

Авторы:

Дружинин Александр Александрович

студент

Пучков Александр Витальевич

студент

Научный руководитель:

Гринберг Георгий Михайлович

канд. пед. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический

университет им. академика М.Ф. Решетнева»

г. Красноярск, Красноярский край

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ «ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ МЕТОДОМ ОКОНТУРИВАНИЯ»

***Аннотация:** в работе описано место и роль электронных устройств, этапы их создания. Приведена методика проектирования печатной платы и технология ее изготовления методом оконтуривания, которые легли в основу разработки лабораторного практикума.*

***Ключевые слова:** электронное устройство, печатная плата, технология разработки, технология изготовления, лабораторный практикум.*

В современном мире человек окружен различными электронными устройствами. Они являются неотъемлемой частью ежедневного человеческого существования. Обусловлено это использованием электронной аппаратуры во всех сферах жизни: медицине, физике, области высоких технологий, военной отрасли, промышленности и быту. Масштабы разработки, производства и внедрения электронных устройств растут из года в год. Вместе с увеличением количества выпускаемой продукции, должно расти и качество, особенно это касается таких важных отраслей промышленности, как самолето- и ракетостроение, военно-промышленный комплекс.

Одной из ответственных операций в технологической цепочке создания электронного устройства является монтаж электронных компонентов. В настоящее время наиболее распространенным способом монтажа электронных компонентов является их установка на печатную плату (ПП).

Печатная плата – изделие, состоящее из одного или двух проводящих рисунков, расположенных на поверхности основания, или из системы проводящих рисунков, расположенных в объеме и на поверхности основания, соединенных между собой в соответствии с электрической схемой печатного узла, предназначенное для электрического соединения и механического крепления устанавливаемых на нем изделий электронной техники, квантовой электроники и электротехнических изделий [1].

Появление нового электронного устройства (ЭУ) во многом является результатом инженерной деятельности, которая на стадии разработки ЭУ состоит из следующих основных этапов:

- проработка и согласование с заказчиком технического задания на создание нового или модернизацию уже существующего ЭУ;
- выработка и согласование с заказчиком концепции создаваемого ЭУ;
- изготовление прототипа (опытного образца) ЭУ;
- проведение отладки и испытаний ЭУ;
- передача разработанного ЭУ в производство.

Важный этап в этой цепочке – изготовление прототипа (опытного образца) ЭУ, представляющего собой полнофункциональную модель разрабатываемого устройства, изготовленную в натуральную величину и максимально приближенную по своим характеристикам к серийному изделию. Чаще всего прототип создается в единственном экземпляре. Главный вопрос, на который позволяет ответить прототип: получилось ли технически реализовать техническое задание в разработанном устройстве и готово ли оно к передаче в серийное производство.

Печатная плата для прототипа ЭУ может быть изготовлена различными способами. Для целей прототипирования широкое распространение получила технология изготовления ПП методом оконтуривания (фрезерования). Основное достоинство этого метода – высокая оперативность и простота реализации. Преимущественное применение этот метод находит при единичном изготовлении или изготовлении прототипов печатных плат [2].

Для того, чтобы электронное устройство соответствовало современным требованиям и было высокого качества, в разработке и производстве ЭУ должны участвовать работники, имеющие необходимый уровень подготовки.

Кафедра систем автоматического управления (САУ), осуществляющая подготовку специалистов для базовых предприятий АО «Красмаш» и АО «ИСС», должна снабдить студентов теоретическими знаниями и практическими навыками в области технологии изготовления печатных плат и используемого для этого оборудования. Практические навыки в названной области студенты могут получить, выполняя лабораторные работы, содержащие все этапы технологического процесса изготовления печатных плат.

Целью выполненной работы является разработка лабораторного практикума, позволяющего изучить технологию изготовления печатной платы методом оконтуривания на современном фрезерно-сверлильном станке с числовым программным управлением Protomat S63.

Лабораторная работа состоит из двух частей: компьютерного моделирования печатной платы и изготовления печатной платы на фрезерно-сверлильном станке. Исходными данными для работы является принципиальная схема электронного устройства.

Компьютерное моделирование производится с помощью системы автоматического проектирования (САПР) Kicad. Целью данного этапа, является разработка печатной платы электронного устройства, которая выполняется по шагам:

1. Создание в САПР Kicad по имеющейся принципиальной схеме электронного устройства электронного аналога схемы.

Электронный аналог схемы создается в пакете Kicad стандартными средствами сквозного проектирования, как и в других подобных системах. Студентам необходимо освоить специфику редактора схем Eeschema, обучиться основным операциям: копирование и перемещение двух объектов, копирование и перемещение групп, добавление цепей, присваивание имен цепям.

2. Установление для электронных компонентов, входящих в схему электронного устройства, их условных графических обозначений (символов компонентов). Символы подбираются из числа имеющихся в базе пакета Kicad, в случае отсутствия таковых создаются новые символы.

В пакете Kicad для большинства выпускаемых промышленностью электронных компонентов имеется библиотека, в которой приведены присущие им параметры и символы. Но в ходе выполнения работы студенты могут столкнуться с проблемой, заключающейся в отсутствии в библиотеке этих данных для какого-либо компонента. Чтобы решить проблему, необходимо воспользоваться встроенным схемотехническим редактором и вручную создать символ, соответствующий данному компоненту схемы, а затем сохранить его в библиотеке программы.

3. Установление для электронных компонентов, входящих в схему электронного устройства, посадочных на печатную плату мест. Посадочные места подбираются из числа имеющихся в базе данных пакета Kicad, в случае отсутствия таковых создаются новые посадочные места.

Каждому из электронных компонентов на печатной плате должно быть отведено посадочное место (конструктивный шаблон) компонента, содержащее: изображение (шаблон) набора размещенных специфическим образом на ПП контактных площадок для пайки выводов, карту монтажных отверстий, шаблон для нанесения контура компонента и поясняющих надписей.

В пакете Kicad присутствует функция установки посадочных мест на печатную плату, а в базе данных имеется ряд посадочных мест электронных компонентов. Но здесь, как и на предыдущем шаге, можно столкнуться с проблемой, заключающейся в отсутствии в базе данных нужного компонента. Студенту необходимо, используя техническое описание компонента, вручную начертить

конструктивный шаблон посадочного места этого компонента. Полученный конструктивный шаблон заносится в базу данных пакета Kicad.

4. Проектирование топологии печатной платы.

Топология ПП представляет собой наглядное изображение пространственно-геометрического расположения совокупности элементов проектируемой платы и включает: границы ПП, корпуса электронных компонентов с посадочными местами, электрические соединения, печатные проводники, монтажные и крепежные отверстия, маркировку элементов и прочую информацию, необходимую для удобства проектирования, изготовления и эксплуатации изделия.

Проектирование топологии ПП – это разработка рисунка печатных проводников и определение расположения электронных компонентов на плате. В процессе проектирования топологии ПП выполнение следующие действия: компоновка (размещение) электронных компонентов на ПП и трассировка.

Компоновка ПП – это процесс, при котором находят оптимальное размещение электронных компонентов на ней. При выполнении компоновки стремятся обеспечить оптимальную плотность расположения компонентов и исключить паразитные электрические взаимосвязи между ними.

К одному из исходных данных для разработки топологии ПП относится принципиальная схема электронного устройства, на которой электронные компоненты представлены в виде условных графических обозначений (символов). Реальные устанавливаемые на печатную плату электронные компоненты выполнены в виде корпусов с выводами.

Для правильной разводки физического слоя печатной платы (printed circuit board, PCB) для электрической принципиальной схемы каждое условное графическое обозначение («компонент» в терминологии KiCad) должно быть связано с типом материального корпуса («модуль» в терминологии KiCad).

Поэтому электронные компоненты в системе KiCAD представлены в виде двух типов библиотек: библиотеки символьных элементов (файлы с расширением.lib) и библиотеки физических корпусов (файлы с расширением.mod, т.к. в KiCAD корпуса электронных компонентов принято называть модулями).

Этот принцип общий для всех систем проектирования плат, по-разному устроена только привязка символов и модулей друг к другу. В KiCAD привязка делается с помощью специальной программы CvPcb. На входе программы CvPcb имеется список цепей (netlist), который предварительно необходимо задать на этапе проектирования схемы, а также все необходимые библиотеки.

Трассировку печатной платы можно делать полностью вручную, автоматически, а также частично вручную и частично автоматически.

При выполнении трассировки ПП необходимо руководствоваться:

- рекомендациями, приведенными в нормативных документах, например, ГОСТ Р 53429–2009 [3];

- техническими характеристиками фрезерно-сверлильного станка Protomat S63, которые могут накладывать технологические ограничения на минимальную ширину линии проводящего рисунка, минимальный зазор между проводниками, минимальный диаметр отверстий под выводы электронных компонентов.

На участках ПП, где не требуется прокладывать отдельные токопроводящие дорожки, оставляются участки, покрытые медной фольгой – полигоны. Полигон – это большая по площади металлизированная область печатной платы. Чаще всего такие участки платы предназначены для создания проводящих областей, рассчитанных на большие токи, или с целью обеспечить экранирование элементов схемы, увеличения стойкости электронного устройства к помехам. Кроме того, создание полигонов упрощает производство печатной платы.

После очерчивания контура полигона выполняется процедура, получившая название «заливка медью», по сути заключающаяся в окрашивании площади полигонов в какие-либо цвета (обычно разные для верхнего и нижнего слоя платы) и подключении к полигонам соответствующих электронных компонентов создаваемого устройства.

Различают *Ground plane* – заливку медью полигонов, соединенных с общим проводом питания (GND). Такая заливка автоматически соединит все заземленные выводы компонентов на плате, что упрощает трассировку проводников. *Power plane* – по сути то же самое, что и *ground plane*, отличие только в том, что

эта заливка соединена не с шиной земли, а с шиной питания. Обычно power plane создается для проводников, которые должны иметь малые сопротивление/индуктивность, и/или которые проводят большой ток [4].

5. Верификация печатной платы.

Трассировка печатной платы представляет собой довольно трудоемкий и сложный процесс, поэтому ошибки неизбежны и, перед тем как приступить к изготовлению платы, необходимо провести ее проверку на отсутствие нарушений – провести так называемый DRC-контроль (контроль по параметрам). DRC-контроль позволяет проверить соответствие разводки печатной платы правилам проектирования, технологическим нормам и принципиальной электрической схеме.

Когда все уже сделано, проверено и оптимизировано, можно экспортировать топологию в специальные файлы, необходимые для управления работой фрезерно-сверлильного станка.

6. Получение файлов, являющихся входными данными для фрезерно-сверлильного станка.

Файлы с управляющей информацией для изготовления печатной платы подразделяются на GERBER-файлы (файлы фрезерования) и EXCELLON-файлы (файлы сверления). Для двухсторонней печатной платы разрабатывается три GERBER-файла: файл верхней стороны платы, файл нижней стороны платы и файл контура платы. На печатной плате должны быть предусмотрены реперные знаки – фрагменты платы, задающие общие измеряемые координаты. Реперные знаки необходимы для обеспечения точности позиционирования печатной платы при ее изготовлении и монтаже на плату электронных компонентов. EXCELLON-файл должен содержать информацию о сверлении 4 отверстий, которые выполняют роль реперных знаков.

Все действия по созданию GERBER-файлов и EXCELLON-файлов производятся в редакторе печатной платы Pcbnew.

Вторая часть лабораторной работы посвящена изготовлению печатной платы на фрезерно-сверлильном станке Protomat S63.

Станок предназначен для изготовления единичных образцов печатных плат путем фрезерования проводящего покрытия фольгированного диэлектрика или изготовления трафаретов из металлической фольги. Управление станком осуществляется при помощи ПК. Программное обеспечение предназначено для работы в операционной среде Windows и совместимо практически со всеми системами автоматического проектирования печатных плат. Для высокоточной обработки печатной платы используются специальные микрофрезы [5].

Технические характеристики станка приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики фрезерно-сверлильного станка Protomat S63

Максимальный размер материала и схемного рисунка (X/ Y/ Z), мм	229 x 305 x 35
Разрешение, мкм	±0,5
Точность повторения, мм	± 0,001
Точность в системе разметки, мм	± 0,02
Максимальная программно-управляемая скорость вращения шпинделя, об/мин	60.000
Смена инструмента	Автоматическая, 15 позиций
Установка ширины фрезерования	Автоматическая
Захват инструмента, мм	3,175
Производительность сверления, ходов/мин	120
Максимальная скорость перемещения по осям X, Y, мм/сек	150
X/Y-приводной механизм	3-фазный шаговый двигатель
Z-приводной механизм	2-фазный шаговый двигатель
Габариты (В x Н x Т), мм	670 x 540 x 840
Вес, кг	58
Электропитание	90 – 240 В, 50 – 60 Гц, 450 Вт
Необходимые принадлежности	Пылесос, вакуумный стол

На персональном компьютере, с которого осуществляется управление работой станка Protomat S63, должно быть установлено программное обеспечение CircuitPro, которое идет в комплекте со станком. Вся последующая настройка происходит в этом программном обеспечении. Запускается CircuitPro и создается

новый проект. Производится первичная настройка проекта: выбирается вид процесса – обработку печатной платы, выбирается количество обрабатываемых сторон, выбирается тип субстрата (материала).

Следующим этапом загружаются разработанные GERBER-файлы и EXCELLON-файлы. После загрузки файлов даются указания программе, какой файл относится к какой части изготавливаемой печатной платы, т.е. указывается что GERBER-файл верхней части платы – верхняя часть платы (TopLayer), GERBER-файл нижней части платы – нижняя часть платы (BottomLayer), GERBER-файл контура – контур платы (BoardOutline), EXCELLON-файл сверловки – отверстия в плате (DrillPlated).

Особенностью изготовления двусторонней печатной платы является необходимость переворачивать заготовку вручную, чтобы станок обработал обе стороны платы. Для того, чтобы станок мог определить нужную область обработки платы на заготовке создаются реперные знаки в виде 4 отверстий, которые высверливаются в заготовке в начале ее обработки.

После проведения вышеописанных настроек программа создает для станка траекторию инструмента – последовательность действий, которые будет выполнять станок при изготовлении печатной платы. Программа определяет расположение фрез и сверл в магазине инструментов. В соответствие с этим нужно поставить необходимые фрезы и сверла в соответствующие слоты магазина инструментов.

Заготовка устанавливается на вакуумный стол и за счет разряжения прижимается к нему. Чтобы обеспечить надежное закрепление заготовки и отсутствие ее движения во время работы станка, дополнительно рекомендуется приклеить заготовку к столу по контуру малярным скотчем.

Проводится заключительная настройка, которая включает в себя выбор области на заготовке, откуда будет вырезаться печатная плата и ручная установка шпинделя в начальную позицию – левый нижний угол. Для обеспечения требуемой глубины фрезерования, необходимо в программу ввести данные о толщине заготовки.

После выполнения вышеописанных действий станок готов к началу изготовления. Операции фрезерования и сверления производятся в автоматическом режиме.

Изготовленная печатная плата подвергается процедуре контроля:

1. Визуальный контроль. Этот вид контроля применяют для осмотра крупных элементов ПП. Плата проверяется на наличие сколов, трещин, целостность дорожек, а также на соответствие проекту: наличие областей, где должна быть фрезеровка и отсутствие областей, где фрезеровки быть не должна. Приведенные дефекты могут нарушить нормальную работу устройства или привести к выходу устройства из строя.

2. Измерительный контроль предназначен для проверки геометрических параметров ПП на соответствие проектным данным. Используются средства измерения геометрических размеров: штангениструменты, микрометры, измерительные микроскопы.

3. Электрический контроль позволяет убедиться в наличии электрических цепей, предусмотренных электрической схемой устройства, и в отсутствии цепей, не предусмотренных схемой. Для этого вида контроля должен быть использован прибор, предназначенный для прозвонки электрических цепей, например, мультиметр.

Профессия инженера охватывает множество различных направлений деятельности, поэтому будущий высококвалифицированный специалист, отвечающий требованиям современного мира, обязательно должен обладать, как навыками в области разработки, так и навыками в области практической реализации и применения своих разработок.

Описанная лабораторная работа выполняется в специализированном учебном помещении, оснащенном необходимым оборудованием, приспособлениями, инструментом и материалами. Исходными данными для выполнения лабораторной работы является принципиальная схема электронного устройства, а изготовленная печатная плата для этого устройства является итоговым результатом выполнения лабораторной работы.

Выполнение студентами предложенной лабораторной работы позволит обеспечить следующие образовательные результаты:

- произойдет улучшение и закрепление полученных теоретических знаний путем применения их на практике;
- студенты получают возможность ознакомиться на практике с оборудованием, используемым для производства электронных устройств;
- студенты получают навыки, необходимые для успешной работы по специальности на предприятии.

Список литературы

1. ГОСТ Р 53386 – 2009. Печатные платы. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 16 с.
2. Лебедев А.В. Организация изучения технологии изготовления печатных плат методом оконтуривания [Текст] / А.В. Лебедев, Г.М. Гринберг // Молодежь и наука XXI века: Материалы XII Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 томах. – Том 1. – Красноярск, 17 мая 2011 г. / Отв. за выпуск В.И. Пихутина; ред. кол. Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2011. – С. 212–215.
3. ГОСТ Р 53429–2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции [Текст]. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2010. – 8 с.
4. Eagle: полигоны и заливки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://microsin.net/adminstuff/others/eagle-polygons-and-ground-fills.html> (дата обращения 21.01.2017).
5. Характеристики станка LPKF Protomat S63 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lpkf.ru/products/rapid-pcb-prototyping/circuit-board-plotter/protomat-s63.htm/> (дата обращения 21.12.2016).