

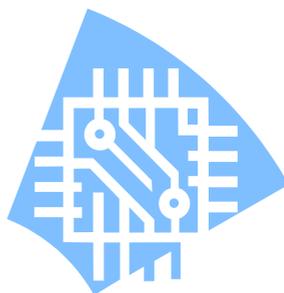
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»  
Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам

по дисциплине «Современные методы разработки многослойных печатных плат» для студентов направления подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» магистерские программы «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения», «Силовая электроника» очной и заочной форм обучения



Воронеж 2022

Составитель канд. техн. наук Н.В. Ципина  
УДК 621.3

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Современные методы разработки многослойных печатных плат» для студентов направления подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» магистерские программы «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения», «Силовая электроника» очной и заочной форм обучения/ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; сост. Н.В. Ципина. Воронеж, 2022. 13 с.

В ходе выполнения лабораторных работ студенты получают возможность практически освоить основные принципы и методы работы в системе Altium Designer, ознакомиться с последовательностью этапов проектирования, приобрести навыки по созданию и ведению библиотек электронных компонентов, а также по разработке конструкторской документации и ведению проекта в Altium Designer. Этапы проектирования печатной платы в системе Altium Designer. Методические указания снабжены рекомендуемой литературой.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе Microsoft Word 97 и содержатся в файле Лаб.раб\_Соврем\_мет\_разраб\_МПП.doc.

Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. О.Ю. Макаров

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.В. Башкиров

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

©ФГБОУ ВО "Воронежский государственный  
технический университет", 2022

## **СОЗДАНИЕ УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ (УГО) ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ**

### **1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ**

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

#### **1.2. Задание на лабораторную работу:**

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

Наличие развитой библиотеки ЭК является необходимым условием для нормальной работы системы. Поскольку стандартные библиотеки Altium Designer практически непригодны для работы российских проектировщиков, то они вынуждены создавать свои библиотеки, содержащие условные графические изображения, как компонентов российского производства, так и зарубежного, в соответствии с действующими стандартами. Размеры условно-графических обозначений приведены в ГОСТ 2.728, 2.730, 2.743. УГО компонента создается в графическом редакторе Schematic Library. В этом редакторе используются такие инструменты, как Place Pin, Place Line, Place Text String и другие. Для навигации по документу предназначены команды в выпадающем меню View:

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

Навигация по документу с помощью мыши: При помощи колеса прокрутки мыши изображение перемещается вверх и вниз; При прокрутке колеса мыши с нажатой клавишей Shift изображение перемещается влево и вправо;

Передвижение изображения в любую часть экрана возможно при нажатии и удержании правой кнопки мыши;

Масштабирование изображения осуществляется прокруткой с нажатой клавишей Ctrl.

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

Количество выводов УГО микросхемы (МС) цифровой логики обычно соответствует количеству ножек в корпусе за исключением ножек, которые всегда подключены к питанию или

земле. Недействующие на схеме выводы таких МС должны быть изображены в УГО, т.к. при повторном использовании ЭК могут быть задействованы все выводы (или иные чем при первом использовании). Это необходимо для ведения библиотек – чтобы каждому ЭК соответствовал один единственный элемент библиотеки, созданный в полном соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД.

УГО многосекционного компонента может быть построено целиком, со всеми секциями единым УГО. Однако для формирования принципиальной электрической схемы, которая бы легко читалась и наглядно демонстрировала принцип действия функционального узла, такое изображение не всегда удобно т.к.:

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

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

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

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

## **Контрольные вопросы к лабораторной работе №1.**

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

## **Лабораторная работа № 2**

### **Разработка посадочного места под корпус ЭК**

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

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

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

Посадочное место создается на основании чертежа ЭК. Посадочное место представляет собой набор контактных площадок и конструктив корпуса (вид сверху) компонента. Конструктив корпуса изображается упрощенно по габаритным размерам. Диаметр отверстия и контактной площадки (КП) для штыревого вывода выбирается из таблицы. Таблица составлена в соответствии с ГОСТ 11284-75 «Отверстия сквозные под крепежные детали. Размеры» и ОСТ4.010.022-85 «Платы печатные.

Методы конструирования и расчета», для печатных плат длиной до 360 мм, изготавливаемых по 3 классу точности.

Диаметры отверстий и КП для штыревых выводов мм

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

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

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

Посадочное место компонента создается в графическом редакторе PCB Library.

## **Контрольные вопросы к лабораторной работе №2.**

1. Что включает посадочное место под корпус ЭК?

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

### **Лабораторная работа № 3**

#### **Создание принципиальной электрической схемы**

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

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

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

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

### **Контрольные вопросы к лабораторной работе № 3.**

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

### **Лабораторная работа № 4.**

#### **Компоновка платы и размещение компонентов на плате**

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

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

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

Топология ПП представляет собой модель ПП, включающую: контур платы; посадочные места под корпуса ЭК; электрические связи, впоследствии заменяемые проводниками; и

другую различную графическую и текстовую информацию, необходимую для разработки и изготовления платы.

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

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

Размещение ЭК определяет результаты трассировки, поэтому рекомендуется тщательно изучить связи и в соответствии с этим наиболее оптимально разместить ЭК.

При размещении ЭК на плате необходимо соблюдать следующие требования:

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

- 2) Минимизировать количество пересечения электрических связей, чтобы минимизировать при трассировке количество переходных отверстий (для экономии места на плате, уменьшения количества технологических операций и экономии материалов).

- 3) Однотипные корпуса ориентировать одинаково (относительно расположения первого вывода). Чтобы минимизировать время монтажа; обеспечить удобство в ходе процессов те-

стирования, отладки и эксплуатации изделия; а также это улучшит внешний вид изделия.

4) Двухрядные корпуса ориентировать параллельно, чтобы обеспечить удобство в ходе трассировки. Важность соблюдения того или иного требования при возникновении противоречий определяет конструктор.

#### **Контрольные вопросы к лабораторной работе №4.**

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

#### **Лабораторная работа №5**

##### **Разработка топологии Многослойной ПП**

Цель работы: выполнить трассировку проводников на многослойной печатной плате.

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

1. Задать параметры проекта.
2. Вручную (интерактивно) растрассировать проводники питания с учетом ориентации проводников.
3. Автоматически развести остальные проводники.
4. Проверить топологию на DRC-ошибки.

5. Сохранить топологию ПП в файле с расширением pcbdoc.
6. Оформить конструкторскую документацию.

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

### **Контрольные вопросы к лабораторной работе №5.**

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

### **ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

Содержание отчета по лабораторным работам:

- 1) Титульный лист.

- 2) Оглавление с номерами страниц.
- 3) Отчет по библиотекам schlib и pcblib.
- 4) Настройки опций проекта (скриншоты всех категорий в развернутом виде).
- 5) Алгоритм (последовательность) размещения компонентов на плате (с учетом требований, изложенных в рекомендациях к л.р.). В алгоритме надо указывать позиционные обозначения ЭК. Например, корпуса D1 и D4 были размещены в соответствии с требованием №3 (однотипные корпуса ориентировать одинаково).
- 6) Конфигурация свапирования, результат оптимизации связей и окно ESO после оптимизации.
- 7) Принципиальная электрическая схема с изменениями после оптимизации связей.
- 8) Правила проектирования (скриншоты «PCB Rules and Constraints Editor» или описать словами).
- 9) Ориентация проводников (рисунки, описание, преимущества использования).
- 10) Топология платы.
- 11) Отчет об автотрассировке.
- 12) Bill of Materials (перечень элементов в xls).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Создание простой печатной платы с помощью Altium designer Режим доступа: [http://wzone.vegalab.ru/faq/faq\\_altium2](http://wzone.vegalab.ru/faq/faq_altium2)
2. Altium Designer уроки Режим доступа: <http://lab316.ru/site/doku.php?id=apps:altium>
3. Altium Designer 6. Новые возможности в версии 6.8 Режим доступа: [http://www.rodnik.ru/product/sapr/literature/altium\\_designer/pranovich/](http://www.rodnik.ru/product/sapr/literature/altium_designer/pranovich/)
4. Как подготовить фотошаблон для негативного фоторезиста в Altium Designer. Режим доступа: <http://altium123.narod.ru/FAQ-altium/FAQ3.html>
5. Илюкин О.А. Российская документация по Altium Designer. Учебное пособие [Электронный ресурс]: Вики по Altium. – Австралия: Altium Limited, [2011]. – Режим доступа: [wiki.altium.com](http://wiki.altium.com).
6. Сабунин А.Е. Разработка конструктивных параметров печатной платы / Современная электроника № 8. – М.: СТА-ПРЕСС, 2008.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. ....	1
Лабораторная работа № 2. ....	14
Лабораторная работа № 3. ....	22
Лабораторная работа № 4. ....	28
Лабораторная работа № 5. ....	34
Пример отчета по лабораторным работам .....	47
Библиографический список.....	47

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к лабораторным работам  
по дисциплине «Современные методы разработки многослой-  
ных печатных плат» для студентов  
направления подготовки 11.04.03 «Конструирование  
и технология электронных средств» магистерские программы  
«Автоматизированное проектирование и технология  
радиоэлектронных средств специального назначения», «Силовая  
электроника» очной и заочной форм обучения

Составитель:  
Ципина Наталья Викторовна

В авторской редакции

Подписано к изданию . .2022.  
Уч.-изд. л. 2,9. «С»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394026 Воронеж, московский просп., 14