Беляцкий. – Мн.: БГУИР, 2005. – 53 с.

29. САПР P-CAD 2001: Лаб. практикум по курсу «Прикладные пакеты систем автоматизированного проектирования проблемно-ориентированных электронных вычислительных средств» для студ. спец. 40 02 02 «Электронные вычислительные средства» дневной формы обуч. / А.В. Станкевич, Д.С. Лихачёв. – Мн.: БГУИР, 2004. – 55 с.

30. Системы автоматизированного проектирования: Лаб. практикум для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптические системы и технологии» дневной и заочной форм обуч.: В 3 ч. Ч. 3. Параметрическое проектирование электронной аппаратуры в пакете T-FLEX CAD / В.М. Бондарик, С.В. Кракасевич, Д.В. Марковник. – Мн.: БГУИР, 2006. – 49 с.

31. Медицинская электроника. Дипломное проектирование / В.М. Бондарик, В.А. Бурский, А.Н. Осипов и др.; Под ред. А.П. Достанко. – Мн.: БГУИР, 2002. – 158 с.

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО МИКРОСХЕМАМ

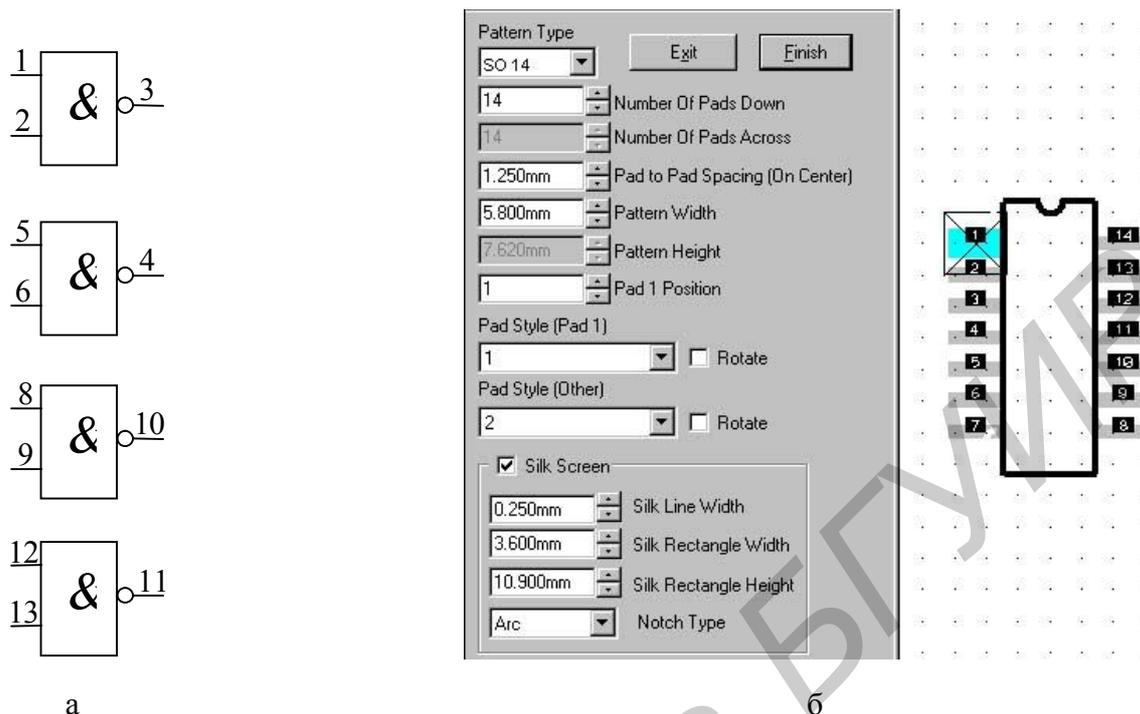


Рис. П.1. Схемный элемент (а) и изображение корпуса SO 14 в PCAD (б) для микросхемы К561ЛА7

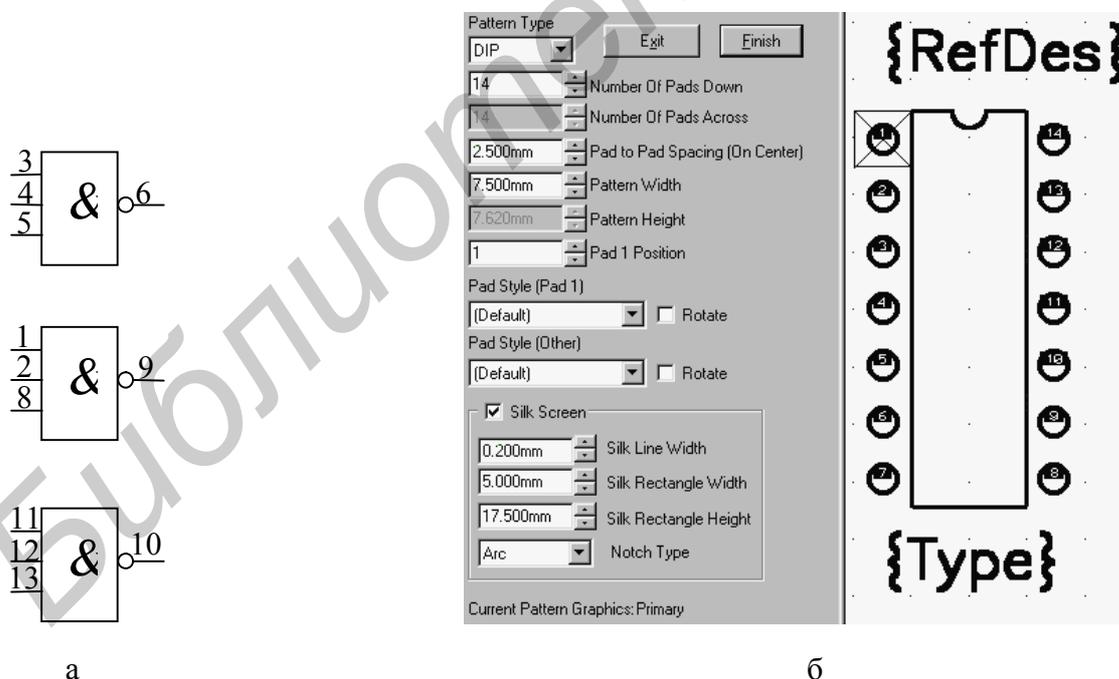


Рис. П.2. Схемный элемент (а) и изображение корпуса DIP 14 в PCAD (б) для микросхемы К561ЛА9

Примечание. К выводу 7 микросхем К561ЛА7, К561ЛА9 подключается потенциал «Земля», к выводу 14 – +6...15 В.

Учебное издание

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

для студентов специальности
«Медицинская электроника»
заочной формы обучения

Составители:

**Бондарик Василий Михайлович,
Кракаевич Сергей Викторович**

Редактор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 21.03.2006.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,5.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,74.
Заказ 638.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Лицензия на осуществление издательской деятельности № 02330/0056964 от 01.01.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности № 02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6