

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЗЛА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта по дисциплине
«Основы автоматизированного проектирования РЭС»
для студентов направления

11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»
(профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»)
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.396.6.001.66
ББК 38.54

Составители:

д-р техн. наук О.Ю. Макаров
канд. техн. наук И.С. Бобылкин

Методы автоматизированного топологического проектирования узла на печатной плате: методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Основы автоматизированного проектирования РЭС» для студентов направления 11.03.03 "Конструирования и технология электронных средств" (профиль "Проектирование и технология радиоэлектронных средств") всех форм обучения / ФБГОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. О.Ю. Макаров, И.С. Бобылкин. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 14 с.

Приведены описание структуры и содержания курсового проекта, посвященного изучению и овладению навыками практического применения математических методов синтеза и анализа при топологическом проектировании узлов РЭС.

Предназначены для проведения курсового проектирования по дисциплине «Основы автоматизированного проектирования РЭС» для студентов 3 курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле КП_ОАП РЭС.pdf.

Ил. 5. Библиогр.: 21 назв.

УДК 621.396.6.001.66
ББК 38.54

Рецензент – М. А. Ромащенко, д-р техн. наук, проф.
кафедры конструирования и производства
радиоаппаратуры ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших составляющих деятельности как ученого-исследователя, так и преподавателя высшей школы является подготовка к опубликованию результатов своих исследований в специализированных изданиях (научные публикации) и в издательстве вуза (научные, научно-методические и учебно-методические публикации). Кроме того, свою научную квалификацию ученые и инженеры проявляют в ходе выполнения финансируемых государством или предприятиями (организациями) работ по хоздоговорной и/или госбюджетной тематике. Полученные результаты оформляются в форме отчета по научно-исследовательской работе. При любом варианте представления полученных результатов, предназначенных для опубликования с целью получения авторского права, или с целью получения вознаграждения за свой труд, или с целью оказания методической помощи студентам в освоении ими новых знаний, автор обязан соблюдать требования нормативных документов, регламентирующих форму представления соответствующей информации. Обучение в магистратуре имеет целью подготовку кадров к организации и осуществлению научно-исследовательской и педагогической деятельности, прежде всего, в высших учебных заведениях. Поэтому крайне важно, чтобы магистранты получили опыт в реализации деятельности, описанной выше.

1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа оформляется в виде пояснительной записки, содержащую теоретическую и практическую части. Темы курсовых работ разделены по вариантам. Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в списке группы. Студент самостоятельно планирует выполнение работы в течение всего семестра, с учетом обеспечения равномерности работы. Возникающие трудности можно обсудить на плановых консультациях.

Курсовая работа оформляется по следующим правилам:

- используются чистые белые листы бумаги формата А4 по ГОСТ 9327;
- при наборе контрольной работы с использованием компьютера и принтера в текстовом редакторе Microsoft Word использовать следующие установки: шрифт Times New Roman 14 кегль, цвет шрифта - черный, междустрочный интервал - полуторный, отступ первой строки (абзацный отступ) 1,25 см, выравнивание текста - по ширине, в режиме качественной печати;
- необходимо соблюдать следующие размеры полей: левое - 20 мм, правое - 10 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм;
- страницы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту контрольной работы. Номер страницы проставляют в центре нижней части листа без точки, отступив один интервал от текста. Не

обходимо обратить особое внимание на параметры шрифта номера страницы, он должен совпадать с настройками для основного текста;

- на все используемые формулы, справочные данные и выдержки из литературы необходимо делать ссылки (номер книги из списка литературы, заключенный в квадратные скобки, например, [2]);

- титульный лист, задание на курсовую работу и лист замечаний руководителя включают в общую нумерацию страниц контрольной работы, но номера страниц на них не проставляют;

- объем курсовой работы должен составлять 20-25 страниц.

Более детально ознакомиться с правилами оформления текстовой и графической документации можно в СТП ВГТУ 005-2007.

Показателем качества курсовой работы служит не объем пояснительной записки или приложений, а аккуратность и четкость оформления, самостоятельность при выполнении, степень соответствия заданию и методическим указаниям, правильность, обоснованность и непротиворечивость принимаемых решений, грамотность изложения (при написании работы и ее защите).

Пояснительная записка курсовой работы должна содержать следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;
- лист замечаний руководителя;
- содержание;
- введение;
- основную часть;
- заключение;
- список литературы;
- приложения.

Титульный лист курсовой работы имеет единую форму, шаблон которой можно скачать на официальном сайте университета. На титульном листе не допускаются исправления и перенос текста. Титульный лист подписывается руководителем курсовой работы, если она допускается к защите. Студентом она подписывается после написания и при сдаче руководителю.

Бланк задания располагается после титульного листа. Задание, содержит тему курсовой работы, исходные данные к работе, перечень подлежащих разработке вопросов, перечень графического материала, дату выдачи задания и срок сдачи работы с подписями руководителя и исполнителя. Бланк заполняется руководителем работы.

Лист замечаний является третьим листом пояснительной записки курсовой работы. Содержит только название. По результатам проверки курсовой работы руководитель фиксирует в нем замечания и дополнения. При повторной сдаче пояснительной записки лист замечаний не меняется.

Содержание курсовой работы должно включать в строгом соответствии с текстом пояснительной записки перечень заголовков всех разделов, подразделов работы, список использованных источников и приложения с указанием соответствующих страниц.

Введение вступительный раздел основного текста курсовой работы. Оно должно содержать обоснование темы, ее актуальность, значение и задачи исследования. В нем определяется объект исследования, приводятся отдельные пояснения к содержанию работы, ее структуре, кругу исследуемых вопросов, указываются источники и фактические материалы, являющиеся методологической основой написания курсовой работы.

Основная часть должна отражать суть курсовой работы. Ее содержание более подробно описано в п.3.

Заключение должно содержать результаты работы и соответствующие выводы. Приводится краткое описание проделанной работы, полученных результатов, степень выполнения поставленной задачи, рекомендации по дальнейшим работам.

Список литературы служит составной частью курсовой работы и показывает степень изученности проблемы студентом. В него должны войти все упомянутые и использованные в тексте работы источники. Нумерация источников производится по мере упоминания о них в тексте.

Приложения. Материал, дополняющий содержание курсовой работы, допускается давать в виде приложений. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого размера, алгоритмы решения задач, листинги программ и др. В этом случае в основном тексте дают ссылку на соответствующее приложение.

2 ЦЕЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Целью курсового проекта является изучение и практическое применение конкретных математических методов и алгоритмов, используемых при автоматизированном топологическом проектировании узлов РЭС на печатных платах для решения задач конструктивного синтеза и анализа проектных решений.

3 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовой проект должен содержать решение трех типовых задач топологического проектирования РЭС: компоновки, размещения и трассировки соединений, а также анализ теплового режима и паразитных параметров топологии узла на печатной плате.

Исходные данные для проектирования формируются с помощью специальной программы генерации заданий индивидуально для каждого студента и

включают перечень соединений между выводами компонентов схемы и матрицу смежности. Порядок работы с программой при получении варианта задания приведен в приложении.

Для решения указанных задач каждый студент выбирает один из типовых алгоритмов компоновки, размещения и трассировки, приведенных в литературе /1-18/, наиболее широко применяемые из них перечислены в п. 3.1-3.3.

3.1 Компоновка

Выполнение компоновки заключается в разбиении схемы на два одинаковых по числу элементов блока с помощью одного из последовательных алгоритмов, например, приведенных в /1-8,11,12/, и др. Полученный вариант компоновки оптимизируется с помощью итерационного алгоритма, например, методом парных перестановок /1, 3, 5, 6, 8,15/ и т.д.

В частности, для решения данных задач могут использоваться следующие алгоритмы: последовательный метод компоновки /2, 11/; итерационный алгоритм разбиения графа /7, с.153/; компоновка методом групповых перестановок /2/; метод разбиения графа с использованием матрицы цепей в задаче компоновки /2/; матричный метод компоновки /2/; метод разбиения графа с использованием внутренних полных подмножеств в задаче компоновки /2/; итерационный алгоритм разбиения гиперграфа в задаче компоновки /2/; последовательно-итерационный алгоритм компоновки /1, с.163/; алгоритм компоновки с учетом диагностирования РЭС /1, с.168/; последовательный алгоритм разбиения схемы /3, с.118/; последовательный алгоритм разбиения /3, с.121/; последовательный алгоритм разбиения /3, с.123/; последовательный алгоритм разбиения /3, с.128/; последовательный алгоритм разбиения /3, с.132/; итерационный алгоритм разбиения графа /3, с.149/; алгоритм компоновки методом вектора спада /4, с.23/; алгоритм компоновки с помощью разбиения множества на мало связанные группы /4, с.33/; последовательный алгоритм компоновки /5, с.174; 11/; итерационный алгоритм компоновки /5, с.182; 11/.

3.2 Размещение компонентов схемы на плате

С помощью одного из типовых алгоритмов (/1-8,11,12,15/ и др.) проводится размещение компонентов одного из полученных при компоновке блоков на коммутационном поле платы. При этом сначала используется последовательный алгоритм размещения, а затем осуществляется оптимизация начального варианта размещения с помощью итерационного алгоритма.

В частности, для решения данных задач могут использоваться следующие алгоритмы: алгоритм последовательного размещения модулей в решетку /2/; алгоритм парных перестановок в задаче размещения /2/; размещение компонентов схемы методом ветвей и границ /2/; алгоритм, использующий понятие центра тяжести в задаче размещения /2/; алгоритм размещения разногабарит-

ных элементов /2/; алгоритм размещения на основе плоской триангуляции /2/; алгоритм размещения путем поиска медианы графа /1, с.196/; алгоритм размещения методом ветвей и границ /1, с.206/; алгоритм размещения /3, с.169/; алгоритм размещения методом вектора спада /4, с.26/; алгоритм размещения с помощью метода ветвей и границ /4, с.30/; алгоритм размещения методом дихотомического деления /7, с.37/; алгоритм размещения Гото /7, с.48/; алгоритм размещения методом сечений /7, с.53/; итерационный алгоритм размещения /5, с.203; 11/; последовательный алгоритм размещения /5, с.205; 11/.

3.3 Трассировка соединений

Для полученного варианта размещения компонентов схемы на плате построить для каждой цепи кратчайшие покрывающие деревья с помощью одного из соответствующих алгоритмов (Прима, Краскала, Штейнера,) /1, 3, 5, 6, 8/.

Для ликвидации пересечений проводников и уменьшения плотности соединений на плате проводится распределение проводников по слоям /1, 6/.

3.4. Анализ результатов проектирования

Для спроектированной платы проводится расчет паразитных параметров для одного-двух наиболее длинных проводников и определяется время задержки сигнала с помощью метода математического моделирования /19/ с использованием соответствующих программных средств /20/.

4 СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Пояснительная записка должна содержать:

титульный лист;

задание, включая распечатку варианта исходных данных;

введение:

основную часть, содержащую:

- цель и задачи курсового проекта;

- постановку задач;

- анализ задания (выбор и обоснование применяемых методов и алгоритмов);

- описание и структурные схемы используемых алгоритмов; реализация алгоритмов для конкретных исходных данных с расчетами и численными результатами;

- оценку оптимальности получаемой топологии;

- необходимые для пояснения расчетов рисунки;

- краткое описание моделей и алгоритмов и результаты моделирования времени задержки и температурного поля;

заключение (анализ полученных результатов);
приложения.

Графическая часть включает:

- чертеж принципиальной схемы;
- распределение компонентов по блокам в результате компоновки;
- чертеж размещения компонентов схемы на плате с указанием габаритных размеров;
- чертеж покрывающих деревьев для всех цепей на плате.

Выполняются чертежи на листах формата А4, А3 и включаются в приложения к пояснительной записке.

Оформление курсового проекта в соответствии с СТП ВГТУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курейчик В.М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР: Учеб. М.: Радио и связь, 1990. 352 с.
2. Мактас М.Я. Алгоритмические методы конструирования РЭА: Учеб. пособ. Саратов: СГУ, 1983. 106 с.
3. Морозов К.К., Одинокое В.Г., Курейчик В.М. Автоматизированное конструирование радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособ. М.: Радио и связь, 1983. 280с.
4. Автоматизация проектирования БИС: В 6 кн.: Учеб. пособ. /Под ред. Г. Г. Казеннова . М.: Высш. шк., 1990. Кн. 4.
5. Дендобренко Б.Н., Малика А.С. Автоматизация конструирования РЭА: Учеб. М.: Высш. шк., 1980. 384с.
6. Селюнин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. М.: Сов. радио, 1977. 384с.
7. Автоматизация проектирования БИС: В 6 кн.: Учеб. пособ./ Под ред. Г. Г. Казеннова . М.: Высш. шк., 1990. Кн. 6.
8. Автоматизация проектирования РЭС: Учеб. пособ. для вузов / О.В, Алексеев, А.А. Головкин, И.Ю. Пивоваров и др.; Под. ред О.В.Алексеева. М: Высшая школа, 2000. 479 с.
9. Системы автоматизированного проектирования в радиоэлектронике: Справочник / Е.В. Авдеев, А.Т. Еремич, И.П. Норенков, М.И. Песков; Под ред. И.П. Норенкова. М.: Радио и связь, 1986. 386 с.
10. . Норенков И.П., Маничев В.Б. Основы теории и проектирования САПР. М.: Высш. шк., 1990.- 335 с.
11. Автоматизация схемотехнического проектирования / В.Н. Ильин, В.Т. Фролкин, А.И. Бутко и др.; Под ред. В.Н. Ильина. М.: Радио и связь, 1987. 368 с.

12. Алипов Н.В. Задачник по автоматизации конструкторского проектирования РЭА и ЭВА. М.: Высш. шк., 1986. 160 с.
13. Автоматизация проектирования и производства микросборок и электронных модулей / Н.П. Меткин, М.С. Лапин, Б.Н. Деньдобренко, И.А. Доморацкий; Под ред. Н.П. Меткина. М.: Радио и связь, 1986. 280 с.
14. Петухов Г.А., Смолин Г.Г., Юлин Б.И. Алгоритмические методы конструкторского проектирования узлов с печатным монтажем. М.: Радио и связь, 1987. 152 с.
15. Алгоритм парных перестановок для решения задач оптимизации компоновки и размещения элементов РЭС: Учеб. пособ. для вузов / Муратов А.В., Макаров О.Ю., Скоробогатов В.С., Скоробогатов М.В. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2001. 124 с.
16. Автоматизация конструирования больших интегральных микросхем / А. И. Петренко, П.П. Сыпчук, А.Я. Тетельбаум, В.А. Саватьев. Киев: Вища шк., 1983. 312 с.
17. Автоматизация проектирования СБИС на базовых кристаллах / А.И. Петренко, В.Н. Лошаков, А.Я. Тетельбаум, Б.Л. Шрамченко. М.: Радио и связь, 1988. 160 с.
18. Автоматизация проектирования матричных КМОП БИС / А.В. Назаров, А.В. Фомин, Н.Л. Дембицкий и др.; Под ред. А.В. Фомина. М.: Радио и связь, 1991. 256 с.
19. Проектирование СБИС: Пер. с яп. / М.Ватанабэ, К.Асада, К.Кани, Т.Оцуки. М.: Мир, 1988. 304 с.
20. Моделирование времени задержки сигнала в соединительных проводниках с диэлектрической изоляцией: Методические указания к лабораторной работе по дисциплине "Информационные технологии проектирования РЭС" для студентов специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» дневной формы обучения / Воронеж. гос. техн. ун-т; Сост. О.Ю. Макаров, С.Ю. Сизов, А.В. Турецкий. Воронеж: ВГТУ, 2010. 11 с.
21. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. М.: Радио и связь, 1990. 312 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ ПРОГРАММА ФОРМИРОВАНИЯ ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ

Программа **Project1** предназначена для формирования индивидуального варианта задания на курсовое проектирование по дисциплине "Информационные технологии проектирования РЭС". Формирование конкретного задания осуществляется с помощью генератора случайных чисел, что обеспечивает получение для каждого студента неповторяющегося варианта исходных данных.

Работа с программой при формировании варианта задания осуществляется в следующем порядке.

1. ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

На этом этапе работы от студента требуется ввести свои личные данные, как показано на рисунке 1.

Также необходимо ввести количество элементов и количество выводов у элементов (по умолчанию количество выводов принимается равным 10). После того как все данные необходимые для формирования задания были введены нужно нажать на кнопку [Сформировать] (рис. 1).

2. КОЛИЧЕСТВО СВЯЗЕЙ

Если все данные были введены корректно то, нажав на закладку [Количество связей], студент увидит окно (рис. 2) с таблицей, в которой указано количество связей между элементами. Эту таблицу можно распечатать, нажав на кнопку [Печатать].

The screenshot shows a window titled "Задание на курсовой проект" with three tabs: "Исходные данные", "Количество связей", and "Отчет". The "Исходные данные" tab is active. It contains two main sections. The left section, "Данные о студенте", has four input fields: "Группа:" with the value "РК-122", "Фамилия:" with "Шишлин", "Имя:" with "Максим", and "Отчество:" with "Сергеевич". The right section has two input fields: "Количество элементов" with the value "12" and "Количество выводов у элемента" with the value "10". At the bottom left of the window is a button labeled "Сформировать".

Рисунок 1 – Ввод личных данных студента

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

Рисунок 2 – Таблица «Количество связей»

3. ОТЧЕТ

Сформировав таблицу количества связей для всех элементов, необходимо сохранить полученные исходные данные в файл с расширением «.rtf». Для этого перейдем во вкладку [Отчет] (рис. 3) и в появившемся окне нажмем кнопку [Сохранить]. Появится окно, как на рисунке 4. В поле «Имя файла» нужно указать имя с которым ваш файл будет сохранен. Поле «Тип файла» трогать не нужно, расширение файлу присвоится автоматически. Нажав на кнопку [Сохранить], получим выходной файл отчета, в котором представлены таблица количества связей между элементами, а также таблицы связей между выводами элементов.

Группа: РК-122
Студент: Шишкин Максим Сергеевич.

Количество связей между элементами

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

Элемент № 1

Рисунок 3 – Поле программы отчет.

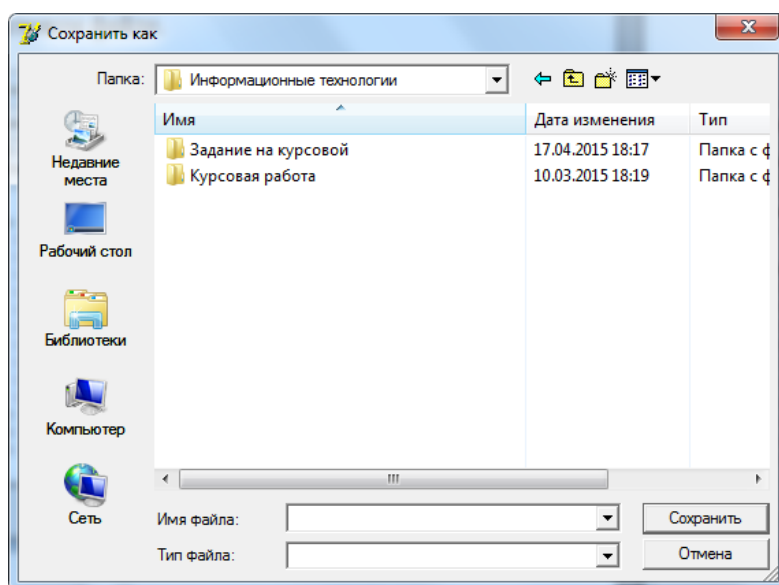


Рисунок 4 – Сохранение исходных данных в файл.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	3
2 ЦЕЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	5
3 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ.....	5
3.1 Компоновка.....	6
3.2 Размещение компонентов схемы на плате	6
3.3 Трассировка соединений	7
3.4. Анализ результатов проектирования	7
4 СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ...7	
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	8
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	10

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЗЛА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта по дисциплине
«Основы автоматизированного проектирования РЭС»
для студентов направления
11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»
(профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»)
всех форм обучения

Составители:
Макаров Олег Юрьевич
Бобылкин Игорь Сергеевич

Компьютерный набор И.С.Бобылкина

Подписано к изданию _____.
Уч.-изд. л. _____.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14