

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»**

Кафедра электропривода и автоматизации

**Составитель
В. А. Негадаев**

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ, МОНТАЖА И ДЕМОНТАЖА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

Методические материалы

**Рекомендовано цикловой методической комиссией
специальности СПО 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание
и ремонт электронных приборов и устройств
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе**

Кемерово 2018

Рецензенты

Григорьев А. В. – кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Шаулева Н. М. – кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Негадаев Владислав Александрович

Технология сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств: методические материалы [Электронный ресурс] для студентов специальности СПО 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств очной формы обучения / сост. В. А. Негадаев; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2018.

Приведен теоретический и практический материал, необходимый для успешного изучения дисциплины.

Методические материалы по дисциплине «Технология сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств» содержат перечень и содержание лабораторных, практических и самостоятельных занятий, список учебно-методических материалов.

© КузГТУ, 2018

© Негадаев В. А.,
составление, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Содержание дисциплины в соответствии с учебным планом	4
Содержание лабораторных и практических занятий	4
Содержание самостоятельной работы	100
Учебно-методические материалы по дисциплине	101

Предисловие

Целью освоения дисциплины «Технология сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств» является приобретение обучающимися знаний в области сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств.

Основными задачами изучения дисциплины «Технология сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств» являются:

- освоение принципов действия различных электронных приборов и устройств;
- освоение методов монтажа электронных приборов и устройств;
- изучение способов сборки электронных приборов и устройств;
- изучение методов демонтажа электронных приборов и устройств;
- изучение этапов и правил проведения процессов сборки, монтажа и демонтажа.

Содержание дисциплины в соответствии с учебным планом

В соответствии с учебным планом изучение дисциплины «Технология сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств» предусматривает проведение лекционных, лабораторных и практических занятий, самостоятельной работы обучающимися очной формы обучения.

Содержание лабораторных и практических занятий

Распределение часов по темам лабораторных и практических занятий обучающихся приведено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение часов по темам лабораторных и практических занятий

Наименование разделов и тем	Объем в часах
Виды монтажных работ. Технология навесного монтажа и сборки электронных приборов и устройств	48
Лабораторное занятие № 1. Оформление маршрутной карты на технологическую операцию навесного монтажа печатной платы заданного электронного устройства	4
Лабораторное занятие № 2. Выполнение проверки соответствия номиналов комплектующих радиоэлементов на выполнение монтажа электронного устройства по принципиальной схеме устройства	4
Лабораторное занятие № 3. Выполнение входного контроля печатных плат (базовых оснований монтажа) оптическим методом	4
Лабораторное занятие № 4. Выполнение операций формовки выводов электрорадиоэлементов и компонентов под технологические отверстия печатной платы	4
Лабораторное занятие № 5. Выполнение навесного монтажа электронного устройства по заданной электрической принципиальной схеме устройства	4
Лабораторное занятие № 6. Выполнение работ на установке автоматического сверления отверстий для навесного монтажа на печатной плате	4
Лабораторное занятие № 7. Выполнение навесного монтажа электрорадиокомпонентов на печатную плату	4
Лабораторное занятие № 8. Изготовление жгутов по заданным параметрам	4
Лабораторное занятие № 9. Выполнение шлейфовых соединений	4
Лабораторное занятие № 10. Выполнение входного контроля электрорадиоэлементов и компонентов, предназначенных для монтажа электронного устройства	4
Лабораторное занятие № 11. Выполнение оптического контроля паяных изделий	4
Лабораторное занятие № 12. Выполнение электромонтажа электронного блока	2
Лабораторное занятие № 13. Выполнение обработки РК- кабеля для подготовки к монтажу	2
Технологии печатного монтажа и электронных приборов и устройств	6
Лабораторное занятие № 14. Изучение и анализ технологии пайки навесного монтажа печатных плат волной припоя	2

Наименование разделов и тем	Объем в часах
Лабораторное занятие № 15. Разработка схемы взаимодействия односторонней и двусторонней волны припоя с печатной платой	2
Лабораторное занятие № 16. Изучение и анализ технологии пайки навесного монтажа печатных плат избирательным методом	2
Технология поверхностного монтажа	36
Практическое занятие № 17. Исследование и анализ специфики компонентов печатного монтажа (ПМ) и конструктивных требований к применяемым печатным платам	2
Практическое занятие № 18. Исследование и анализ конструктивных узлов технологии поверхностного монтажа	2
Практическое занятие № 19. Исследование и анализ основных конструктивных компонентов (составляющих) узла печатного монтажа и требований к ним	2
Практическое занятие № 20. Оформление маршрутной карты технологического процесса поверхностного монтажа электронного устройства (по заданию преподавателя)	2
Практическое занятие № 21. Отработка практических навыков применения ручного трафарета для нанесения паяльной пасты при выполнении печатного монтажа электронного устройства	2
Практическое занятие № 22. Разработка технологической программы для автомата Mechatronika M60 по установке SMD компонентов	2
Практическое занятие № 23. Анализ технических характеристик установка SMD-компонентов автоматом М-60 и нанесение паяльной пасты	2
Практическое занятие № 24. Изучение принципа работы и отработка практических навыков работы с настольной печью оплавления и методики выбора оптимального температурного режима печи оплавления	2
Практическое занятие № 25. Изучение методики (руководства) по подбору паяльной пасты	2
Практическое занятие № 26. Проведение выбора оборудования для отмывки поверхностно-монтируемых электронных устройств	2
Практическое занятие № 27. Изучение устройства и порядка эксплуатации ультразвуковой системы очистки (промывки) печатных плат	2
Практическое занятие № 28. Проведение анализа технологии выполнения бессвинцовой пайки в технике поверхностного монтажа	2

Наименование разделов и тем	Объем в часах
Практическое занятие № 29. Проведение анализа технологии выполнения конвекционной пайки оплавлением дозированного припоя при монтаже плотноукomпанованной печатной платы	2
Практическое занятие № 30. Проведение анализа методики паяемости контактируемых материалов в технике поверхностного монтажа	2
Практическое занятие № 31. Оформление таблицы дефектов поверхностного монтажа электронных устройств	2
Лабораторное занятие № 32. Выполнение операций подготовки печатной платы к монтажу	2
Лабораторное занятие № 33. Выполнение операции промывки печатной платы с элементами монтажа в промывочной ванне	2
Лабораторное занятие № 34. Проведение визуального и оптического контроля качества печатного монтажа электронного устройства	2
Технология ремонта/демонтажа электронных приборов и устройств	8
Лабораторное занятие № 35. Выполнение демонтажа печатного узла, собранного по технологии навесного монтажа термовоздушной паяльной станцией	2
Лабораторное занятие № 36. Выполнение демонтажа печатного узла, собранного по технологии поверхностного монтажа	2
Практическое занятие № 37. Изучение порядка и правил проведения утилизации электронных компонентов с содержанием драгоценных металлов	2
Практическое занятие № 38. Оформление акта дефектации (перечня дефектов) на печатный узел электронного устройства	2
Технология сборки полупроводниковых приборов и интегральных схем	14
Практическое занятие № 39. Выполнение анализа технологии высокоплотной сборки и поверхностного монтажа многокристалльных модулей на основе бескорпусных СБИС	2
Практическое занятие № 40. Изучение технологии сверхточной сборки и монтажа на основе многовыводных СБИС с применением BGA корпусов	2

Наименование разделов и тем	Объем в часах
Практическое занятие № 41. Проведение сравнительного анализа технических характеристик автоматов сборки для ИМС с планарными выводами	2
Практическое занятие № 42. Заполнение таблицы по основным причинам снижения влагостойкости полупроводниковых приборов	2
Практическое занятие № 43. Составление технологического процесса вакуумноплотной герметизации полупроводникового прибора (по заданию преподавателя)	2
Практическое занятие № 44. Выполнение сравнительного анализа по основным способам контроля герметичности полупроводниковых приборов и интегральных схем	2
Практическое занятие № 45. Проведение сравнительного анализа технических характеристик автоматов сборки интегральных схем с планарными выводами	2
Технология сборки изделий электронной техники	10
Практическое занятие № 46. Изучение и анализ оформления маршрутной карты сборочных операций	2
Практическое занятие № 47. Составление схемы последовательности сборки системного блока ПК	2
Практическое занятие № 48. Разработка технологической схемы сборки блока питания: последовательности установки полупроводниковых приборов, ИС и ЭРЭ на базовую деталь (печатную плату)	2
Практическое занятие № 49. Разработка технологической схемы сборки генератора прямоугольных импульсов: последовательности установки полупроводниковых приборов, ИС и ЭРЭ на базовую деталь (печатную плату)	2
Практическое занятие № 50. Выявление дефектов сборки электронного печатного узла (по заданию преподавателя)	2

При подготовке к лабораторным и практическим занятиям обучающиеся самостоятельно изучают основную и дополнительную литературу, готовят конспекты по темам, предложенным преподавателем.

На лабораторных и практических занятиях преподаватель осуществляет контроль подготовки качества знаний обучающегося, используя: опрос, обсуждение вопросов по темам изучаемой дисциплины, письменный опрос при текущем контроле и предоставление отчётов по лабораторным и практическим занятиям.

Лабораторное занятие № 1.

Оформление маршрутной карты на технологическую операцию навесного монтажа печатной платы заданного электронного устройства

Лабораторное занятие № 2.

Выполнение проверки соответствия номиналов комплектующих радиоэлементов на выполнение монтажа электронного устройства по принципиальной схеме устройства

Лабораторное занятие №3.

Выполнение входного контроля печатных плат (базовых оснований монтажа) оптическим методом

Лабораторное занятие № 4.

Выполнение операций формовки выводов электрорадиоэлементов и компонентов под технологические отверстия печатной платы

Лабораторное занятие № 5.

Выполнение навесного монтажа электронного устройства по заданной электрической принципиальной схеме устройства

Цель занятий: систематизировать знания в области проверки соответствия номиналов комплектующих радиоэлементов, входного контроля печатных плат, выполнения навесного монтажа электронного устройства.

Теоретический материал

Навесные элементы могут размещаться по одну или обе стороны печатной платы (ПП). Число элементов, устанавливаемых на плату, может достигать десятков и сотен штук. В зависимости от вида внешних выводов элементов монтаж на поверхность ПП делят на штыревой, планарный и поверхностный (рис. 1).

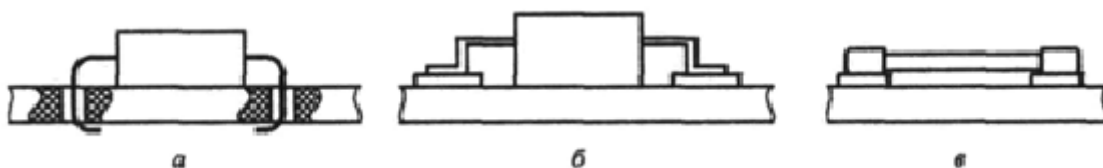


Рис. 1. Монтаж элементов на поверхность ПП

Установка микросхем (МС) и электрорадиоэлементов (ЭРЭ) на ПП проводится в зависимости от типа производства ручным, механизированным, полуавтоматическим или автоматическим способом. Однако вне зависимости от способа монтажа необходимо выполнение следующих операций: комплектация элементов, устанавливаемых на плату, подготовка элементов к монтажу, установка элементов на плату и их фиксация, пайка, защита и контроль готового модуля.

Комплектация устанавливаемых на ПП элементов: количество различных элементов по номиналам и типоразмерам определяется на основе спецификации, исходя из объема выпуска изделия в течение определенного периода. Закупаемые МС и ЭРЭ складывают на центральном заводском складе, откуда по заявкам их доставляют на цеховой склад или участок комплектации и далее на рабочие места.

Подготовка элементов к монтажу включает рихтовку (исправление формы выводов), формовку (придание выводам определенной формы), обрезку и лужение выводов.

При неплотном монтаже и небольшой партии ПП установку навесных элементов можно выполнять вручную по монтажному чертежу. В остальных случаях используют средства автоматизации и механизации. Чтобы установленные на ПП навесные элементы не выпали или не сдвинулись со своих мест при последующей транспортировке, необходимо их фиксировать на поверхности ПП. Надежным, но трудоемким способом фиксации осевых выводов является их подгибка с обратной стороны платы, или фиксация элементов за счет упругих свойств выводов, имеющих зиг-формовку. Микросхемы с планарными выводами фиксируют на плате приклеиванием или припайкой диагональных контактов. В случае применения МС со штыревыми выводами конической формы выводы при установке заклиниваются в монтажных отверстиях и надежно удерживаются перед пайкой. Элементы для поверхностного монтажа фиксируют путем приклейки на предварительно нанесенную паяльную пасту, на которой они устанавливаются и удерживаются.

Правила формовки выводов радиоэлементов.

Перед установкой и креплением элементов их выводы необходимо отформовать в соответствии со стандартом и технической документацией. При этом необходимо соблюдать следующие требования:

Формовку производить так, чтобы при установке деталей на плату номиналы элементов и знак полярности у диодов и электролитических конденсаторов были хорошо видны.

Изгиб выводов радиоэлементов должен производиться на расстоянии не менее 2 мм от корпуса.

Радиус изгиба примерно равен двум диаметрам вывода.

Выводы элементов в стеклянных корпусах (диоды) формировать на расстоянии не менее 3 мм от корпуса. Некоторые виды транзисторов допускается формировать на расстоянии не менее 5 мм.

Правила установки радиоэлементов на печатную плату.

Элементы устанавливаются в соответствии с технической документацией так, чтобы было видно номинал и маркировку полярности. Элементы устанавливаются параллельно и перпендикулярно друг другу. Расстояние от корпуса элемента до места пайки в процессе установки должны быть 3–5 мм (по выводу). Расстояние между корпусами соседних элементов должно быть не менее 0,5 мм. Корпуса радиоэлементов не должны выходить за габариты печатной платы. При установке транзисторов соблюдать маркировку эмиттер-база-коллектор. Микросхемы устанавливают в соответствии с маркировкой первого вывода. При установке элементов на односторонние печатные платы их можно располагать непосредственно на поверхности вплотную к плате. Выводы диаметром 0,7 мм и меньше подгибают по дорожке на 1,5–2 мм. Многовыводные и регулировочные элементы устанавливают без подгибки выводов. Для установки регулировочных элементов предусматриваются места для многоразовой пайки. Документация регулировочного элемента обозначается звёздочкой. При монтаже двухсторонних печатных плат элементы устанавливаются так, чтобы расстояние от корпуса до дорожек было в пределах 0,5–1,5 мм. При установке можно использовать диэлектрический материал. В этом случае элементы можно укладывать на поверхность двухсторонней платы. Микросхемы и транзисторы должны быть установлены до упора вывода. Высота выводов элементов (пайки) должна быть 0,5–2 мм. Выводы микросхем не подрезают.

Контроль монтажа печатных плат.

В процессе проверки необходимо проверить:

Качество пайки. Пайка должна быть ровной, глянцевой, без пор и посторонних вкраплений. Пайка должна быть «скелетной», то есть под припоем должен быть виден контур соединяемых выводов или

проводов. Должна быть полностью исключена возможность получения «ложной» пайки, при которой существует видимость пайки, но отсутствует электрический контакт.

Качество формовки и установки элементов на печатную плату.

Отсутствие отслоения дорожек в результате перегрева основания платы.

Отсутствие замыкания между печатными проводниками в результате разбрызгивания припоя.

При двухстороннем монтаже детали должны быть подняты на 0,5–1,5 мм над поверхностью платы.

Плата должна быть хорошо промыта. Не допускается вытекание флюса и промывочной жидкости на лицевую сторону платы.

Вопросы для обсуждения

1. Каковы правила формовки выводов радиоэлементов?
2. Каковы правила установки радиоэлементов на печатную плату?
3. Как проводится контроль монтажа печатных плат?

Лабораторное занятие № 6.

Выполнение работ на установке автоматического сверления отверстий для навесного монтажа на печатной плате

Цель занятия: сформировать навыки выполнения работ на установке автоматического сверления отверстий для навесного монтажа на печатной плате.

Теоретический материал

Механическая обработка печатных плат.

Механическая обработка печатных плат включает раскрой листового материала на полосы, получение из них заготовок, выполнение фиксирующих, технологических, переходных и монтажных отверстий, получение чистового контура ПП. Размеры заготовок определяются требованиями чертежа и наличием по всему периметру технологического поля, на котором выполняются фиксирующие отверстия для базирования деталей в процессе изготовления и тестовые элементы. При прессовании МПП на технологическом поле образует-

ся зона некачественной пропрессовки пакета, которая удаляется при обработке контура. Ширина технологического поля не превышает 10 мм для ОПП и ДПП и 20–30 мм для МПП. Малогабаритные платы размером до 100 мм размещают на групповой заготовке площадью не менее 0,05 м² с расстоянием 5–10 мм между ними.

Выбор метода получения заготовок определяется типом производства. В крупносерийном и массовом производстве раскрой листового материала осуществляют штамповкой на кривошипных или эксцентриковых прессах с одновременной пробивкой фиксирующих отверстий на технологическом поле. Для уменьшения вероятности образования трещин, сколов, расслоений и повышения точности обрабатываемый материал прижимают к плоскости матрицы фольгированной стороной. Вырубку в штампах производят как в холодном, так и в нагретом до 80–100°С, состоянии материала. Прогревают материал при получении сложного контура ПП и его толщине свыше 2 мм.

Заготовки ПП в единичном и мелкосерийном производстве получают разрезкой на одно- и многоножевых роликовых или гильотинных ножницах. Применяемые ножи должны быть установлены параллельно друг другу с минимальным зазором 0,01–0,03 мм по всей длине реза.

Фиксирующие отверстия диаметром 4–6 мм выполняют штамповкой или сверлением с высокой точностью (0,01–0,05 мм). Для сверления используют универсальные станки, в которых точность достигается применением кондукторов, или специальное полуавтоматическое оборудование, которое в одном цикле с обработкой пакета заготовок предусматривает пневматическую установку штифтов, фиксирующих пакет. Сверление ведут спиральными сверлами из быстрорежущей стали или твердых сплавов при скорости 30–50 м/мин и подаче 0,03–0,07 мм/об. Биение сверла при обработке не должно превышать 0,03 мм. Повышение точности сверления фиксирующих отверстий достигается их развертыванием при скорости 10–30 м/мин и ручной подаче инструмента.

Аналогичными методами выполняют и технологические отверстия, которые используют для предотвращения смещения заготовок слоев МПП в процессе прессования, но к точности их обработки не предъявляются такие жесткие требования, как к точности обработки фиксирующих отверстий, по которым идет совмещение заготовок с фотошаблонами и отдельных слоев в пакете.

Монтажные и переходные отверстия получают также штамповкой и сверлением. Пробивку отверстий на универсальных или специальных штампах применяют в тех случаях, когда отверстие в дальнейшем не подвергается металлизации и его диаметр не менее 1 мм. При пробивке отверстий в односторонних фольгированных диэлектриках применяют штампы с увеличенным зазором между пуансоном и матрицей, обеспечивающим затягивание фольги в отверстие, чем достигается его частичная металлизация. Максимальная глубина затягивания фольги в отверстия диаметром 1–1,3 мм достигается при технологическом зазоре $0,4+0,2$ мм. Если плата имеет высокую плотность монтажа, большое количество отверстий и малый шаг координатной сетки, то применяют последовательную пробивку на нескольких штампах. Применение универсальных штампов, в которых необходимое количество отдельных пуансонов набирается в специальном трафарете, делает процесс штамповки экономичным в условиях мелкосерийного производства.

Металлизированные монтажные и переходные отверстия обрабатывают с высокой точностью на специализированных одно- и многошпиндельных сверлильных станках с ЧПУ. Эти станки имеют координатный стол с автоматической системой позиционирования, сверлильные шпиндели с бесступенчатым регулированием скорости и систему ЧПУ позиционного типа. В зависимости от размеров обрабатываемых плат и требуемой производительности станки можно оснастить различным числом шпиндельных головок. Каждый шпиндель имеет независимый привод скоростей, в связи, с чем за одну установку и по одной общей программе могут обрабатываться отверстия разных диаметров.

Для обработки металлизированных отверстий используются специальные спиральные сверла из металлокерамических твердых сплавов. Их стойкость при обработке фольгированных стеклотекстолитов составляет 3000–7000 тыс. отверстий, при наличии лакового покрытия на ПП стойкость инструмента уменьшается в 2–3 раза.

Повышение температуры в зоне обработки при сверлении слоистых пластиков приводит к наволакиванию размягченной смолы на кромки контактных площадок, препятствующему последующей металлизации отверстий. Для устранения этого недостатка предлагается ряд усовершенствований: применение охлаждающих агентов, не содержащих смазок (вода, водяной туман, очищенный сжатый воздух

и т. п.); двойное сверление; наложение на поверхность платы алюминиевых листов; разработка сверл с дополнительными режущими кромками, направленными в сторону, противоположную основным, и т. п. Однако все перечисленные способы оказываются малоэффективными в условиях массового производства. Предлагаемый фирмой IBM (США) процесс лазерного фрезерования хотя и устраняет наволакивание смолы на торцы контактных площадок, но не исключает ее стеклование на поверхности стенок отверстия. Наиболее эффективным средством устранения наволакивания признана последующая гидроабразивная очистка.

Чистовой контур ПП получают штамповкой, отрезкой на гильотинных ножницах или на специальных станках с прецизионными алмазными пилами, фрезерованием. Повышение производительности фрезерных работ достигается групповой обработкой пакета ПП толщиной 10–30 мм. Для исключения повреждения их поверхностей между отдельными заготовками прокладывают картон, а пакет помещают между прокладками из листового гетинакса.

В последнее время для чистовой обработки все большее распространение получают контурно-фрезерные многошпиндельные станки с ЧПУ, которые обеспечивают хорошее качество кромок ПП и точность размеров в пределах $\pm 0,025$ мм, позволяют обрабатывать внешние и внутренние контуры за одно крепление, характеризуются высокой производительностью (1500–2000 плат/ч) и надежностью. Они снабжены устройствами для автоматической смены фрез, защитными скафандрами для ограждения оператора от шума, пыли и стружки при обработке, бесступенчатым регулированием частоты вращения инструмента в диапазоне 15–60 тыс./мин.

Вопросы для обсуждения

1. В чем заключается механическая обработка печатных плат?
2. Чем определяется выбор метода получения заготовок?
3. К чему приводит повышение температуры в зоне обработки при сверлении слоистых пластиков?

Лабораторное занятие № 7.

Выполнение навесного монтажа электрорадиокомпонентов на печатную плату

Цель занятия: сформировать навыки выполнения навесного монтажа электрорадиокомпонентов на печатную плату.

Теоретический материал

Способы пайки навесных элементов на печатных платах.

В зависимости от типа производства и объема выпуска ЭВМ пайка элементов осуществляется вручную паяльником, групповыми и автоматизированными способами.

Ручную пайку выполняют паяльником на монтажном столе, снабженным системой локального удаления газов. Паяльник используют в опытных и ремонтных производствах, при исправлении брака и при установке небольшого числа элементов, которые невозможно припаять другими способами.

Для серийного производства рекомендуется использовать более производительные групповые способы пайки, когда все соединения подвергаются пайке одновременно.

Примером группового способа является пайка погружением, когда ПП с установленными на ней навесными элементами погружают в ванну с расплавленным припоем.

Перед пайкой места, не подлежащие пайке, закрываются термостойкой эпоксидной маской, наносимой через трафарет, или приклеиванием отштампованных пленочных масок. На места пайки наносится спирто-канифольный флюс. Перед погружением платы в ванну с расплавленным припоем с его поверхности следует удалить оксидную (шлаковую) пленку. Существуют механические, химические способы удаления пленки и очистки поверхности.

Цикл пайки погружением следующий: плату опускают на поверхность припоя, где происходит прогрев мест пайки в течение 2...4 с, затем на ПП накладываются колебания в течение 3...5 с, частота колебаний составляет около 100 Гц, амплитуда – 0,1...0,3 мм. За счет этого улучшается растекаемость припоя, и он проникает в зазор между выводом и монтажным отверстием. Происходит оплавление

припоем мест пайки. Затем ПП поднимают из ванны и припой за-
твердевает.

Пайка погружением является производительным способом, так
как при этом способе можно проводить пайку сразу нескольких плат.
Недостатком этого способа является сложность качественного удале-
ния пленки с поверхности припоя, что приводит к некачественному
пропаю. Кроме того, возможен и термоудар, несмотря на защитную
маску. Существуют другие варианты пайки погружением, в которых
устраняют присущие пайке погружением недостатки: применение ке-
рамической маски, пайка в нейтральной среде и т. д.

Широкое распространение нашел другой групповой способ пай-
ки, называемый пайка волной припоя. В этом случае на поверхности
расплавленного припоя электромагнитным, механическим или гид-
родинамическим способами создается волна, над которой и проводят
ПП в процессе пайки.

На рис. 2 приведена схема пайки обычной волной припоя, обра-
зуемой вращением крыльчатки, которая нагнетает расплавленный
припой через отверстие из глубины ванны и гонит его под давлением
через сопло патрубка, образуя волну.

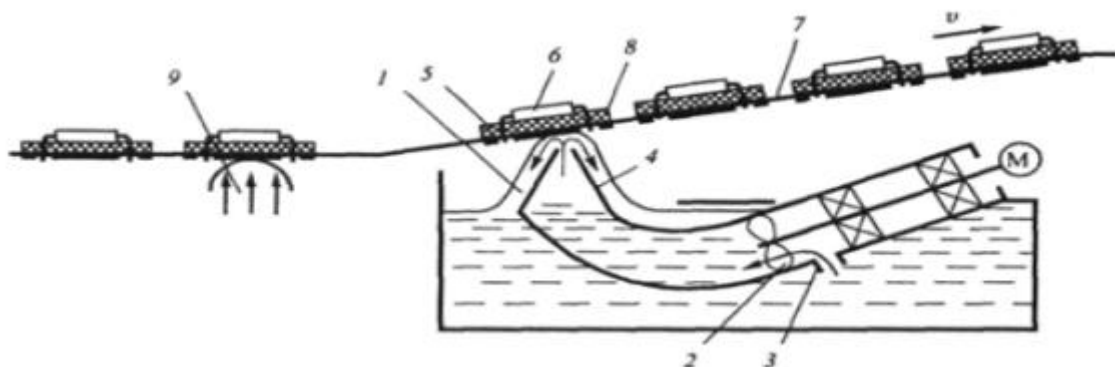


Рис. 2. Пайка волной припоя: 1 – волна припоя, 2 – крыльчатка,
3 – отверстие, 4 – патрубок, 5 – печатная плата, 6 – навесной элемент,
7 – транспортер, 8 – защитная паяльная маска, 9 – флюс

Печатные платы с установленными на них элементами проходят
последовательно над волной припоя, при этом обеспечивается пайка
выводов к контактным площадкам. Скорость перемещения платы
должна быть такой, чтобы от соприкосновения соединения с волной и
выхода из нее обеспечивалась качественная пайка; припой хорошо
растекался в зазор между выводом и монтажным отверстием и не об-

разовывались наплывы и сосульки на поверхности пайки. Платы устанавливаются и крепятся в специальные рамки, которые перемещаются транспортером. Места, не подлежащие пайке, закрываются защитной маской.

Движение плат под углом устраняет выброс припоя на обратную сторону через зазоры в монтажных отверстиях и уменьшает вероятность образования припойных сосулек. Перед пайкой поверхность плат обрабатывают пеной спирто-канифольного флюса. После пайки остатки флюса удаляют.

Пайка погружением и пайка волной припоя используется при штыревом монтаже.

При поверхностном монтаже осуществляют групповую пайку с использованием припойных (паяльных) паст. Паяльные пасты наносятся на контактные площадки ПП трафаретным способом. Навесные элементы устанавливаются на пасту, которая их фиксирует и удерживает от смещения. Далее в инфракрасной печи проводится общий нагрев ПП и осуществляется пайка.

Вопросы для обсуждения

1. Какие способы пайки навесных элементов на печатных платах вы знаете?
2. Опишите цикл пайки погружением.
3. Опишите процесс пайки обычной волной припоя.

Лабораторное занятие № 8.

Изготовление жгутов по заданным параметрам

Цель занятия: получить навыки изготовления жгутов по заданным параметрам.

Теоретический материал

Вязка жгутов. Правила раскладки проводов в жгуте.

Два и более параллельно идущих провода длиной более 50 мм должны быть связаны в жгут. Раскладку и вязку жгутов в целях идентичности изготовления и ускорения работы в условиях серийного производства осуществляется на шаблонах.

Провода в жгуте раскладывают в соответствии с таблицей проводов, где указано откуда и куда идет провод. Провода в жгуте укладывают ровно без выступов и перекрещивания. Длинные провода укладывают в верхней части жгута с лицевой стороны, чтобы все ответвления выходили из под них. Провода малых сечений и экранированные провода укладывают внутри жгута. В жгуте предусматривают запасные провода, из расчета 10% от общего количества. Запасные провода укладывают одного цвета, их концы изолируют и закрепляют на видном месте. Вязку жгутов производят хлопчатобумажными или льняными нитками, которые пропитывают влагоотталкивающим материалом. Также для вязки жгута используют тонкие изоляционные плёнки. В зависимости от качества проводов в жгуте и диаметре, вязку выполняют в одну или более ниток с натяжением. Шаг вязки (расстояние между узелками) примерно равно диаметру жгута, но не более 25 мм. В местах разветвления жгута должны быть выполнены бандажи 5–10 мм. В местах изгиба жгута шаг вязки должен быть уменьшен. На провода в жгуте надевают изоляционные трубки или бирки с указанием номеров контактов.

Правила раскладки и вязки жгутов на шаблоне. Шаг вязки жгутов.

Провода в жгуте укладывают ровно без выступов и перекрещивания. Длинные провода укладывают в верхней части жгута с лицевой стороны, чтобы все ответвления выходили из-под них. Провода малых сечений и экранированные провода укладывают внутри жгута. В жгуте предусматривают запасные провода, из расчета 10% от общего количества. Запасные провода укладывают одного цвета, их концы изолируют и закрепляют на видном месте. Вязку жгутов производят хлопчатобумажными или льняными нитками, которые пропитывают влагоотталкивающим материалом. Также для вязки жгута используют тонкие изоляционные плёнки. В зависимости от качества проводов в жгуте и диаметре, вязку выполняют в одну или более ниток с натяжением. Шаг вязки (расстояние между узелками) примерно равно диаметру жгута, но не более 25 мм. В местах разветвления жгута должны быть выполнены бандажи 5–10 мм. В местах изгиба жгута шаг вязки должен быть уменьшен. На провода в жгуте надевают изоляционные трубки или бирки с указанием номеров контактов.

Требования к шаблонам для вязки жгутов.

Накладку и вязку жгутов в целях идентичности изготовления и ускорения работы в условиях серийного производства осуществляется на шаблонах. Шаблоны изготавливаются по монтажной схеме или по чертежам на жгут. Шаблон изготавливается на диэлектрическом основании, на котором наносят трассировку (рисунок, чертёж) жгута, в соответствии со схемой. Для выпуска проводов из жгута предусматривают отверстие в соответствии с чертежом, в местах перегиба жгута изготавливают шпильки. На разъёме указывается маркировка разъемов и номера контактов, выход провода из жгута должен быть строго против места пайки. Провода на шаблоне раскладывают в соответствии с таблицей проводов, где указываются, откуда и куда идёт провод, сечение и цвет провода.

Защита жгута от тепловых и механических воздействий.

Для защиты жгутов от тепловых и механических воздействий применяют дополнительную изоляцию в соответствии с документацией на изготовление жгута.

От механических повреждений жгут обматывают киперной лентой, полихлорвиниловой или другой изоляцией. При необходимости крепления жгута скобами или хомутами под них ставят дополнительную эластичную изоляцию, так же от механических повреждений используют металлорукав (гибкая металлическая трубка как в душе).

От влияния высоких температур жгут, в соответствии с чертежами, обматывают теплоизоляционным материалом (лакотканью, стеклотканью, фторопластовой плёнкой).

При креплении подвижных жгутов их требуется закрепить так, чтобы провода работали на скручивание, а не на изгиб.

Вопросы для обсуждения

1. В чём заключаются правила раскладки проводов в жгуте?
2. В чём заключаются правила раскладки и вязки жгутов на шаблоне?
3. Каковы требования к шаблонам для вязки жгутов?
4. Как осуществляется защита жгута от тепловых и механических воздействий?

Лабораторное занятие № 9.

Выполнение шлейфовых соединений

Цель занятия: получить навыки выполнения шлейфовых соединений.

Теоретический материал

Плоский шлейф.

Плоский шлейф (у которого расстояние между проводами 1,27 мм) имеет сечение жилы около 28AWG, что составляет 0,075 мм². Это теоретически позволяет пропускать через одну жилу ток до 0,45А/0,75А (для расчетной плотности тока 6А/мм² и 10А/мм² соответственно), а в реальности одна отдельно взятая жила шлейфа практически не греется и при токе в 2А. Но даже и 0,45А – весьма неплохая цифра, особенно для «логических» схем.

Обжим шлейфа разъёмом IDC.

Процесс обжима плоского шлейфа разъемами IDC и FDC рассмотрим на примере коннекторов IDC-14 и FDC-14. Для работы понадобится сам шлейф с разъёмами, тиски и разъём IDC-40.

Для начала надо разобрать разъема IDC – снять верхнюю скобу. Затем просовываем шлейф между торчащими контактами разъема и оставшейся пластмассовой защелкой и сжимаем полученную конструкцию пальцами для фиксации шлейфа в разъеме. После этого нужно выровнять шлейф – угол между ним и разъёмом должен быть как можно ближе к 90 градусам.

Если шлейф не выровнять, это может повлечь за собой замыкания между его жилами. Лучше первую жилу шлейфа (которая помечена) соединять с первым контактом разъема IDC/FDC (обычно помечен треугольником). Это позволит в дальнейшем избежать путаницы и неправильно обжатых соединителей.

Далее тисками слегка зажимаем разъём со шлейфом. После этого нужно продвинуть разъём ближе к центру губок тисков. Ну а дальше можно завершать обжим – просто сдавить IDC тисками до упора. Процесс обжима завершен.

Для уменьшения механической нагрузки на место соединения шлейфа и контактов коннектора IDC можно установить на разъём верхнюю скобу. Для этого заворачиваем шлейф, надеваем скобу и

пальцами сжимаем полученную конструкцию. Скоба защелкивается довольно легко, и тисков здесь не надо – хватает усилия пальцев.

Дополнительная верхняя скоба увеличивает общую высоту разъёма. В ряде случаев является недопустимым, поскольку максимальная высота ограничена выбранным корпусом устройства, и разъём с верхней скобой туда просто не залезет. В этом случае вполне можно обойтись и без скобы, только разъём IDC нужно втыкать и вынимать из платы очень аккуратно. Общее правило – не дергать за провод, все механические нагрузки прикладывать только к самому разъёму.

Вопросы для обсуждения

1. Зачем нужно выравнивать шлейф?
2. Что нужно сделать для уменьшения механической нагрузки на место соединения шлейфа и контактов коннектора IDC?
3. Какой ток позволяет пропускать через одну жилу плоский шлейф?

Лабораторное занятие № 10.

Выполнение входного контроля электрорадиоэлементов и компонентов, предназначенных для монтажа электронного устройства

Цель занятия: сформировать навыки выполнения входного контроля электрорадиоэлементов и компонентов, предназначенных для монтажа электронного устройства.

Теоретический материал

Входной контроль производится до установки радиоэлементов на печатные платы. Необходимо проверить:

На печатных платах не должно быть отслоений, окисления, вздутия и механического повреждения токоведущих дорожек, также не должно быть механических повреждений основания печатной платы (сколов, трещин).

На радиоэлементах должна быть чёткая маркировка номинала. Не должно быть вмятин и сколов на корпусах радиоэлементов. Эма-

левое покрытие корпусов должно быть без повреждений. Выводы элементов должны быть хорошо залужены и не должны иметь механических повреждений.

При необходимости производится контроль соответствия номиналов радиоэлементов технической документации.

При пайке проводов необходимо проверить качество лужения, не должно быть повреждений изоляции и надломов жил проводов.

Вопросы для обсуждения

1. Что проверяется при входном контроле печатных плат и радиоэлементов?
2. Для чего производится контроль соответствия номиналов радиоэлементов?

Лабораторное занятие № 11.

Выполнение оптического контроля паяных изделий

Цель занятия: сформировать навыки выполнения оптического контроля паяных изделий.

Теоретический материал

За последние десять лет в связи с дальнейшей миниатюризацией изделий электронной техники и одновременным повышением требований к приёмке продукции остро встала задача обеспечения контроля в процессе производства аппаратуры. Стремительно растёт скорость автоматов сборки и монтажа печатных узлов. Сегодня в автоматическом режиме нужно контролировать установку и монтаж компонентов с размерами 01005 ($0,4 \times 0,2$ мм), качественное нанесение под компоненты BGA пасты с шагом 0,5 мм и диаметром 0,3 мм и менее, а также измерять высоту и объём столбика пасты. При этом количество выводов может достигать 500 с шагом 0,3 мм. Поэтому практически во всех современных производствах радиоэлектронной аппаратуры используют многофункциональные автоматические линии, в состав которых обязательно входят системы АОИ и ИЛП. Для отработки технологических процессов и детального анализа изделий

электронной техники используют также радиографические и разнообразные электрические методы контроля паяных соединений.

Для снижения дефектов при пайке разрабатываются и внедряются новые припои и флюсы. В тоже время внедрение бессвинцовых припоев привело к появлению новых дефектов в паяных соединениях. Поскольку «бессвинцовая эпопея» привела к заметным последствиям в производстве РЭА, представляется целесообразным пояснить её суть на примере. Сравним известный олово-свинцовый припой Sn61Pb39 с бессвинцовым припоем SN95,5Ag4Cu0,5. Температуры плавления этих припоев 183 и 217°C, но рабочая температура пайки 220...230°C и 270...280°C соответственно. Известно, что при подъёме температуры на каждые 8° все процессы ускоряются в два раза (закон Аррениуса). Ускоряются деструкционные процессы и химические реакции при отверждении и сушке, отражающиеся на надёжности паяных соединений. В числе факторов, снижающих надёжность, отмечают низкую пластичность бессвинцовых припоев, худшую смачиваемость и растекаемость, образование интерметаллидов, укрупнение зёрен, образование дислокаций, трещин и оловянных усов, термические повреждения компонентов и ряд других факторов, в том числе затруднения с АОИ. Поэтому новые методы контроля качества паяных соединений на этапе производства должны повышать достоверность контроля при одновременном согласовании с технологическим циклом и экономической целесообразностью.

С экономической точки зрения целесообразно использовать автоматические методы контроля качества аппаратуры непосредственно в процессе её изготовления. В идеале инспекционная система должна присутствовать после каждой технологической операции. Именно так должна решаться проблема оптической инспекции, если при очень плотном монтаже используются компоненты с минимальными размерами наряду со сложными компонентами BGA, CSP и т. д. Известно, что более 60% всех дефектов при сборке изделий обусловлены качеством нанесения паяльной пасты. В таком случае применение системы АОИ для контроля качества нанесения паяльной пасты обязательно, так как она позволяет после первого этапа технологического цикла обнаружить возможный дефект и произвести необходимую корректировку рабочей программы автомата трафаретной печати.

Система АОИ качества паяных соединений должна обеспечивать 100%-ную инспекцию печатных узлов с высокой скоростью, чтобы не быть «слабым звеном» в сборочной линии поверхностного монтажа. Необходимо, чтобы она была оборудована нужным количеством цветных камер высокого разрешения для качественного распознавания образов миниатюрных и сложных компонентов, чтения маркировки компонентов. Система должна быть готовой к инспекции компонентов типоразмера 01005, в том числе на базе бессвинцовых технологий. При использовании после автомата установки компонентов система должна обеспечивать максимальную неподвижность печатного узла, быть оснащённой специальным программным обеспечением, позволяющим быстро и просто создавать рабочие процедуры с использованием библиотеки компонентов и образов, а также обладать эргономичным дизайном, удобным для технического обслуживания.

Одна из лучших технологий АОИ-3D на базе новой концепции тройной подсветки, облегчающей визуальную инспекцию паяного соединения, реализована в Японии, где выпускаются как встраиваемые в линию, так и настольные системы АОИ, предназначенные для контроля качества сборки печатных узлов (электронных модулей) в соответствии со стандартами IPC. Японские системы позволяют обнаруживать дефекты и выявлять причины их появления на этапах нанесения пасты, установки компонентов, оплавления припоя и пайки волной. Критерии определения качества соответствуют стандарту IPCA610C.

Тройная подсветка осуществляется светодиодами: белая (главная), красная (боковая) и рассеянная по оси (Diffuse On Axis Lighting) под углом 90° к поверхности платы. Сочетания подсветок предоставляют 6 вариантов освещения плат, обеспечивающих с помощью цифровой XGA-камеры высокую видимость дефектов в паяных соединениях (в том числе в тени высоких компонентов). Разрешающая способность тестовой системы позволяет инспектировать паяные соединения выводов SMD-компонентов с размерами корпусов 0,4×0,2 мм. Уникальная система подсветки позволяет контролировать качество паяных соединений после оплавления в печи и пайки волной. При этом из захваченного видеокамерой образа выделяется лишь галтель паяного соединения, по образу которой производится 3D-контроль паяного соединения.

Система особенна ещё и тем, что именно она (а не оператор) принимает решение о годности контролируемого объекта.

Технические решения, высокое быстродействие (до 16×10^4 соедин./ч) и многофункциональность вывели данную систему АОИ-3D в лидеры, оставляя позади сканерные и векторные системы. АОИ-3D используют для контроля качества пайки выводов микросхем, чип-резисторов, чип-конденсаторов, транзисторов и других компонентов. Результаты тестирования могут выводиться на монитор, принтер, маркировочное устройство, в файл, в программу сбора и обработки статистических данных.

На мониторе оператора результаты тестирования выводятся в цвете с отображением дефектных мест.

Другая высококласная система АОИ качества паяных соединений и установки компонентов выпускается в США. Обладая самой высокой скоростью инспекции в своём классе (до $65 \text{ см}^2/\text{с}$), система способна инспектировать компоненты вплоть до размера 01005.

Это осуществимо благодаря цветным камерам с разрешением до 5,0 Мпикс. К примеру, для инспекции печатного узла сотового телефона с размерами 130×250 мм и количеством установленных компонентов 1000 шт. системе необходимо всего 20 с. Во время инспекции печатный узел перемещается без ускорений, а неподвижные камеры, расположенные сверху, обеспечивают максимально точную и стабильную инспекцию. Американскую систему АОИ можно применять не только на массовых производствах, но и на среднесерийных производствах сложных электронных изделий.

Вопросы для обсуждения

1. Какие меры приводят к снижению дефектов при пайке?
2. Назовите факторы, снижающие надёжность паяных соединений.
3. В чём заключается концепция технологии тройной подсветки?

Лабораторное занятие № 12.

Выполнение электромонтажа электронного блока

Цель занятия: получить навыки выполнения электромонтажа электронного блока.

Теоретический материал

Для электрического соединения узлов между собой служат проводники, которые технологически выбираются по требуемым электрическим параметрам. Для соединения этих проводников с узлами используются в большинстве случаев электрические соединители и применяются методы контактирования, пригодные для электромонтажа, приборов.

Электромонтаж с помощью печатных плат.

Преимущества печатных плат дают возможность применять их в качестве ответного электромонтажа в блоках и гибких печатных плат в приборе. Преимущества их следующие:

- воспроизводимость электрических характеристик и прокладки проводов;
- достижение минимальных длин соединений;
- низкоомный подвод тока при применении плоских проводов;
- применение методов группового контактирования;
- сокращение объемов.

Для электромонтажа приборов применяют как жесткие, так и гибкие печатные платы. В то время как жесткую печатную плату (так называемую панель) применяют для присоединения узлов к блоку (ответный электромонтаж), для проводных соединений между отдельными блоками из-за благоприятных условий обслуживания применяют гибкие печатные платы.

Для ответного монтажа используют двусторонние и многослойные печатные платы, так как применение односторонней платы из-за требуемой высокой плотности электромонтажа невозможно. Жесткие печатные платы применяют всегда там, где необходимо соблюдать определенные электрические параметры, такие, как волновое сопротивление, ёмкость массы и индуктивность, где требуется большая плотность соединений при коротких длинах проводников.

При изготовлении печатных плат ответного электромонтажа больших размеров (в настоящее время до 500×500 мм) к узлам предъявляются большие требования. Испытание таких печатных плат также является проблематичным. Большие размеры не позволяют произвести полное подключение печатной платы при испытании, так что при проектировании платы принимается во внимание проблема ступенчатого подключения.

Для снижения стоимости печатных плат ответного электромонтажа применяют несложный рисунок проводников и возможно меньшую поверхность. Предпочитают двух- и четырехслойную печатную плату, причем благодаря комбинации обычной техники соединения посредством проводов достигается благоприятный технико-экономический результат.

Для соединения блоков друг с другом используются гибкие печатные платы, представляющие настоящее кабельное дерево. Кроме известных преимуществ печатные платы обуславливают также значительное уменьшение массы и возможность хорошего доступа к блокам при обслуживании. При применении гибких печатных плат в качестве проводных соединений дефекты электромонтажа уменьшаются, и стоимость общего их изготовления падает благодаря возможности автоматизированного изготовления. При выборе материала для гибких печатных плат особое внимание обращают на его устойчивость к пайке и эластичные свойства.

Проводной электромонтаж.

При проводном электромонтаже точки, связанные друг с другом, соединяются отдельными изолированными проводами. По расположению друг относительно друга и технологическому изготовлению различают электромонтаж по кратчайшему пути и жгутовой электромонтаж (или электромонтаж в кабельных каналах).

При электромонтаже по кратчайшему пути прокладывает провод по кратчайшему пути между отдельными точками, благодаря чему получают наиболее короткие проводники и незначительную взаимную емкостную связь. Этот вид электромонтажа хорошо подходит для электронных приборов с высокой рабочей частотой. Однако из-за произвольного расположения соединительных проводников ремонт и отыскание неисправностей затруднительны.

Технологическое использование электромонтажа по кратчайшему пути тесно взаимосвязано с применяемыми технологическими ме-

тодами контактирования и может проводиться как вручную, так и механизированно. Вследствие высокой производительности труда электромонтаж по кратчайшему пути используется также для электронных приборов с низкой рабочей частотой.

Электромонтаж по кратчайшему пути в настоящее время лучше всего реализуется электромонтажным полуавтоматом. В нем каждый провод во время прокладки предыдущего провода в соответствии с программой отрезается на определенную длину и часть провода освобождается от изоляции. Соединение провода с отдельной точкой контактирования происходит вручную с помощью соответствующего инструмента, причем при соединении электромонтажным полуавтоматом применяются в качестве метода контактировки чаще техника накрутки или пружинных скоб. Благодаря оптическому указателю позиции на монтажном поле возможно быстрое нахождение контактной точки. Программированное электронное устройство приводит в действие соединительный инструмент только тогда, когда рабочий правильно выбрал контактную точку. Благодаря этому избегают неправильных соединений, однако при этом контроль дефектных соединений не осуществляется.

Вопросы для обсуждения

1. В чём заключаются преимущества печатных плат?
2. Как снизить стоимость печатных плат ответного электромонтажа?
3. В чём достоинства проводного электромонтажа?

Лабораторное занятие № 13.

Выполнение обработки РК-кабеля для подготовки к монтажу

Цель занятия: получить навыки обработки РК-кабеля для подготовки к монтажу.

Теоретический материал

Радиочастотные кабели предназначены для соединения радиоустройств, радиочастотных установок и т. д., и они служат для передачи радиосигналов от устройства к устройству или от составных

частей одного устройства друг другу. Кабель РК, благодаря своим особенностям и характеристикам, выделен в отдельный класс в производстве кабелей.

Конструктивно такие кабели состоят из:

- защитной оболочки (светостабилизированный полиэтилен);
- экранирующей маски (гофрированная медная лента или медная проволока);
- изолирующего внутреннего слоя (полиэтилен);
- центральной медной жилы, одной или нескольких.

Кабель радиочастотный РК.

Кабель РК является радиочастотным коаксиальным кабелем — это отображается и в маркировке буквами «Р» и «К» («радиочастотный» и «коаксиальный» соответственно). Цифра, которая идет после букв — это значение сопротивления. Так, кабель РК-75 имеет сопротивление 75 Ом, РК-50 — 50 Ом и т. д.

Иногда после цифры, обозначающей волновое сопротивление, идет еще число — это диаметр кабеля в миллиметрах. Также следом в цифрах иногда указывается теплостойкость (обычная или повышенная) и группа изоляции (сплошная, полувоздушная или воздушная), причем цифра 1 обозначает обычную (до 125°C) теплостойкость и сплошную изоляцию и т. д.

Наиболее часто кабель радиочастотный РК применяется в спутниковой связи и в области телерадиовещания. Его используют:

- для организации сетей по приему и передаче радиосигналов и телевизионных сигналов;
- для прокладки кабельных сетей;
- для монтажа сетей спутникового или стандартного телевидения;
- при прокладке систем видеонаблюдения;
- для межблочного монтажа;
- в системах управления и передачи данных и т. д.

Бывают и одиночные прокладки таких кабелей на открытом воздухе. Так, кабель РК-75 наиболее популярен и в гражданской, и в военной сфере благодаря своей высокой надежности и отличным радиочастотным характеристикам.

Защитная оболочка у РК-кабелей бывает поливинилхлоридной и полиэтиленовой. Первый тип прокладывают под землей либо используют при монтаже внутри помещений (кабели такого типа выпуска-

ются в черном цвете). Второй тип кабеля используется при монтаже на открытом воздухе, т. к. имеет хорошую сопротивляемость солнечной радиации, температурным перепадам, влажности и т. д.

Вопросы для обсуждения

1. Для чего предназначены радиочастотные кабели?
2. Опишите конструкцию радиочастотных кабелей.
3. Где применяется радиочастотный кабель РК?

Лабораторное занятие № 14.

Изучение и анализ технологии пайки навесного монтажа печатных плат волной припоя

Лабораторное занятие № 15.

Разработка схемы взаимодействия односторонней и двусторонней волны припоя с печатной платой

Цель занятий: изучить технологию пайки навесного монтажа печатных плат волной припоя.

Теоретический материал

Пайка волной припоя применяется только для пайки компонентов в отверстиях плат (традиционная технология), хотя некоторые изготовители утверждают, что с её помощью можно производить пайку поверхностно монтируемых компонентов с несложной конструкцией корпусов, устанавливаемых на одной из сторон ПП.

Процесс пайки прост. Платы, установленные на транспортере, подвергаются предварительному нагреву, исключаящему тепловой удар на этапе пайки. Затем плата проходит над волной припоя. Сама волна, ее форма и динамические характеристики являются наиболее важными параметрами оборудования для пайки. С помощью сопла можно менять форму волны. В настоящее время каждый производитель использует свою собственную форму волны (в виде греческой буквы «омега», Z-образную, Т-образную и др.). Могут варьироваться направление и скорость движения потока припоя, достигающего платы, но они должны быть одинаковы по всей ширине волны. Регулируется также угол наклона транспортера для плат. Некоторые уста-

новки для пайки оборудуются дешунтирующим воздушным ножом, который обеспечивает уменьшение количества перемычек припоя. Нож располагается сразу же за участком прохождения волны припоя и включается в работу, когда припой находится еще в расплавленном состоянии на ПП. Узкий поток нагретого воздуха, движущийся с высокой скоростью, уносит с собой излишки припоя, тем самым, разрушая перемычки и способствуя удалению излишков припоя.

Когда появились ПП, с обратной стороны которых устанавливались поверхностные компоненты, их пайка производилась волной припоя. При этом возникло множество проблем, а именно: непропай и отсутствие галтелей припоя из-за эффекта затенения другими компонентами, преграждающими доступ волны припоя к соответствующим контактным площадкам, а также наличие полостей с захваченными газообразными продуктами разложения флюса, мешающих доступу припоя. Потребовалось изменить технологический процесс пайки волной, внедрив вторую волну припоя. Первая волна делается турбулентной и узкой, исходит из сопла под большим давлением. Турбулентность и высокое давление потока припоя исключает формирование полостей с газообразными продуктами разложения флюса. Однако турбулентная волна все же образует перемычки припоя, которые разрушаются второй, более полой волной с малой скоростью истечения. Вторая волна устраняет перемычки припоя, а также завершает формирование галтелей. Для обеспечения эффективности пайки параметры каждой волны должны быть регулируемы, волны должны иметь отдельные насосы, сопла и блоки управления.

Пайка двойной волной припоя применяется в настоящее время для одного типа ПП: с традиционными компонентами на лицевой стороне и простыми компонентами (чипами и транзисторами) на обратной. Некоторые компоненты (даже пассивные) могут быть повреждены при погружении в припой во время пайки. Поэтому важно учитывать их термостойкость и принимать меры предосторожности: применять поверхностно монтируемые ИС, не чувствительные к тепловому воздействию; снизить скорость транспортера; проектировать ПП таким образом, чтобы исключить эффект затенения. Хорошо разнесенные, не загораживающие друг друга компоненты способствуют попаданию припоя на каждый требуемый участок платы, но при этом снижается плотность монтажа. При высокой плотности монтажа с помощью данного метода практически невозможно пропаять поверх-

носно монтируемые компоненты с четырехсторонней разводкой выводов.

Вопросы для обсуждения

1. В чём заключается процесс пайки волной припоя?
2. Для чего предназначен дешунтирующий воздушный нож?
3. Для чего параметры каждой волны должны быть регулируемы?

Лабораторное занятие № 16.

Изучение и анализ технологии пайки навесного монтажа печатных плат избирательным методом

Практическое занятие № 17.

Исследование и анализ специфики компонентов печатного монтажа (ПМ) и конструктивных требований к применяемым печатным платам

Цель занятий: изучить технологию пайки навесного монтажа печатных плат избирательным методом.

Теоретический материал

Печатные платы – это элементы конструкции, которые состоят из плоских проводников в виде участков металлизированного покрытия, размещенных на диэлектрическом основании и обеспечивающих соединение элементов электрической цепи. Они получили широкое распространение в производстве модулей, ячеек и блоков РЭА благодаря следующим преимуществам по сравнению с традиционным объемным монтажом проводниками и кабелями:

- повышение плотности размещения компонентов и плотности монтажных соединений, возможность существенного уменьшения габаритов и веса изделий;
- получение печатных проводников, экранирующих поверхностей и электро- и радиодеталей (ЭРЭ) в одном технологическом цикле;
- гарантированная стабильность и повторяемость электрических характеристик (проводимости, паразитных емкости и индуктивности);

- повышение быстродействия и помехозащищенности схем;
- повышенная стойкость к климатическим и механическим воздействиям;
- унификация и стандартизация конструктивных и технологических решений;
- увеличение надежности узлов, блоков и устройства в целом;
- улучшение технологичности за счет комплексной автоматизации монтажно-сборочных и контрольно-регулирующих работ;
- снижение трудоемкости, материалоемкости и себестоимости.

К недостаткам следует отнести сложность внесения изменений в конструкцию и ограниченную ремонтпригодность.

Элементами ПП являются диэлектрическое основание, металлическое покрытие в виде рисунка печатных проводников и контактных площадок, монтажные и фиксирующие отверстия.

Общие требования к ПП.

Диэлектрическое основание ПП должно быть однородным по цвету, монолитным по структуре и не иметь внутренних пузырей и раковин, посторонних включений, сколов, трещин и расслоений. Допускаются одиночные вкрапления металла, царапины, следы от удаления одиночных невытравленных участков, проявление структуры материала, которые не ухудшают электрических параметров ПП и не уменьшают минимально допустимых расстояний между элементами проводящего рисунка.

Проводящий рисунок ПП должен быть четким, с ровными краями, без вздутий, отслоений, разрывов, следов инструмента и остатков технологических материалов. Допускаются: отдельные местные протравы не более 5 точек на 1 дм^2 ПП при условии, что оставшаяся ширина проводника соответствует минимально, допустимой по чертежу; риски глубиной не более 25 мкм и длиной до 6 мм; остатки металлизации на участках ПП, не уменьшающие допустимых расстояний между элементами.

Для повышения коррозионной стойкости и улучшения паяемости на поверхность проводящего рисунка наносят электролитическое покрытие, которое должно быть сплошным, без разрывов, отслоений и подгаров. В отдельных случаях допускаются: участки без покрытия площадью не более 2 мм^2 на 1 проводник, но не более 5 на плате; местные наросты высотой не более 0,2 мм; потемнение и неоднородность цвета покрытия, не ухудшающие паяемость; отсутствие покры-

тия на торцах проводников. При наличии на печатных проводниках критических дефектов их дублируют объемными (не более 5 проводников для плат размером до 120×180 мм и 10 проводников для плат размером свыше 120×180 мм).

Монтажные и фиксирующие отверстия должны быть расположены в соответствии с требованиями чертежа и иметь допустимые отклонения, определяемые классом точности ПП. Для повышения надежности паяных соединений внутреннюю поверхность монтажных отверстий покрывают слоем меди толщиной не менее 25 мкм. Покрытие должно быть сплошным, без включений, пластичным, с мелкокристаллической структурой и прочно сцепленным с диэлектрическим основанием. Оно должно выдерживать токовую нагрузку 250 А/мм² в течение 3 с при нагрузке на контакты 1–1,5 Н и три-четыре перепайки выводов без изменения внешнего вида, подгаров и отслоений. После циклического воздействия изменения температур сопротивление перехода металлизированного отверстия не должно отличаться более чем на 20% от значения сопротивления в нормальных климатических условиях. Допускаются в отверстиях точечные неметаллизированные участки диаметром не более 0,2 мм. Число таких отверстий на плате не должно превышать 0,3% от общего числа. При недопустимом повреждении металлизированные отверстия восстанавливают с помощью пустотелых заклепок, и их число не должно превышать 2% от общего числа отверстий, но не более 10 шт. на ПП. Переходные несквозные металлизированные отверстия между наружными и внутренними слоями МПП должны быть заполнены смолой в процессе прессования, которая не должна иметь газовых включений и натекает на контактные площадки.

Контактные площадки представляют собой участки металлического покрытия, которые соединяют печатные проводники с металлизацией монтажных отверстий. Их площадь должна быть такой, чтобы не было разрывов при сверлении, чтобы остался гарантийный пояс медной шириной не менее 50 мкм. Разрывы контактных площадок не допускаются, так как при этом уменьшаются токонесущая способность проводников и адгезия к диэлектрику. Допускается частичное отслоение отдельных (до 2%) контактных площадок вне зоны проводников и их ремонт с помощью эпоксидного клея. Контактные площадки монтажных отверстий должны равномерно смачиваться припоем за время 3–5 с и выдерживать не менее трех перепаяек без

расслоения диэлектрика, вздутий и отслаивания.

Технологический процесс изготовления ПП не должен ухудшать электрофизические и механические свойства применяемых конструкционных материалов. Сопротивление изоляции между двумя рядом расположенными элементами ПП при минимальном расстоянии между ними 0,2–0,4 мм не должно быть для стеклотекстолита меньше:

а) 10000 МОм при нормальных климатических условиях (температура $25\pm 1^\circ\text{C}$, относительная влажность $65\pm 15\%$, атмосферное давление 96–104 кПа);

б) 1000 МОм после воздействия (2 ч) температуры $60\pm 2^\circ\text{C}$, и 300 МОм после воздействия (2 ч) температуры $\pm 85\pm 2^\circ\text{C}$;

в) 20 МОм после пребывания 4 сут. в камере с относительной влажностью $93\pm 3\%$ при температуре $40\pm 2^\circ\text{C}$, 5 МОм после 10 сут., и 1 МОм после 21 сут.

Восстановление первоначального значения сопротивления изоляции должно происходить в течение суток.

Электрическая прочность изоляции элементами проводящего рисунка не нарушается при напряжениях:

- 700 В в нормальных условиях;

- 500 В после воздействия относительной влажности $93\pm 3\%$ при температуре $40\pm 2^\circ\text{C}$ в течение 2 сут.;

- 350 и 150 В после воздействия пониженного давления 53,6 и 0,67 кПа соответственно.

Для внутренних слоев МПП указанные значения испытательного напряжения увеличиваются на 15 %.

В процессе производства возникает деформация ПП, которая приводит к их изгибу и скручиванию. Величина деформации определяется механической прочностью фольгированных диэлектриков, характером напряженного состояния после травли фольги, правильностью режимов нагрева и охлаждения. На платах толщиной 0,8 мм и менее деформация не контролируется, при толщинах 1,5–3 мм деформация на 100 мм длины не должна превышать: для двуслойных плат на стеклотекстолите 0,8 мм, на гетинаксе 0,9 мм; для однослойных на стеклотекстолите 0,9 мм, на гетинаксе 1,5 мм. При воздействии на ПП повышенной температуры 260–290 $^\circ\text{C}$ в течение 10 с не должно наблюдаться разрывов проводящего покрытия, отслоений от диэлектрического основания.

Вопросы для обсуждения

1. Опишите достоинства и недостатки печатных плат.
2. Каковы общие требования к ПП?
3. Каким должно быть сопротивление изоляции между двумя рядом расположенными элементами ПП?

Практическое занятие № 18.

Исследование и анализ конструктивных узлов технологии поверхностного монтажа

Цель занятия: изучить конструктивные узлы технологии поверхностного монтажа.

Теоретический материал

В зависимости от числа нанесенных печатных проводящих слоев печатные платы разделяются на одно-, двух- и многослойные. Первые два типа называют также одно- и двусторонними.

Односторонние печатные платы (ОПП) выполняются на слоистом прессованном или рельефном литом основании без металлизации или с металлизацией монтажных отверстий. Платы на слоистом диэлектрике просты по конструкции и экономичны в изготовлении. При невозможности стопроцентной разводки печатных проводников применяются навесные перемычки. Их применяют для монтажа бытовой радиоаппаратуры, блоков питания, устройств техники связи, в простой РЭА и вспомогательной аппаратуре. Низкие затраты, высокую технологичность и нагревостойкость имеют рельефные литые ПП, на одной стороне которых расположены элементы печатного монтажа, а на другой – объемные элементы (корпуса соединителей, периферийная арматура для крепления деталей и ЭРЭ, теплоотводы и др.). В этих платах за один технологический цикл получается вся конструкция с монтажными отверстиями и специальными углублениями для расположения ЭРЭ, монтируемых на поверхность. В настоящее время технология рельефных ПП интенсивно развивается.

Двусторонние печатные платы (ДПП) имеют проводящий рисунок на обеих сторонах диэлектрического или металлического основания и обеспечивают высокую плотность установки компонентов и

трассировки. Переходы проводников из слоя в слой осуществляются через металлизированные переходные отверстия. Платы допускают как монтаж компонентов на поверхности, в том числе с двух сторон, так и монтаж компонентов с осевыми и штыревыми выводами в металлизированные отверстия. ДПП являются самой распространенной разновидностью ПП в производстве модулей РЭА, используются в измерительной технике, системах управления и автоматического регулирования. Расположение элементов печатного монтажа на металлическом основании позволяет решить проблему теплоотвода в силовой аппаратуре.

Многослойные печатные платы (МПП) состоят из чередующихся слоев изоляционного материала с проводящими рисунками на двух или более слоях, между которыми выполнены требуемые соединения, соединенных клеевыми прокладками в монолитную структуру путем прессования. Электрическая связь между проводящими слоями выполняется специальными объемными деталями, печатными элементами или химико-гальванической металлизацией. По сравнению с ОПП и ДПП они характеризуются повышенной надежностью и плотностью монтажа, устойчивостью к механическим и климатическим воздействиям, уменьшением размеров и числа контактов. Однако большая трудоемкость изготовления, высокая точность рисунка и совмещения отдельных слоев, необходимость тщательного контроля на всех операциях, низкая ремонтпригодность, сложность технологического оборудования и высокая стоимость позволяют применять МПП только для тщательно отработанных конструкций радиоэлектронной аппаратуры.

В РЭА применяются также гибкие печатные платы (ГПП), выполненные конструктивно как ОПП или ДПП, но на эластичном основании толщиной 0,1–0,5 мм. Они применяются в тех случаях, когда плата после изготовления подвергается вибрациям, многократным изгибам или после установки ЭРЭ ей необходимо придать изогнутую форму. Разновидностью ГПП являются гибкие печатные кабели (ГПК), которые состоят из одного или нескольких непроводящих слоев с размещенными печатными проводниками. Толщина ГПК колеблется от 0,06 до 0,3 мм. Они применяются для соединений узлов и блоков РЭА, занимают меньшие объемы и легче круглых жгутов и кабелей, а их производство может осуществляться непрерывно на рулонном материале.

По виду материала основы ПП разделяют на:

- изготовленные на основе органического диэлектрика (текстолит, гетинакс, стеклотекстолит);
- изготовленные на основе керамических материалов;
- изготовленные на основе металлов.

По виду соединений между слоями различают ПП с металлизированными отверстиями, с пистонами, изготовленные послойным наращиванием, с открытыми контактными площадками.

По способу изготовления ПП разделяют на платы, изготовленные химическим травлением, электрохимическим осаждением, комбинированным способом.

По способу нанесения проводников ПП делят на платы, полученные обработкой фольгированных диэлектриков, нанесением тонких токопроводящих слоев. Последний способ хорошо отработан на технологии гибридных схем.

Широкое распространение получают МПП на керамической основе. По сравнению с органическими диэлектриками керамика позволяет улучшить теплоотвод, повысить плотность компоновки микросхем (особенно с использованием микрокорпусов). К недостаткам керамических МПП следует отнести их большую массу и небольшие максимальные линейные размеры (ограничены технологией порядка 150×150 мм).

Металлические ПП изготавливаются на основе стальных, алюминиевых и инваровых листов. Пластины окисляются и покрываются слоем керамики, эмали, лака или другого диэлектрика. Поверх наносятся печатные проводники, пленочные резисторы, конденсаторы, индуктивности, а затем монтируются микросхемы (как правило, бескорпусные). Преимущества – сравнительно невысокая стоимость, неограниченные размеры, высокая теплопроводность, высокая помехозащищенность, высокая прочность и теплостойкость. Недостатки – высокая удельная емкость проводников и большая масса.

Вопросы для обсуждения

1. Какие виды печатных плат вы знаете?
2. Где используются двусторонние печатные платы?
3. В чём заключаются достоинства многослойных печатных плат?

4. В чём заключаются достоинства гибких печатных плат?
5. В чём заключаются достоинства и недостатки металлических печатных плат?

Практическое занятие № 19.

Исследование и анализ основных конструктивных компонентов (составляющих) узла печатного монтажа и требований к ним

Цель занятия: изучить основные конструктивные компоненты узла печатного монтажа и требования к ним.

Теоретический материал

Конструктивные особенности ПП.

Ширину печатных проводников рассчитывают и выбирают в зависимости от допустимой токовой нагрузки, свойств токопроводящего материала, температуры окружающей среды при эксплуатации. Края проводников должны быть ровными, проводники без вздутий, отслоений, разрывов, протравов, пор, крупнозернистости и трещин, так как эти дефекты влияют на сопротивление проводников, плотность тока, волновое сопротивление и скорость распространения сигналов.

Расстояние между элементами проводящего рисунка, расположенными нанаружных или в соседних слоях ПП, зависит от допустимого рабочего напряжения, свойств диэлектрика, условий эксплуатации и связано с помехоустойчивостью, искажением сигналов и короткими замыканиями.

Координатная сетка чертежа ПП необходима для координации элементов печатного рисунка. В узлах пересечений сетки располагаются монтажные и переходные отверстия. Основным шагом координатной сетки принят размер 0,5 мм в обоих направлениях. Если этот шаг не удовлетворяет требованиям конкретной конструкции, можно применять шаг, равный 0,05 мм. При использовании микросхем и элементов с шагом выводов 0,625 мм допускается применение шага координатной сетки 0,625 мм. При использовании микросхем зарубежного производства с расстояниями между выводами по дюймовой системе допускается использование шага координатной сетки, кратного 2,54 мм.

Диаметры монтажных и переходных отверстий (металлизированных и неметаллизированных) должны выбираться из ряда 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0. Монтажные отверстия предназначены для установки микросхем и ЭРЭ, а переходные отверстия для электрической связи между слоями или сторонами ПП.

Размеры ПП, если они специально не оговорены в ТЗ, определяются с учетом количества устанавливаемых элементов, их установочных площадей, шага установки, зон установки разъема и пр. Соотношение линейных размеров сторон ПП должно составлять не более 3:1.

Кривизна ПП (цилиндрическое или сферическое искривление основания) может появиться в результате воздействия высокой температуры и влажности. Допустимое значение изгиба ПП на длине 100 мм составляет для ОПП и ДПП 1,5 мм; для МПП – 2,0 мм.

Допустимая плотность тока для ОПП, ДПП и наружных слоев МПП – 20 А/мм²; для внутренних слоев МПП – 15 А/мм². Допустимое рабочее напряжение между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях ПП и ГПК, зависит от материала основания печатной платы и не должно превышать значений, указанных в таблице слева.

Допустимые рабочие напряжения между элементами проводящего рисунка, расположенными на наружном слое ПП, зависят от материала основания ПП и условий эксплуатации.

Классы точности ПП.

Отечественным стандартом ГОСТ 23751-86 предусматривается пять классов точности (плотности рисунка) ПП (табл. 2). Выбор класса точности определяется достигнутым на производстве уровнем технологического оснащения. В КД должно содержаться указание на необходимый класс точности ПП.

Таблица 2

Наименование параметра	Усл. обозн.	Размеры элементов проводящего рисунка для классов, мм				
		1	2	3	4	5
Расстояние между проводниками, контактными площадками, металлизированными отверстиями	t	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки данного отверстия	S	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Отношение минимального диаметра металлизированного отверстия к толщине платы	f	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

Платы первого и второго классов точности просты в изготовлении, дешевы, не требуют для своего изготовления оборудования с высокими техническими показателями, но не отличаются высокими показателями плотности компоновки и трассировки.

Для изготовления плат четвертого и пятого классов требуется специализированное высокоточное оборудование, специальные материалы, безусадочная пленка для изготовления фотошаблонов, идеальная чистота в производственных помещениях, вплоть до создания «чистых» участков (гермозон) с кондиционированием воздуха и поддержанием стабильного температурно-влажностного режима. Технологические режимы фотохимических и гальвано-химических процессов должны поддерживаться с высокой точностью.

Массовый выпуск плат третьего класса освоен основной массой отечественных предприятий, поскольку для их изготовления требуется рядовое, хотя и специализированное оборудование, требования к материалам и технологии не слишком высоки.

Вопросы для обсуждения

1. Назовите конструктивные особенности ПП.
2. Как выбираются диаметры монтажных и переходных отверстий?
3. Как осуществляется выбор класса точности?

Практическое занятие № 20.
Оформление маршрутной карты технологического
процесса поверхностного монтажа электронного устройства
(по заданию преподавателя).

Цель занятия: сформировать навыки оформления маршрутной карты технологического процесса поверхностного монтажа электронного устройства.

Теоретический материал

Разработка маршрутной карты на изготовление устройства.

Маршрутная карта – это данные по составу выполняемых операций, оборудованию, технологическим документам.

Маршрутная карта является основным документом любого технологического процесса.

По маршрутной карте рабочие выполняют различные технологические операции в более конкретном виде и определенной последовательности.

Технологический процесс сборки и монтажа печатной платы термостабилизатора паяльника на микроконтроллере должен выполняться согласно ГОСТ 14.301-83. «Общие правила разработки технологического процесса». Разработка технологического процесса включает: анализ исходных данных; выбор типового технологического процесса; разработка технологического маршрута сборки и монтажа (определение последовательности и содержания технологических операций); определение и выбор средств технологического оснащения; определение профессии и квалификации исполнителей; оформление маршрутной карты. Основные операции технологического процесса сборки и монтажа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Основные этапы сборки и монтажа	Объекты сборки и монтажа	Основные типовые операции
Комплектация	Печатные платы, навесные элементы, детали	Распаковка из тары поставщика. Входной контроль параметров. Размещение в технологической таре
Подготовка к монтажу	Печатная плата	Обезжиривание (промывка) платы, контроль печатного монтажа. Маркировка платы
Навесные элементы	Лакирование обозначений	

Основные этапы сборки и монтажа	Объекты сборки и монтажа	Основные типовые операции
(ИМС и ЭРЭ)	элементов. Рихтовка и укорачивание выводов. Флюсование и лужение выводов. Формовка выводов	
Установка на ПП	Детали	Установка и закрепление разъемов, навесных шин питания
Навесные элементы	Установка и фиксация ЭРЭ, установка и фиксация ИМС. Контроль установки элементов	
Выполнение контактных соединений	Плата с деталями, ЭРЭ и ИМС	Флюсование и пайка соединений, контроль контактных соединений
Контроль модуля и защита от внешних воздействий	Модуль	Контроль и регулировка функциональных параметров. Монтажные операции (дополнительные). Контроль параметров. Защита (лакированием) модуля. Сдача на соответствие ТУ

Так как производство крупносерийное, то выбирается оборудование конкретно для каждой операции в соответствии с каталогом технологического оборудования.

Вопросы для обсуждения

1. Для чего нужна маршрутная карта?
2. Что включает в себя разработка технологического процесса?
3. Опишите основные операции технологического процесса сборки и монтажа.

Практическое занятие № 21.

Отработка практических навыков применения ручного трафарета для нанесения паяльной пасты при выполнении печатного монтажа электронного устройства

Цель занятия: отработать практические навыки применения ручного трафарета для нанесения паяльной пасты при выполнении печатного монтажа электронного устройства.

Теоретический материал

Технологии изготовления трафаретов.

Главная функция трафарета – облегчить размещение припойной пасты. Цель – нанести точное количество материала на точноопределенное место на ПП.

Рекомендованные соотношения шага выводов компонентов, размеров контактных площадок (КП) и размеров отверстий трафаретов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Шаг компонентов, мм	Стандарт ширины КП, мм	Стандарт ширины отверстий трафарета, мм	Толщина трафарета, мкм
1,27	0,635	0,635	200
1,0	0,5	0,5	150
0,825	0,45	0,425	125
0,635	0,4	0,3	125
0,5	0,3	0,25	125
0,425	0,25	0,2	120
0,3	0,2	0,15	100

Уменьшение размеров отверстий трафарета по отношению к размерам КП выполняется равномерно со всех сторон и центрируется по КП. Для уменьшения площади стенок окна трафарета и прилипания паяльной пасты к стенкам рекомендуется делать скругленные углы окон в трафарете.

Наиболее распространены три технологии для производства трафарета – химическое травление, лазерное испарение и электроосаждение. Каждая из них имеет свои особенности. Химически вытравленные трафареты создаются путем травления металлической фольги, покрытой маской из фоторезиста с двух сторон.

Трафареты с трапецеидальными отверстиями имеют со стороны основания трафарета большие размеры, чем со стороны вершины. Трапецеидальное отверстие может быть выполнено двумя способами: изменением размеров маски фоторезиста на разных сторонах фольги или изменением давления струи травителя при обработке разных сторон фольги. Такая форма отверстий подходит для шага компонентов 0,5 мм и выше.

Методом химического травления могут быть получены трафареты двойного уровня (ступенчатые), которые позволяют варьировать объем припоя для компонентов, имеющих различный шаг выводов.

Ступенчатость должна быть на стороне ракеля, так как сторона основания трафарета должна ровно прилегать к плате. Как и в технологии формирования рисунка ПП методом травления фольги (субтрактивная технология), при химическом травлении трафаретов возникает боковое подтравливание под маску фоторезиста, вызывающее относительное удлинение размеров отверстий. Это относительное удлинение зависит от толщины трафарета, поэтому размер отверстий определяется к толщине фольги как 1,5 к 1. То есть, при 150 мкм толщине трафарета минимальное отверстие будет 225 мкм.

Метод электроформирования трафарета основан на гальваническом наращивании металлической фольги на основании (носителе), на котором сформированы «островки» фоторезистивной маски на месте будущих отверстий. Толщина трафарета может варьироваться от 25 мкм до 0,3 мм и подходит для нанесения пасты для ультрамалых шагов выводов компонентов: от 0,2 мм до 0,4 мм. Отношение размера отверстий к толщине трафарета 1 к 1.

Трафареты, формируемые лазерным испарением, изготавливаются непосредственно по оригинальным данным клиента (Gerber формат) и не требуют фотолитографии. Прямое формирование позволяет повысить точность и воспроизводимость изготовления трафаретов. По сравнению с химическим травлением края отверстий в ряде случаев могут иметь неровности в силу взрывного испарения металла. Процесс долговременный, т. к. машина вырезает каждое отверстие индивидуально. Трафареты могут быть произведены комбинированным способом: химическим травлением для компонентов стандартного шага и лазерным испарением для компонентов малого шага. Готовый трафарет может быть электроотполирован, чтобы обеспечить гладкость стенок отверстий. Лазерная методика – единственный процесс, который позволяет корректировать трафарет во время его изготовления (например, добавлять или изменять существующие отверстия или добавлять реперные знаки).

Процесс трафаретной печати.

Для нанесения паяльной пасты могут использоваться ракели различной конструкции и материала, в том числе стальные или полиуретановые. Угол наклона ракеля: 60° – стандартный, 45° – для компонентов с шагом <0,4 мм.

Для контактных площадок прямоугольной формы имеет значение направление движения ракеля: вдоль длинной или короткой сто-

роны, поскольку из-за увлечения пасты ракелем вдоль одной из стенок трафарета остаются небольшие пустоты. Разный объём пасты на разных КП может приводить к разной высоте припойных столбиков после оплавления припойной пасты. Это может приводить к дефектам типа «открытое соединение» – отсутствию электрического контакта. Для предотвращения таких дефектов rakel движется под углом 45° к наиболее критичным посадочным местам компонентов. Давление rakel подбирается опытным путем и зависит от толщины трафарета и скорости перемещения rakel. После прохода rakel трафарет должен полностью очищаться от остатков паяльной пасты. Например, значения первоначальной установки давления металлического rakel составляют от 0,12 кг (на каждый см длины rakel), при скорости перемещения 50 мм/с до 0,32 кг, при скорости 150 мм/с при температуре $+23^\circ\text{C}$. Увеличение или уменьшение рабочей температуры на 1°C требует пропорционального изменения давления rakel на 5%. Скорость печати может составлять от 30 до 150 мм/с. Скорость разделения трафарета с печатной платой после нанесения паяльной пасты высокая – 20 мм/с; для компонентов с малым шагом рекомендуется уменьшить скорость до 10 мм/с.

После нанесения паяльной пасты на 15–20 печатных плат рекомендуется произвести очистку трафарета с нижней стороны для предотвращения образования перемычек и шариков припоя в процессе пайки. Для очистки трафарета необходимо использовать только специальные материалы (бумагу и промывочные жидкости). Обычные материалы хуже впитывают влагу и оставляют пыль, нитки и ворсинки, которые могут забивать окна в трафарете и создавать «мостики» между соседними контактными площадками, образуя перемычки припоя в процессе пайки.

Вопросы для обсуждения

1. В чём заключается главная функция трафарета?
2. Какие технологии для производства трафарета вы знаете?
3. Какими способами выполняется трапецеидальное отверстие?
4. Опишите процесс трафаретной печати.

Практическое занятие № 22.

Разработка технологической программы для автомата Mechatronika M60 по установке SMD компонентов

Практическое занятие № 23.

Анализ технических характеристик установки SMD-компонентов автоматом M60 и нанесение паяльной пасты

Цель занятий: получить навыки разработки технологической программы для автомата Mechatronika M60 по установке SMD компонентов.

Теоретический материал

Производительность автомата – до 2500 комп./ч. Автомат оснащен механической системой центрирования компонентов «На лету». Автоматы позволяют устанавливать QFP, PLCC и BGA с крупным шагом благодаря «базе центрирования компонентов».

M60 снабжен камерой для считывания реперных знаков с платы и визуального обучения при программировании новой продукции.

Оси X и Y работают при помощи шаговых двигателей и редукторов с передаточным числом 5:1, что обеспечивает на один шаг двигателя 0,01 мм перемещения головы по оси. Считывание местоположения монтажной головки основано на использовании высокоточных магнитных энкодеров с шагом магнитных меток 0,025 мм. Тем самым выдерживается высокая точность системы при простом механическом решении. В установщике на передвижения по всем осям используются только ременные передачи, что позволяет свести к минимуму техническое обслуживание.

M60 может быть оснащён автоматическим дозатором пасты или клея, что позволяет работать без трафаретного принтера.

Основные достоинства:

- Высокая точность установки в своем классе;
- Надежная конструкция питателей;
- Минимальное техническое обслуживание;
- Высокая надежность;
- Низкая цена.

Автомат установки SMD компонентов M-60 используется для размещения SMD компонентов на печатных платах, керамических-

подложках гибридных схем и для распределения пасты или клея. Компоненты поднимаются с подающих механизмов и размещаются в соответствии с определенной технологической программой. Базирование элементов осуществляется в системе координат платы, которая привязана к так называемым реперным знакам. Благодаря наличию реперных знаков плата может располагаться в любом месте машины, необходимо только задать первый реперный знак без изменения всей программы. Компоненты захватываются всасывающим соплом (патрубком), механически центрируются и вращаются в соответствии с требуемой ориентацией.

Программирование рабочего цикла может осуществляться посредством метода TEACH-IN (диалога) с использованием системы нацеливания камеры или, по выбору, посредством передачи данных от программного обеспечения CAD. Устройство управляется посредством клавиатуры, мышки и монитора, располагается на подвижном кронштейне, прикрепленном с правой стороны устройства. Управляющий компьютер располагается в основании устройства.

Нанесение паяльной пасты возможно как методом трафаретной печати, так и методом дозирования. В последнем случае операции нанесения клея и паяльной пасты можно проводить на одном оборудовании, что сокращает затраты. Однако нанесение паяльных паст методом дозирования непригодно при промышленном производстве из-за низкой скорости и стабильности процесса по сравнению с трафаретной печатью и оправдано только в условиях отсутствия трафарета на изделие или нецелесообразности его изготовления. Такая ситуация может сложиться, например, при опытном производстве большой номенклатуры электронных модулей, когда из-за большого числа обрабатываемых конструктивов и малых серий затраты на изготовление трафаретов значительны.

Метод дозирования удобен для производства мелких серий или макетной сборки печатных плат. Дозатор работает по принципу давление – время. Для его работы не нужно писать специальную программу. Достаточно включить режим дозирования и все параметры будут автоматически загружены из библиотеки компонентов в соответствии с установочной программой.

Сущность поверхностного монтажа заключается в том, что используется элементная база, которая унифицирована по внешним га-

баритам и имеет вид прямоугольников, применяется новый технологический процесс и новое технологическое оборудование.

Унифицированные габаритные размеры позволяют упростить конструкции технологического оборудования для автоматизированной установки различных ЭРЭ. Выводы ЭРЭ конструктивно оформлены для установки и пайки непосредственно на плату и на рисунке даны в миллиметрах. Поэтому и применяется новый технологический процесс пайки выводов ЭРЭ под выводом. Миниатюризация ЭРЭ потребовала применить и новые материалы для пайки, а именно паяльную пасту со сложным составом. Новый технологический процесс потребовал и нового технологического оборудования.

Преимущества поверхностного монтажа: уменьшение габаритов устройств, повышения уровня автоматизации производственного процесса, высокая производительность установки ЭРЭ – более 18 тыс. ЭРЭ в час.

Недостатки: высокая себестоимость изготовления платы.

В связи с вышеизложенным, производство плат поверхностным монтажом становится выгодным при массовом типе производства.

Вопросы для обсуждения

1. Преимущества и недостатки поверхностного монтажа.
2. Какой класс точности ППМ может быть выполнен на автомате М60?
3. Вид и габариты элементов устанавливаемых с помощью автомата М60.
4. В каких случаях целесообразно наносить паяльную пасту на автомате М60?
5. В каких случаях обоснованно наносить клей?

Практическое занятие № 24.

Изучение принципа работы и отработка практических навыков работы с настольной печью оплавления и методики выбора оптимального температурного режима печи оплавления

Цель занятия: приобретение навыков в работе с печью оплавления и промывкой плат печатного монтажа.

Теоретический материал

Печь оплавления конвейерного типа 548.04G предназначена для оплавления паяльной пасты и полимеризации клея. Печь 548.04G – решение для производственных участков с малой площадью и небольшими объемами выпуска продукции, идеально подходит для мелкосерийного и опытного производства, позволяет использовать как свинцовые, так и бессвинцовые технологии. Эта печь, не смотря на свои очень компактные размеры, позволяет добиться качества пайки, сравнимой с качеством больших печей. Производительность печи составляет приблизительно 0,35 м²/ч, т. е. данная печь в среднем может оплавливать площадь 0,35 м² плат в час.

Система печи состоит из самой печи оплавления, выносного блока вытяжки, термopары и встроенного термопрофайлера. Печь 548.04G снабжена сетчатым конвейером и имеет настольное исполнение.

Печь является интеллектуальным оборудованием, т. к. снабжена выходом на компьютер USB 1.1. Это позволяет ввести диаграмму оплавления через компьютер и обеспечить его выполнение. Печь имеет встроенный ЖК-дисплей, профайлер и программное обеспечение, контролирующее не только температуры во всех зонах, но и снимающее реальный термопрофиль, развернутую временную характеристику термообработки изделия. Для независимого снятия термопрофиля напрогоняемую в печи печатную плату устанавливается термopара, подключаемая через гнездо на панели управления. Термопрофиль отображается в виде графика на ЖК-дисплее. Для упрощения использования в памяти устройства имеется несколько стандартных предустановленных режимов термообработки. На основе стандартных режимов также можно создать собственные режимы. Устройство способно хранить до 16 программ пайки.

Программное обеспечение позволяет при отработке нового профиля изменять его и оптимизировать в режиме реального времени. В зависимости от размеров платы и компонента выбирается один из стандартных термопрофилей. Стандартный термопрофиль с помощью термопар можно использовать как базовый для создания нового.

Термопары термостойкой лентой закрепляют на контрольных точках изделия. Это могут быть точки на корпусе, под корпусом, рядом с ним, у соседних компонентов и на обратной стороне печатной платы под компонентом.

После запуска цикла нагрева показания каждого термодатчика будут отображаться на экране в виде разноцветных кривых на фоне графика заданных температур нижнего и верхнего нагревателей. Оператор, наблюдая за температурой в контрольных точках, при подключении к компьютеру может в любой момент с помощью мышки регулировать температуру воздуха внутри сопла или температуру нижнего подогревателя. Скорость и уровень нагрева контрольных точек при этом также изменятся. Так можно подстроить режим нагрева к рекомендуемому для каждого компонента. Если специальных рекомендаций нет, термопрофиль настраивают на стандартные значения температур в каждой зоне.

Вопросы для обсуждения

1. Сущность конвекционного процесса оплавления.
2. Какие факторы влияют на выбор температуры оплавления и скорости перемещения конвейера?
3. Какие диаграммы оплавления могут быть реализованы в данной печи?
4. Какие параметры можно установить в промывочной ванне и их влияние на компоненты?
5. Виды брака в пайке, видимые при оптическом контроле и меры по его устранению.

Практическое занятие № 25.

Изучение методики (руководства) по подбору паяльной пасты

Цель занятия: Изучить методику по подбору паяльной пасты.

Теоретический материал

Припойная паста. Для нанесения методом трафаретной печати через металлический трафарет или для нанесения дозатором разрабатываются различные варианты паяльных паст. Характеристики припойных паст в первую очередь определяются их составом.

Припойные пасты представляют собой смесь мелкодисперсного порошка материала припоя со связующей жидкой основой, в которую входит флюс. Содержание порошка припоя составляет приблизительно 88% от веса пасты. Состав паст выражают через соотношение ингредиентов материала припоя. Так, например, 63/37 означает содержание в составе материала припоя 63% олова и 37% свинца.

Характеристики частиц материала припоя в пасте оказывают существенное влияние на качество паяного соединения. Наиболее важным параметром является размер частиц припоя. Если припойная паста наносится на ПП через сеточный трафарет, рекомендуется применять припойную пасту, у которой максимальный размер частиц припоя составляет половину размера ячейки трафарета. Форма частиц материала припоя также оказывает влияние на процесс трафаретной печати. Частицы припоя сферической формы облегчают процесс трафаретной печати, позволяют получать хорошую воспроизводимость технологического процесса от одной партии изделий к другой при формировании рисунка припойной пасты. Наличие в пасте частиц другой формы может способствовать появлению загрязнений, затрудняющих процесс печати, и ускорению процессов окисления материалов припоя. Пульверизация расплавленного припоя, с помощью которой наиболее просто получить порошкообразные припои, образует частицы преимущественно сферической формы.

Флюс в составе припойных паст служит не только для активации металлических поверхностей, удаления с них окислов и предотвращения окисления припоя в процессе пайки, но и обеспечивает требуемую растекаемость и изменение вязкости со временем при нанесении припойной пасты на ПП. Если состав припойной пасты име-

ет недостаточную вязкость, она будет растекаться, что приведет к потере точности рисунка. Для уменьшения растекания пасты можно увеличить процентное содержание в ней порошка припоя или изменить химический состав флюса путем введения в него специальных вяжущих добавок (загустителей). Но здесь нужно соблюдать меру, ибо в противном случае может произойти закупорка сопла дозатора или ячеек трафарета.

Флюс должен удалять окислы с контактируемых металлических поверхностей при пайке. Для эффективного протекания этого процесса очень важно правильно выбрать необходимый температурно-временной режим пайки (температурный профиль). Если во время разогрева платы температура повышается слишком быстро, то растворитель, входящий в припойную пасту в составе флюса, быстро испаряется, что приводит к потере активности флюса, неравномерному расплавлению припоя, разложению или выгоранию его компонентов. Если же нагревательный цикл завершен преждевременно, то окислы в местах паяных соединений могут быть не полностью удалены.

Для избегания окисления припоя формирование слоя припойной пасты рекомендуется производить в химически инертной атмосфере. Хранение пасты рекомендуется осуществлять в прохладном месте с температурой от +5 до +10°C. Минимальный срок хранения паяльной пасты с флюсом при такой температуре составляет 6 месяцев с даты производства. Перед применением ёмкость с пастой необходимо выдержать при комнатной температуре до полной стабилизации в течение 2–8 часов. Не рекомендуется открывать холодную ёмкость, это может вызвать конденсацию влаги и ухудшение параметров паяльной пасты. Категорически не допускается подогрев пасты нагревательными приборами.

Как правило, паяльные пасты с флюсом полностью готовы к применению и не требуют дополнительных разбавителей. Паяльная паста, которая не была использована в течение рабочей смены, не должна смешиваться со свежей пастой. Остатки пасты рекомендуется складывать в отдельную тару и использовать в начале следующей смены. Не рекомендуется использовать пасту, которая находилась на трафарете две рабочих смены. Если устройство трафаретной печати не использовалось в течение четырех часов, рекомендуется произвести полную очистку трафарета от остатков паяльной пасты.

Распространенными материалами выводов и внешних контактов электронных компонентов являются золото, серебро, палладий-серебро, медь, луженая медь, и припойная паста должна выбираться таким образом, чтобы исключить выщелачивание этих материалов. Большинство паяльных паст с флюсом обладают хорошими клеящими свойствами, достаточными для удержания компонентов после установки до пайки в течение до 8 часов. Клеящие свойства пасты зависят от температуры и влажности, поэтому рекомендуется произвести испытания для определения максимального времени удержания пастой компонентов в условиях реального производства. Печатные платы могут быть запаяны в течение 24 часов после нанесения паяльной пасты без ухудшения качества пайки, высокая температура и влажность могут сокращать это время.

Вопросы для обсуждения

1. Какие факторы оказывают влияние на процесс трафаретной печати?
2. Для чего применяется пульверизация расплавленного припоя?
3. Для чего служит флюс в составе припойных паст?

Практическое занятие № 26.

**Проведение выбора оборудования для отмывки
поверхностно-монтируемых электронных устройств**

Практическое занятие № 27.

**Изучение устройства и порядка эксплуатации ультразвуковой
системы очистки (промывки) печатных плат**

Цель занятий: приобретение навыков в работе с печью оплавления и промывкой плат печатного монтажа.

Теоретический материал

Устройство и назначение ванны промывки.

Ультразвуковая система BIO-Chem G13910 предназначена для очистки печатных плат, компонентов, металлических изделий от остатков всевозможных химических материалов применяемых в соответствии с технологией обработки. Устройство выполнено с устойчи-

вом к коррозии исполнением и может применяться для работы с любыми негорючими жидкостями, которые могут превращаться в взрывоопасную среду.

УЗ генератор может работать в трех режимах.

1) Амплитудное колебание мощности УЗ с частотой с периодом 0,5 с.

2) Пульсация УЗ с периодом 0,5 с.

3) Постоянная частота без изменения интенсивности.

Устройство имеет удобный слив жидкости через специальное технологическое отверстие.

Пульт управления устройством очень прост в работе и не требует специальных навыков оператора, работающего с этой системой.

Ванна также оснащена специальной корзиной, необходимой в работе устройства, так как в любой ультразвуковой мойке категорически запрещено класть образцы прямо на дно ванны.

В процессе изготовления и хранения печатные платы могут подвергаться различным загрязнениям, в том числе: солями гальванических и травильных растворов, отпечатками пальцев, косметикой, жировыми загрязнениями.

Очистка печатных плат перед началом сборки позволяет: удалить загрязнения, образовавшиеся при изготовлении и хранении печатных плат, улучшить качество отпечатков паяльной пасты в процессе нанесения, исключить расползание, изменение контура и формы отпечатков паяльной пасты после нанесения, обеспечить хорошую смачиваемость контактных площадок в процессе пайки, снизить вероятность образования дефектов пайки, в том числе: шариков припоя, перемычек, непропаев и т. д.

Основная функция отмывки оснований плат печатного монтажа – удаление остатков флюса, которые в процессе эксплуатации электронной аппаратуры могут оказать негативное воздействие на надежность плат. В современной технологии сборки ПУ наибольшее распространение получили процессы с применением флюсов, не требующих отмывки после пайки. К таким флюсам можно отнести канифольные флюсы и флюсы с низким содержанием твердых веществ. Такие флюсы обычно не требуют удаления остатков после пайки при эксплуатации аппаратуры в нормальных климатических условиях, однако, в некоторых случаях может возникать необходимость удаления остатков.

Остатки канифольных флюсов и флюсов с низким содержанием твердых веществ состоят из: канифоли или синтетических смол и их остаточных продуктов, активаторов и продуктов их реакции.

В качестве активаторов обычно используются органические кислоты и галогенные соединения. Последние обладают свойствами ионов.

Остатки таких флюсов не удаляются водой или спиртом. Широко применяемая спирто-бензиновая смесь тоже обладает крайне низкой эффективностью – плохо удаляются остатки флюсов с низким содержанием твердых веществ, не удаляются ионные водорастворимые компоненты (остатки активаторов, минеральные соли, остатки травильных растворов и электролитов). Эффективную отмывку ПУ после пайки от всех типов загрязнений могут обеспечить только промывочные жидкости, специально разработанные для этих целей.

Отмывка остатков флюса после пайки с применением бессвинцовых материалов в целом требует большей интенсивности: увеличения концентрации отмывочных средств, времени воздействия, температуры и пр. Повышенная интенсивность отмывки необходима вследствие увеличения количества остатков флюсов после пайки и их устойчивости к воздействию отмывочных средств. Это связано с тем, что пайка объективно осуществляется при большей температуре, чем с припоями и пастами, содержащими свинец. Эффективность отмывки зависит от качества отмывочного средства, точки плавления припоя, свойств флюса.

Таким образом, решение проблемы перехода на бессвинцовые технологии во многом обусловлено выбором оптимальных паяльных материалов, соответствующих ряду критериев. Замещение традиционных припоев группы Sn-Pb на припой Sn-Ag-Cu представляется наиболее целесообразным для большинства процессов, принимая во внимание их физические характеристики, совместимость с текущими процессами, возможность бесперебойных поставок и стоимость. Адаптация производственного процесса с учетом свойств этих материалов позволяет эффективно осуществлять обслуживание компонентов, поверхностный монтаж, групповую и ручную пайку и пр.

Вопросы для обсуждения

1. Сущность конвекционного процесса оплавления.

2. Какие факторы влияют на выбор температуры оплавления и скорости перемещения конвейера?

3. Какие диаграммы оплавления могут быть реализованы в данной печи?

4. Какие параметры можно установить в промывочной ванне и их влияние на компоненты?

5. Виды брака в пайке, видимые при оптическом контроле и меры по его устранению.

Практическое занятие № 28.

Проведение анализа технологии выполнения бессвинцовой пайки в технике поверхностного монтажа

Цель занятия: изучить технологию выполнения бессвинцовой пайки в технике поверхностного монтажа.

Теоретический материал

В настоящее время радиоэлектронные приборы часто меняют не потому что они выработали свой рабочий и ремонтный ресурс, а в связи с непрестижностью той или иной «старой» модели этого устройства. Сейчас проблема утилизации продукции радиоэлектронной промышленности, содержащей свинец и его соединения, стоит особенно остро. По ряду опубликованным данным основными потребителями свинца являются автомобильная и военная техника. В электронной промышленности, по данным различных источников, доля свинца составляет от 0,5 до 7%.

Свинец (Pb) – это легкоплавкий металл серебристо-белого цвета с синеватым отливом и температурой плавления $327,46^{\circ}\text{C}$. Он имеет плотность $11,34 \text{ г/см}^3$ (при 20°C). Свинец и его соединения токсичны. Свинец накапливается в костях и может вызывать их разрушение, осаждаться в печени и почках. Свинец негативно воздействует на кровеносную систему и центральную нервную систему, а также негативно сказывается на репродуктивной функции человека. Особенно опасно воздействие свинца на детей: при длительном воздействии может вызывать умственную отсталость и хронические заболевания мозга.

В изделиях электронного производства свинец, в основном, применяется в припоях, при пайке изделий и в покрытиях выводов компонентов и печатных платах. Для монтажа радиоэлектронной аппаратуры ранее наиболее широко применяли легкоплавкие припои ПОС (припой оловянно-свинцовый), цифры, стоящие после этой аббревиатуры, обозначают процент содержания олова в припое. Хорошо паяются оловянно-свинцовыми припоями такие металлы, как золото, серебро, палладий и их сплавы, а также медь, никель, латунь, бронза. Плохо поддаются пайке оловянно-свинцовыми припоями железо, сталь, чугун, алюминий (металлы приведены в порядке ухудшения качества пайки).

При ремонте электронных устройств, выполненных по бессвинцовой технологии, при выпаивании расположенных на них элементов, вследствие более высоких температур пайки, усиливается воздействие на печатную плату, что может привести к отслаиванию дорожек печатных плат и контактных площадок, элементов, особенно в местах подхода проводящих дорожек к переходным отверстиям, короблению поверхности печатных плат и расслоению плат.

При ручном монтаже и ремонте устройств с использованием бессвинцовых припоев, специалисты рекомендуют не увеличивать температуру жала паяльника, а увеличивать время пайки.

При ремонте аппаратуры, выполненной по бессвинцовой технологии, выпаивание компонентов устройств возможно с помощью фена паяльной станции, с контролем температуры воздуха, подаваемого в область пайки, а также с помощью насадок на фен для конкретного типа компонентов. При этом нагретый воздух подается только в зону выводов микросхемы. В домашних условиях при выпаивании компонентов в корпусах SO и SOP возможно продевание нити между корпусом микросхемы и выводами, с последующим нагревом выводов и отсоединении вывода компонента от печатной платы, либо с помощью безопасного лезвия, вводимого между выводом компонента и печатной платой с прогревом паяльником или монтажным феном. При ремонте устройств с компонентами в корпусах типа DIP, в домашних условиях, и использовании печатных плат с односторонним монтажом, возможно применение медицинских игл со сточенным концом. Внутренний диаметр иглы должен немного превышать диаметр выводов компонента. Двухвыводные SMD компоненты (резисторы, конденсаторы и диоды) обычно выпаивают с помощью термо-

пинцетов или специально изготовленных насадок на жала паяльника. В домашних условиях удобно использовать два паяльника.

Не следует пытаться «подковырнуть» элемент с помощью жала паяльника паяльных станций, так как можно повредить его покрытие. При этом долговечность жала значительно снизится. В том случае, если необходимо сохранить только компонент устройства, а печатную плату сохранять не нужно, для выпайки можно применять нагреватели плат. Для удаления припоя с места пайки можно использовать вакуумные отсосы, паяльники с отсосом или впитывающую припой медную оплетку с флюсом, не требующим отмывки, ширина которой 1,5...2,7 мм.

Для обеспечения щадящего для печатной платы режима при ремонте, монтаже и демонтаже элементов применяют нагреватели плат. С их помощью керамические подложки или многослойные печатные платы могут подогреваться до температуры 50...450°C. Размеры подогреваемых поверхностей в зависимости от модели подогревателя могут составлять от 50×80 мм до 190×245 мм. Они имеют встроенные узлы контроля температуры и обеспечивают электростатическую защиту.

При ручной пайке с использованием бессвинцовых припоев очень важно состояние жала паяльника и время нагрева места пайки. При бессвинцовой технологии пайки припой содержат олово в больших количествах, что приводит к более интенсивному разрушению покрытия жала, к частым его заменам. На покрытие жала паяльника или паяльной станции влияют более активные флюсы и повышенная температура пайки, которая может достигать 343°C.

Для пайки элементов выпускаются флюсы на основе неактивированной или активированной канифоли, остатки которой, при необходимости, можно удалять уайтспиритом. Существует также индикаторный флюс-гель, в состав которого входит индикатор активности. После монтажа флюс обесцвечивается, что показывает, что активные составляющие флюса в месте пайки отсутствуют.

Для лужения жал при пайке бессвинцовыми припоями существуют специальные составы на основе SnAg, называемые активаторами жал. В активатор погружают нагретое жало с последующей обтиркой и покрытием припоем, который используется.

Для пайки припоями, не содержащими свинец, применяют специально разработанные жала, которые имеют до 5–7 слоев различных

металлов. Тело жала выполнено из электролитической меди, внешний слой – хром, затем следует слой никеля, слой железа. Рабочая поверхность жала в заводских условиях покрывается оловом. Медное жало полое. Внутри оно покрыто слоем никеля. В паяльниках паяльных станций датчик температуры располагается на конце нагревательного элемента, вводимого в полость жала как можно ближе к месту пайки.

В домашних условиях для залуживания жала необходимо очистить его от припоя, не используя напильники, надфиля и методы, которые могут повредить покрытие медного жала другими металлами. До полного нагрева жала его частично покрывают канифолью. В кристаллическую канифоль помещают небольшое количество припоя. Под слоем канифоли залуживают расплавленным припоем жало паяльника.

При определении «на глаз», по какой технологии выполнен монтаж того или иного устройства, нужно помнить, что при монтаже бессвинцовыми припоями паяное соединение имеет матовую поверхность и более выраженную кристаллическую структуру.

Вопросы для обсуждения

1. На что свинец негативно воздействует?
2. Какие последствия бывают при ремонте электронных устройств, выполненных по бессвинцовой технологии?
3. Что можно использовать для удаления припоя с места пайки?
4. Для чего при ремонте, монтаже и демонтаже элементов применяют нагреватели плат?

Практическое занятие № 29.

Проведение анализа технологии выполнения конвекционной пайки оплавлением дозированного припоя при монтаже плотноукомпанованной печатной платы

Практическое занятие № 30.

Проведение анализа методики паяемости контактируемых материалов в технике поверхностного монтажа

Цель занятий: провести анализ технологии выполнения конвекционной пайки оплавлением дозированного припоя при монтаже плотно укомпанованной печатной платы.

Теоретический материал

Пайка инфракрасным нагревом и конвекционная пайка.

При ИК-пайке нагрев платы с компонентами производится ИК-излучением. Основным механизмом передачи тепла, используемым в установках пайки с ИК-нагревом, является излучение. В процессе пайки с ИК-излучением скорость нагрева регулируется изменением мощности каждого излучателя и скорости движения транспортера с ПП. Поэтому термические напряжения в компонентах и платах могут быть снижены посредством постепенного нагрева сборок.

Инфракрасные печи применяются при изготовлении несложных плат. Обусловлено это тем, что инфракрасный тип нагрева имеет ряд отрицательных эффектов. Наиболее существенно влияют на работу следующие:

- количество энергии излучения, поглощаемой компонентами и платами, зависит от поглощающей способности материалов, из которых они изготовлены. Поэтому нагрев осуществляется неравномерно в пределах монтируемого устройства;
- высокие элементы могут закрывать более низкие, создавая «тень», где высока вероятность непропая;
- некоторые элементы корпусом могут закрывать свои собственные выводы (кристаллоносители без выводов или с J-образными выводами).

В некоторых установках для пайки с ИК-нагревом вместо ламп ИК-излучения применяются панельные излучающие системы. Излучение такой системы не нагревает непосредственно компоненты на

сборке, а поглощается технологической средой (воздух или газ), которая в свою очередь передает тепло на ПП за счет конвекции. Этот способ пайки устраняет ряд недостатков, присущих пайке с ИК-нагревом, таких, как неравномерный прогрев отдельных частей сборки и невозможность пайки компонентов в корпусах, непрозрачных для ИК-излучения. Панельные излучатели обеспечивают намного меньшую скорость нагрева, чем традиционные источники ИК-излучения.

Конвекционная пайка лишена недостатков, связанных с теплопередачей излучением. Но управлять горячим воздухом труднее и технически сложнее. Конвекционная пайка реализуется в камерных или конвейерных печах. Камерные печи используются в лабораторных условиях, в единичном или мелкосерийном производстве. Конвейерные печи встраиваются в сборочные линии и используются, как правило, в крупносерийном производстве.

В камерных печах отработка профиля пайки осуществляется путем изменения температуры внутри камеры со временем, в конвейерных – перемещением платы по конвейеру через несколько зон печи (зоны нагрева и охлаждения). Как правило, максимальная температура, при которой происходит непосредственно оплавление пасты, составляет 210–220°C. Плата находится в печи при максимальной температуре в течение всего нескольких секунд, после чего производится ее охлаждение.

В ряде случаев применяется пайка в инертной среде, при которой осуществляется выпуск азота в рабочую область печи. Эта операция используется для сведения к минимуму окислительного процесса. Однако необходимо оценивать необходимость этой операции. В случае если процесс пайки длится небольшой промежуток времени, припой не успеет окислиться, так как в его состав входит флюс, обеспечивающий растворение окислов на поверхности частиц порошка припоя. Пайка в инертной среде потребует большого расхода азота, что повлечет за собой использование азотной станции с существенными дополнительными расходами. Использование азотной среды при конвекционной пайке оправдано только в условиях серийного производства при изготовлении сложных модулей, требующих высокого качества исполнения.

Вопросы для обсуждения

1. Какие отрицательные эффекты имеет инфракрасный тип нагрева?
2. В чём достоинства и недостатки конвекционной пайки?
3. Для чего применяется пайка в инертной среде?

Практическое занятие № 31.

Оформление таблицы дефектов поверхностного монтажа электронных устройств

Цель занятия: получить навыки оформления таблицы дефектов поверхностного монтажа электронных устройств.

Теоретический материал

Дефекты поверхностного монтажа компонентов.

Слишком высокая скорость монтажа компонентов провоцирует, как правило, большое количество резких колебаний платы, что может привести к смещению и даже к сбрасыванию компонентов с платы.

Поскольку интенсивность колебаний связана со скоростью, единственный действенный способ коррекции – уменьшить (понижить) скорость монтажа компонентов.

Самая частая причина смещения элементов – прогиб платы. Прогиб платы можно устранить за счет закрепления платы. Закрепляют плату большим количеством поддерживающих пинов.

Зачастую есть основания подозревать слишком низкую липкость паяльной пасты. Иногда увеличение вязкости пасты способно устранить данный дефект, но не проблему как таковую. Вам нужно внимательно изучить все переменные факторы.

На этапе монтажа компонентов критически важно правильно закрепить плату. Такие переменные факторы, как тонкие или более гибкие печатные платы и высокое давление нажатия во время установки создают возможность для деформации печатной платы в процессе сборки. Ускоренный подъём монтажной насадки позволяет изогнутой печатной плате резко вернуться в исходное положение, что приводит к сбрасыванию или другим монтажным проблемам. Это

случается со многими типами компонентов, но чаще с большими, например с танталовыми конденсаторами, в связи с большой массой компонента.

Кроме того, важно проверять давление (силу нажатия) монтажа. Если давление в норме, проверьте компоненты на соответствие толщины либо правильный ввод данных толщины компонентов монтажа. Избыточное давление при монтаже бескорпусных компонентов может привести к растеканию припоя из-за выдавливания пасты с контактных площадок.

В отличие от эффекта «надгробного камня», эффект «рекламного щита» напрямую зависит от монтажного процесса. Эффект «рекламного щита», как правило, виден на пассивных компонентах – резисторах и конденсаторах. В отличие от эффекта «надгробного камня», при котором один вывод компонента припаян к контактной площадке, а другой не припаян и ориентирован «в небо», при эффекте «рекламного щита» оба вывода компонента запаяны в плату, но компонент стоит вертикально на боковой стороне.

Если возникает эффект «рекламного щита», нужно проверить правильность ввода в автомат установки компонентов координаты точки захвата компонента в питателе, скорость подачи компонентов в питателе, тип ленты питателя, отсутствие препятствий на пути перемещения компонента, допуск на положение компонента или перекос ленты питателя.

Вопросы для обсуждения

1. Назовите дефекты поверхностного монтажа компонентов.
2. Как можно устранить прогиб платы?
3. К чему может привести избыточное давление при монтаже бескорпусных компонентов?

Лабораторное занятие № 32.

Выполнение операций подготовки печатной платы к монтажу

Цель занятия: научиться выполнять операции подготовки печатной платы к монтажу.

Теоретический материал

Подготовка печатной платы к производству на этапе трассировки.

Проектировщик задумывается о процессе изготовления его разработки ещё на этапе проектирования. Уже тогда хорошо бы выбрать поставщика платы, или хотя бы определить класс поставщиков. Ведь, как известно, каждый поставщик предъявляет свои требования к проекту и имеет определенные возможности. Зная эти возможности, разработчик на этапе трассировки печатной платы может учитывать их без потерь времени и снижения надёжности будущей платы.

Например, если выбранная компания-производитель способна выполнять проводники шириной до 0,075 мм, то подобный «пограничный вариант» использовать без реальной необходимости не стоит. Если проект позволяет, то проводники/зазоры можно сделать шириной 0,11 мм, что значительно упростит изготовление, снизит стоимость производства и расширит список поставщиков, способных выполнить такой заказ.

Иногда встречаются ситуации, когда разработчик, завершив проект, не может реализовать его ни на одном производстве, и готов уже платить любые деньги – да некому. Поэтому разработчику приходится заново разводить такой нетехнологичный проект, теряя драгоценное время. Чем меньше в проекте «узких» мест, неоправданно узких проводников и других критичных мест, тем выше будет надёжность изделия. Не нужно без причины усложнять проект.

Ещё один пример. При разводке обычной двусторонней платы молодой разработчик заложил переходное отверстие 0,2/0,45 мм и проводники/зазоры шириной 0,1/0,1 мм, прочитав в рекламном проспекте, что производитель умеет выполнять подобные заказы. Действительно, такая возможность есть, но в этом случае плата изготавливается на импортном производстве, и заказ стоит в несколько раз дороже, чем при выполнении на отечественных мощностях при меньшем классе точности. В такой ситуации заказчик или безосновательно переплачивает, или тратит время и усилия на переделку проекта.

Если проект предполагает какие-то особенности или нестандартные требования, то их также лучше предварительно обсудить с потенциальным производителем ещё на этапе проектирования. Как правило, современные высокотехнологичные компании бесплатно дают советы и консультации своим заказчикам и помогают выбрать

правильные варианты именно с точки зрения дальнейшего беспроblemного изготовления.

Таким образом, помимо технического задания на проектирование печатной платы, для оптимизации проекта инженер-конструктор должен знать и учитывать требования и пожелания изготовителя уже на этапе проектирования.

В завершение проектирования инженер-конструктор обязательно должен проверить проект на целостность сигналов, соблюдение всех технологических норм, а также составить описание заказа для производителя – так называемый «бланк заказа».

Кроме того, необходимо учесть «панелизацию» – требования монтажного производства, позволяющие в дальнейшем удобно и качественно распаять готовые платы.

Вопросы для обсуждения

1. Когда проектировщик должен задуматься о процессе изготовления его разработки?
2. В какой ситуации заказчик или безосновательно переплачивает, или тратит время и усилия на переделку проекта?
3. Что называется «панелизацией»?

Лабораторное занятие №33.

Выполнение операции промывки печатной платы с элементами монтажа в промывочной ванне

Цель занятия: изучить операции промывки печатной платы с элементами монтажа в промывочной ванне.

Теоретический материал

Очистка плат после пайки.

Обычная ПП содержит много внутренних полостей (в том числе и под компонентами), имеющих выход на поверхность через узкие вертикальные зазоры между компонентами или их выводами. Эти полости способны удерживать продукты разложения флюса и другие загрязнения, которые могут стать источниками коррозии или причиной проникновения внутрь корпусов компонентов веществ, вызы-

вающие повышенные токи утечки. Усиленные попытки очистить плату, например, с помощью органических растворителей, сами по себе могут вызвать механические повреждения или коррозию.

Как правило, загрязнения бывают либо полярными (ионы), либо неполярными. Свободные ионы, особенно электроотрицательные, обладающие высокой химической активностью, быстро вступают в реакцию с металлом коммутационных дорожек и вызывают коррозию. Неполярные загрязнения ухудшают адгезию припоя, свойства защитного покрытия и электрический контакт для функционального испытания микросборки.

Органические растворители в соответствии с их очистной способностью можно разделить на три группы. Гидрофобные – не смешиваются с водой, используются для растворения органических загрязнений, например канифоли и жиров. Гидрофильные – смешиваются с водой, растворяют полярные и неполярные соединения, причем последние в меньшей степени, чем гидрофобные растворители. Азеотропные – представляют собой в основном смесь вышеуказанных типов растворителей. В их состав обязательно входят такие ингредиенты, как фреон-113 или тетрахлордифторэтан, с добавками спиртов и стабилизирующих ингредиентов.

Очистка изделий с применением растворителей может быть реализована погружением плат в ванну с растворителем, равномерным по полю платы или направленным в виде струй опрыскиванием, либо комбинацией обоих методов. Может применяться ультразвуковое перемешивание при очистке плат в ванне с растворителем. На эффективность очистки может повлиять ряд факторов, в том числе расположение компонентов. Компоненты должны размещаться на поверхности платы таким образом, чтобы их корпуса не загораживали друг друга при движении потока растворителя. Прерывания движения платы и остановки во время пайки волной припоя должны быть сведены к минимуму, чтобы флюс нигде не задерживался в полостях платы. Если используются чувствительные компоненты, рекомендуется обрабатывать микросборки в потоке растворителя. При этом необходимо обеспечить максимальную однородность потока растворителя, а интервал времени между пайкой и очисткой уменьшить до минимума.

Вопросы для обсуждения

1. В чём отличия полярных и неполярных загрязнений?
2. На какие группы делятся органические растворители в соответствии с их очистной способностью?
3. Как реализуется очистка изделий с применением растворителей?

Лабораторное занятие № 34.

Проведение визуального и оптического контроля качества печатного монтажа электронного устройства

Цель занятия: изучить проведение визуального и оптического контроля качества печатного монтажа электронного устройства.

Теоретический материал

Тест-контроль печатных плат.

Большинство проблем, связанных с тест-контролем в процессе изготовления изделия и на более поздних стадиях его жизненного цикла, становятся решаемыми, если им уделяется достаточное внимание на этапе проектирования устройств.

Техника поверхностного монтажа требует прецизионных технологических процессов, поскольку ремонт изделий на порядок сложнее и дороже, чем в случае традиционной технологии. Это предполагает высокое качество сборки, распознавание видов и причин появления дефектов на различных технологических переходах для оперативного исправления брака. Анализ дефектов обычно включает статистическую обработку результатов контроля параметров качества, выдаваемых функциональными испытательными системами. Даже если выход годных плат по результатам предварительных испытаний составляет 90% и более, все равно необходимо предусмотреть возможность внутрисхемного контроля для обеспечения эксплуатационной надежности этих изделий.

Исходя из экономических соображений, предварительные испытания должны быть функциональными, а последующие, внутрисхемные испытания должны проводиться выборочно и включать анализ дефектов на бракованных платах. Несмотря на то, что внутрисхемный контроль, судя по прогнозам, будет играть второстепенную роль, он

все еще продолжает оставаться неотъемлемой частью технологического процесса, поскольку именно такой контроль позволяет осуществлять обратную связь «изделие – технологический процесс».

В сложных системах тестовые (испытательные) площадки, безусловно, снижают плотность монтажа, а также увеличивают затраты на испытательную оснастку и программное обеспечение процесса контроля. Выбранные тест-площадки должны обеспечивать контроль достаточного набора электрофизических параметров для оценки функциональной способности устройства с применением минимального количества площадок. Удачный выбор тест-площадок, не снижающих плотности монтажа, позволяет уменьшить до 40% затраты на испытания.

Основные рекомендации по проектированию тест-контроля можно представить следующим образом.

- Зондовый контакт контрольного приспособления должен осуществляться только с тестовыми площадками либо площадками межслойных переходов, а не с выводами компонентов.

- Нельзя осуществлять контроль с двух сторон платы. В случае необходимости вывода испытательной точки на требуемую поверхность платы следует использовать межслойные переходы.

- Площадь по периферии платы должна быть свободной. Для надежного прижима испытательной оснастки к плате достаточна свободная полоса шириной не менее 3 мм.

- Зондовые измерения не должны сосредотачиваться в одной зоне платы, поскольку плата может деформироваться во время испытаний под действием зондов.

- В современной практике минимальным расстоянием между двумя зондами считается размер 1,27 мм, что следует учитывать при проектировании топологии тест-площадок. Можно реализовать и меньшее расстояние, но за счет ощутимых дополнительных затрат на испытательную оснастку.

- Высота компонентов, установленных на плате со стороны зондирования, не должна превышать 6,35 мм.

- Допуски на размещение тест-площадок не должны превышать $\pm 0,05$ мм относительно направляющих технологических отверстий платы. Допуск на диаметр технологического отверстия платы составляет 0–0,0762 мм.

Автоматизация проектирования печатных плат. Высокая слож-

ность современных схем приводит к необходимости автоматизации задач размещения, трассировки, расчета тепловых режимов, электромагнитного взаимодействия компонентов на печатной плате.

По существу, задача размещения и трассировки сводится к перебору (полному или частичному) возможных вариантов размещения соединяемых элементов и нахождения оптимального. Критерием оптимальности является минимальная сумма длин всех размещаемых на плате печатных проводников (либо более сложные целевые функции).

Вопросы для обсуждения

1. Что должны обеспечивать тест-площадки?
2. Назовите основные рекомендации по проектированию тест-контроля.
3. В чём заключается задача размещения и трассировки?

Лабораторное занятие № 35.

**Выполнение демонтажа печатного узла, собранного
по технологии навесного монтажа
термовоздушной паяльной станцией**

Лабораторное занятие № 36.

**Выполнение демонтажа печатного узла, собранного
по технологии поверхностного монтажа**

Цель занятий: научиться выполнять демонтаж печатного узла.

Теоретический материал

На практике допустимо использовать все, что расположено на печатной плате, а также внешние элементы: радиаторы охлаждения, вентиляторы, сетевые шнуры, разъемы и выключатели. Конечно, вряд ли стоит снимать резисторы и другие дешевые компоненты.

При наличии защитного лака в схемах специального исполнения операция отпайки усложняется, как и при работе с двусторонними печатными платами. В этих случаях от демонтажа компонентов лучше отказаться.

Демонтаж крупных компонентов.

Демонтаж крупных компонентов с большим числом выводов, в частности трансформаторов, с целью их последующего использования иногда является сложной задачей. Её можно облегчить, если распилить печатную плату вокруг выводов так, чтобы обойти все контактные площадки (рис. 3). Затем их достаточно нагреть и тем самым высвободить соответствующие выводы.

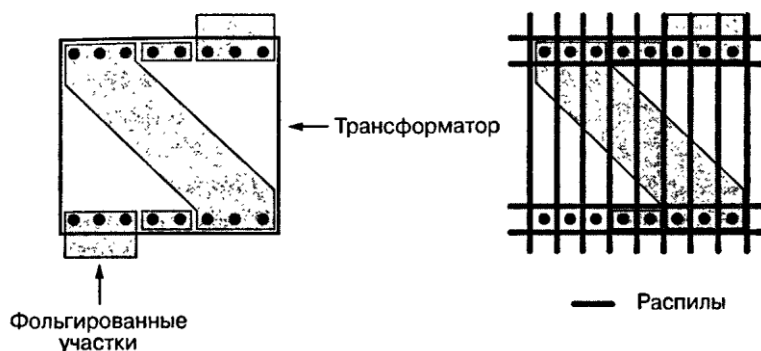


Рис. 3. Демонтаж трансформатора

При замене вышедших из строя многоштырьковых радиоэлементов (микросхем, контурных катушек, малогабаритных трансформаторов и других деталей с несколькими выводами) часто допускают следующую ошибку: непрерывно нагревая контакты, наклоняют выпаиваемую деталь в стороны и постепенно вытягивают её из гнезд печатной платы. При этом фольга печатного монтажа отслаивается и в результате повреждается печатная плата ремонтируемой радиоаппаратуры. Целесообразно для удаления припоя использовать отсос или оплетку.

Изготовление отсоса для припоя.

Специальный паяльник с отсосом для припоя, применяемый для демонтажа компонентов, крайне дорог, поэтому его покупка оправдана только в случае проведения интенсивных ремонтных работ.

Нужное приспособление несложно сделать своими руками. Для этого понадобится небольшой компрессор, имеющий всасывающий вход. Чтобы включать компрессор, удобно использовать педаль. Тогда руки останутся свободными для работы. Пластмассовая трубка малого диаметра, подобная трубкам для аэрации аквариумов, может служить для всасывания припоя. Ее конец надевают на жесткую металлическую трубку или на полый разъем RCA, с которого снята пластмассовая крышка (рис. 4).

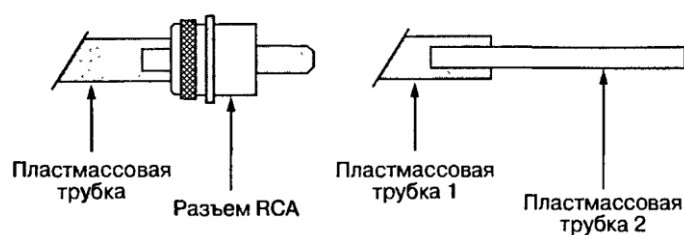


Рис. 4. Отсос для припоя

Теперь процесс распайки пойдет легко: припой разогревается паяльником и втягивается отсосом в трубку. Когда наконечник забит, достаточно его нагреть и, постучав по столу, вытряхнуть содержимое. Можно также работать с небольшим куском пластмассовой трубки, вставленным в трубку большего диаметра, и обрезать его по мере использования (подойдут трубки, применяющиеся в медицине, например для переливания крови).

Использование демонтажной трубки.

Можно выпаивать каждый контакт демонтируемого компонента отдельно с помощью простого приспособления (рис. 5). Оно представляет собой трубку диаметром 1 мм, изготовленную из металла, который плохо облуживается (например, нержавеющей сталь или алюминий). Толщина стенки трубки не должна превышать 0,2 мм, иначе она не пройдет между контактом и отверстием в плате.

Чтобы выпаять контакт, на него надевают трубку и хорошо прогревают паяльником. Трубку, вращая, вводят в зазор между контактом и стенками отверстия. После затвердения припоя трубку осторожно вынимают. В результате многштырьковый радиоэлемент или малогабаритный трансформатор легко снимается, а фольга печатного монтажа и выпаиваемый радиоэлемент не повреждаются.

Игла от медицинского шприца также может быть использована для извлечения микросхем из печатных плат. Применение насадок к паяльникам в этом случае малоэффективно, поскольку часто происходит перегрев выводов микросхемы, а также отслаивание проводящей дорожки от платы. С помощью иглы значительно легче вынуть микросхему: перегрев исключается, а отверстия в плате остаются чистыми, что позволяет сразу перейти к установке новой микросхемы.

Для этого потребуется игла, диаметр отверстия которой соответствует диаметру выводов микросхемы. Конец иглы стачивают под прямым углом, до основания заостренного скоса, а на другой конец надевают кусочек пластмассовой трубки. Иглу насаживают на высту-

пающий вывод микросхемы, а паяльником разогревают припой возле вывода, одновременно нажимая на иглу. При этом игла входит в отверстие печатной платы, отделяя контактную площадку от вывода микросхемы. Так как игла сделана из нержавеющей стали, она не залуживается и припой к ней не пристает. Вместе с тем игла отводит тепло от вывода микросхемы во время прогрева пайки.

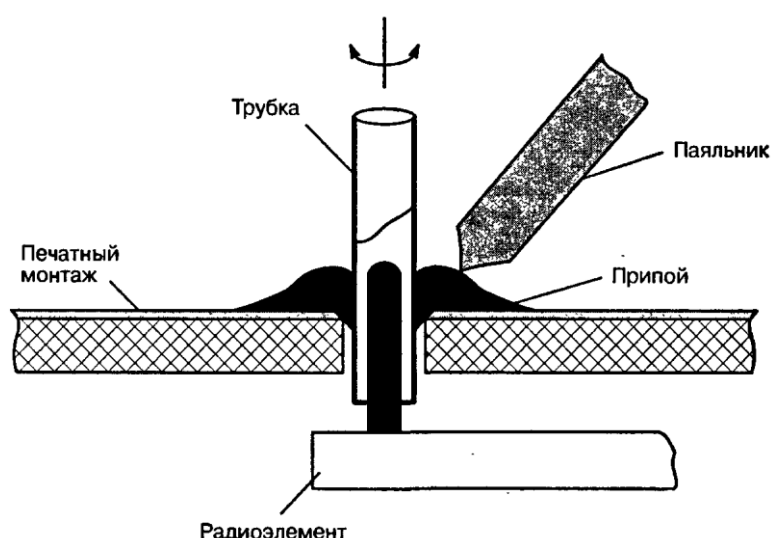


Рис. 5. Приспособление для выпайки электрорадиоэлементов из печатной платы

После затвердения припоя игла снимается с вывода и надевается на следующий. Таким образом, поочередно освобождают от соединения с платой все выводы микросхемы при их минимальном и кратковременном прогреве.

Пользуясь набором игл разных диаметров, можно выпаивать из печатных плат не только микросхемы, но и другие элементы, обеспечивая целостность контактных дорожек платы. Припой, попавший внутрь иглы, легко удалить, прогревая иглу с помощью паяльника и одновременно продувая ее через трубку.

Использование оплетки для удаления припоя.

Радиолюбители и специалисты, работающие в небольших ремонтных мастерских, предпочитают удалять припой с помощью сетки. Действительно, при редком использовании она обходится недорого и проста в применении, если соблюдать некоторые несложные правила.

Для демонтажа некрупных компонентов лучше подходит луженая сетка небольшой ширины (2 мм). Отработанный конец сетки ре-

гулярно отрезают, чтобы в полной мере использовать эффект капиллярности. Такая технология требует известной сноровки, поскольку приходится отрывать вывод компонента от стенок отверстий, одновременно поддерживая сетку и направляя наконечник паяльника. Если припой не снимается, возможно, потребуется добавить его в небольшом количестве. Добавленный припой смешается с остатком и притянет его к сетке.

При демонтаже унифицированных катушек, трансформаторов НЧ и т. п., каркасы которых изготовлены из полистирола, можно воспользоваться отрезком металлической оплетки, снятой с экранированного провода диаметром 2–3 мм. Оплетку прикладывают к месту пайки со стороны печатных проводников и плотно прижимают к ней жало нагретого паяльника. Расплавившийся припой впитывается оплеткой, и вывод детали освобождается. Для лучшего впитывания припоя оплетку рекомендуется пропитать канифолью или канифольным флюсом. И использованную часть оплетки после каждой пайки отрезают. Освободив от припоя все выводы, деталь легко снимают с платы.

Замена компонентов.

Если необходимо заменить вышедшую из строя деталь (резистор, конденсатор, транзистор и т. п.), не следует выпаивать ее из платы, так как это может привести к отслаиванию печатных проводников от основы. Выводы поврежденной детали нужно аккуратно перекусить кусачками с таким расчетом, чтобы в плате остались концы длиной 8–10 мм. К ним и припаивают исправную деталь. Припаивать новую деталь нужно быстро, не допуская перегрева места пайки, иначе может перегореть печатный проводник. У новой детали, устанавливаемой на плату, длина выводов должна быть минимальной, однако достаточной для того, чтобы она не прикасалась к другим деталям.

Очень важно, чтобы пайка во всех случаях производилась паяльником мощностью не более 50 Вт. Перед пайкой аппаратуру нужно отключить от сети, так как иногда паяльник может быть закорочен на корпус. В этом случае возможно замыкание сети через корпус паяльника и печатные проводники, что приведет к выгоранию печатного слоя.

Демонтаж микросхем.

Планарные микросхемы удобно выпаивать, продев под одним рядом лапок нитку и закрепив ее с одной стороны. Затем, нагревая

лапки, потянуть за другой конец нитки. Таким образом, под некоторым давлением лапки одна за другой аккуратно отделятся от платы.

Если сама плата или основа больше не требуется, то можно выпаять микросхему, нагрев плату над электроплитой или газовой горелкой со стороны проводников. Тут необходим определенный навык и осторожность. Однако данный метод очень удобен для снятия с платы всех деталей.

При демонтаже микросхем, впаянных в печатные платы, паяльник должен быть небольшого размера, мощностью не более 40 Вт, с температурой нагрева жала не более 200°C, с насадкой. Насадка имеет два широких жала, которые прижимаются к рядам припаиваемых выводов микросхемы. Она навинчивается на резьбу на жале паяльника. Припой должен иметь низкую температуру плавления, количество его при пайке должно быть минимальным. Пайка должна производиться несколько секунд при отключенном питании паяльника.

Вопросы для обсуждения

1. Как проводится демонтаж крупных компонентов с большим числом выводов?
2. Как изготовить отсос для припоя?
3. Как использовать демонтажную трубку?
4. Как использовать оплетку для удаления припоя?
5. Как проводится замена компонентов?
6. Как проводится демонтаж микросхем?

Практическое занятие № 37.

Изучение порядка и правил проведения утилизации электронных компонентов с содержанием драгметаллов

Цель занятия: изучить порядок и правила проведения утилизации электронных компонентов с содержанием драгметаллов.

Теоретический материал

Оборудование утилизации включает в себя полный цикл процесса переработки – начиная от целых электронных плат и заканчивая получением металла с большим содержанием драгоценных ме-

таллов в нем для последующих аффинажных процессов. Все установки имеют прочную конструкцию. Высокоскоростное оборудование используется для тонкого измельчения. Компоненты оборудования, подвергающиеся наибольшему стиранию, изготовлены из износостойкой стали.

Изначально материнские и прочие электронные платы поступают в установку по отделению компонентов. Обычно материнские и прочие электронные платы состоят на 50% из текстолита, меди и прочих металлов (печатная плата), а еще на 50% из компонентов (чипы, конденсаторы, разъемы и т. д.).

Станок для отделения компонентов электронных плат.

В станке для отделения компонентов электронных карт используется контролируемое тепло, с тем, чтобы сохранить не только компоненты карты, но и паяльное олово; таким образом, минимизируется выброс паров и токсичных веществ в атмосферу. Тепло производится при помощи воздуховодов и электросопротивлений с управлением термopарами. Компоненты платы разделяются при помощи контролируемых вибраций.

В большинстве случаев в дальнейшем после отделения компонентов сами печатные платы, состоящие на 80% из меди, на 15% из текстолита и на 5% из прочих металлов реализуются как вторичное сырье. В ряде случаев можно приобрести дополнительное оборудование для переработки печатных плат и извлечения из них отдельных компонентов, которые являются вторичным сырьем.

Следующим шагом является ручная сортировка отделенных компонентов. Платы состоят на 80% из меди, на 15% из текстолита и на 5% из прочих металлов. Платы измельчаются в специальном шредере.

Шредер для плат TSE.

Измельчитель плат можно использовать для измельчения электронных плат, очищенных от компонентов. Система вращающихся лезвий обеспечивает измельчение вставленного материала, а благодаря различным размерам решеток можно получить требуемый размер. Затем измельченные платы кладем в микроволновую печь для прохождения процессов карбонизации. Это позволит нам в дальнейшем выделить медь и другие металлы.

Микроволновая печь для переработки отходов FMW2 – это печь, которая использует принцип пиролиза для карбонизации органиче-

ских отходов при полном отсутствии кислорода, чтобы свести к минимуму образование дыма и выбросов токсичных веществ и диоксинов. Тепло генерируется с помощью четырёх микроволновых систем, которые воздействуют на органические отходы без сжигания благодаря инертной атмосфере в камере печи. Процесс происходит быстро и в полной безопасности, постоянно контролируется ПЛК, который управляет каждой рабочей фазой. Полный цикл, необходимый для обработки 20–25 кг отходов (в зависимости от объема), происходит менее чем за три часа, с использованием энергии около 11 кВт/ч и потреблением азота 8–10 л/ч. Процесс происходит в контролируемой атмосфере, а дым выпускается при температурах 150–180°C, чтобы не вызвать токсических реакций, таких как образование диоксина. Благодаря минимальному потреблению энергии эксплуатационные расходы весьма низкие, а процесс обработки обладает большим преимуществом по сравнению с традиционными системами сжигания. Кроме того, оптимизируется и ускоряется формальный процесс получения разрешения на использование печи, благодаря отсутствию особых требований. Все что получаем, идет в шаровую мельницу. Пыль после этого подвергается точно такому же процессу выделения драгоценных металлов, как и в рубрике переработки компонентов.

Размольная мельница 60P – это серия дробилок, предназначенных для измельчения различных материалов для целей переработки металлических отходов. Они обычно используются для распыления шлака и золы в результате процессов карбонизации работы золотых остатков, тиглей и огнеупорных материалов, для растирания электронных компонентов и печатных плат, и т. д. Процесс происходит непрерывно: внутри ротора находятся чугунные шары, и их движение способствует дроблению материалов. В дробилках отделяется и фильтруется пыль, образуемая в процессе обработки, через сетку из нержавеющей стали, а металлические отходы выгружаются через отверстие, расположенное на правой стороне каждого устройства, с помощью изменения направления вращения электродвигателя, что достигается нажатием на кнопку. Материал, подлежащий обработке, загружается вручную оператором.

Вопросы для обсуждения

1. Опишите использование станка для отделения компонентов электронных плат.
2. Опишите использование шредера для плат TSE.
3. Опишите использование микроволновой печи для переработки отходов FMW2.
4. Опишите использование размольной мельницы 60P.

Практическое занятие № 38. Оформление акта дефектации (перечня дефектов) на печатный узел электронного устройства

Цель занятия:

Теоретический материал

Основные средства, вышедшие из строя, не могут использоваться по назначению. Это необходимо подтвердить документально. Уполномоченный работник определяет, почему ОС вышло из строя, после чего формирует акт дефектовки спецоборудования.

Осмотр спецоборудования проводит специально сформированная комиссия. В ходе осмотра она составляет акт дефектации. В нем приводятся списки требуемых ремонтных работ и деталей для замены. Также, пишется заключение о пригодности использования конкретных деталей.

Данный акт служит основанием для формирования сметы на ремонтные работы. Также, на его основе разрабатывают проектно-конструкторскую документацию и выписывают необходимые материалы со склада.

Не менее важным предназначением акта дефектовки является обоснование списания спецоборудования, когда ремонт целесообразен и невыгоден.

Компании могут самостоятельно разрабатывать формы актов дефектации. Главным условием является содержание в форме следующих сведений:

- Наименование проверяемого на наличие дефектов спецоборудования;

- Список работников, входящих в комиссию;
- Список обнаруженных дефектов;
- Рекомендации по ликвидации этих дефектов.

Дефектный акт должен составляться в соответствие со следующими правилами:

1. Ответственность за заполнение акта несет экспертная комиссия. Состав этой комиссии определяет руководитель компании, если в организации отсутствует комиссия, действующая на постоянной основе.

2. Датой акта является дата его формирования.

3. Основной текст акта начинается с обоснования его составления – документа, на основе которого составлен акт (к примеру, приказ директора компании).

4. В начальной части документа приводится список лиц, входящих в состав комиссии, с указанием должностей и ФИО.

5. После этого следует табличная часть. В ней указывается следующая информация: список дефектов, их описание, список работ по устранению неисправностей, ФИО исполнителя и сроки исполнения работ.

6. Комиссия пишет свое окончательное заключение.

7. В конце председатель комиссии, и ее члены проставляют свои личные подписи.

Процесс осмотра спецоборудования проходит в три этапа:

1. Предварительная дефектация. Во время этого этапа осуществляется визуальный осмотр объектов ОС, замер производительности спецоборудования и основных параметров, анализ замечаний по его работе. Полученные результаты сравнивают с нормативными значениями. По итогам определяют состояние спецоборудования в целом. Это делается для установления необходимых работ и сроков их выполнения.

2. Поузловая дефектация. Данный этап подразумевает исследование конкретных комплексов при текущем осмотре. Это делается с целью установления их пригодности к эксплуатации.

3. Подетальная дефектация. На данном этапе происходит полная разборка спецоборудования в процессе осуществления ремонта. Также определяется возможность повторного использования конкретных деталей и устанавливается характер предстоящих ремонтных работ.

Вопросы для обсуждения

1. Какие сведения должны содержаться в актах дефектации?
2. В соответствии, с какими правилами должен составляться дефектный акт?
3. Какие этапы проходит процесс осмотра спецоборудования?

Практическое занятие № 39.

Выполнение анализа технологии высокоплотной сборки и поверхностного монтажа многокристальных модулей на основе бескорпусных СБИС

Цель занятия: изучение технологических процессов сборки и монтажа бескорпусных полупроводниковых больших интегральных микросхем.

Теоретический материал

В современной микроэлектронной аппаратуре, выполняющей функции обработки и хранения информации, автоматизации и управления технологическими процессами, используются универсальные и специализированные интегральные микросхемы (ИМС) различной степени интеграции. Наблюдается тенденция более широкого применения ИМС высокой степени интеграции – больших (БИС) и сверхбольших (СБИС). Это обусловлено существенным улучшением технико-экономических характеристик аппаратуры, а именно: повышением надежности, быстродействия и помехоустойчивости; снижением массы, габаритов, потребляемой мощности, стоимости; сокращением сроков проектирования и подготовки производства.

Широкую номенклатуру специализированных БИС при приемлемых затратах на проектирование и производство изготавливают с помощью базовых матричных кристаллов. Для получения БИС на их основе требуется спроектировать и изготовить необходимые (заказные) электрические соединения элементов кристалла. Так как часть конструкции БИС проектируется и изготавливается по заказу, то такие специализированные БИС называются полузаказными.

Для БИС характерны такие особенности конструкции как высокая плотность размещения элементов, многоуровневая разводка,

большой размер кристалла, высокая мощность потребления, большое количество выводов. Их конструктивные особенности предъявляют повышенные требования к технологическим процессам сборки и монтажа с целью получения высоконадежных изделий с высоким и стабильным процентом выхода годных микросхем.

Сборка и монтаж – это часть общего технологического процесса изготовления БИС, в результате проведения которого получают готовую конструкцию ИМС (БИС), т. е. готовые изделия.

Процессы и операции сборки и монтажа являются наиболее трудоемкими в технологии производства ИМС. Если при изготовлении кристаллов широко применяются высокопроизводительные групповые методы, то при сборке и монтаже оперируют с каждой отдельной ИМС.

Технологическим процессом сборки ИМС (БИС) называют совокупность операций по ориентированному разделению пластин и подложек со сформированными элементами на кристаллы или платы, закрепление их на основаниях корпусов, посадочных площадках выводных рамок и т. д.

Технологическим процессом монтажа ИМС называют совокупность операций, направленных на получение электрических соединений кристалла со следующим коммутирующим уровнем, т. е. с выводами рамок, гибких носителей, оснований корпусов, либо с контактными площадками подложек плат. Герметизация ИМС входит в число монтажных операций только в том случае, если она является бескорпусной, и сводится к формированию защитных покрытий путем заливки смонтированного кристалла (как правило, его рабочей поверхности) специальным герметизирующим покрытием (чаще всего называемым герметиком).

Технология сборки и монтажа бескорпусных ИМС на полиимидных носителях с алюминиевыми выводами (А1-ПН).

Технологический процесс (ТП) сборки предусматривает следующие основные операции:

- разделение пластин на кристаллы;
- установку кристалла на гибком носителе.

ТП монтажа включает следующие основные операции:

- присоединение выводов;
- защиту поверхности кристалла;

- измерение параметров ИМС и электротермотренировку. Наиболее трудоемкая и ответственная операция ТП монтажа – присоединение выводов к контактным площадкам кристаллов. Она может быть выполнена с помощью различного оборудования.

Вопросы для обсуждения

1. Каковы особенности и тенденции развития современных методов сборки и монтажа?
2. Для достижения каких целей используются сборочные и монтажные операции?
3. Какие методы микросварки вам известны?
4. Особенности проволочного монтажа: материалы, методы реализации.
5. Методы беспроводного монтажа.
6. Какие конструкции ленточных носителей вам известны?
7. Какие материалы используются для создания ленточных носителей?
8. Каковы конструктивные особенности измерительного полиимидного носителя?
9. Каков состав основных операций технологии сборки и монтажа ИМС на алюминиевых полиимидных носителях?
10. Каков состав основных операций технологии сборки и монтажа ИМС на медных полиимидных носителях?
11. Каковы особенности и состав операций технологии сборки и монтажа ИМС с объемными выводами?
12. Для чего необходима бескорпусная защита ИМС полимерными материалами?
13. Какие полимерные материалы используются в настоящее время для бескорпусной защиты ИМС?

Практическое занятие № 40.

Изучение технологии сверхточной сборки и монтажа на основе многовыводных СБИС с применением BGA корпусов

Цель занятия: изучить технологию сверхточной сборки и монтажа на основе многовыводных СБИС с применением BGA корпусов.

Теоретический материал

Интегральные микросхемы, характерной особенностью которых является наличие на нижней стороне корпуса матрицы выводов в виде шариков припоя (Ball Grid Array), находят все большее применение в вычислительной и специальной электронной технике. Однако следует отметить наличие выраженного эффекта усталости паяных соединений, обусловленного малой площадью контактирования выводов BGA микросхемы с печатной платой, который в значительной степени определяет надежность печатных узлов и электронных модулей в целом. Несмотря на многообразие физических параметров, которые влияют на надежность паяных соединений, основным является рассогласование коэффициентов линейного теплового расширения (КЛТР) материалов, участвующих в образовании межсоединений, что в условиях циклических изменений температуры в процессе эксплуатации вызывает механические нагрузки на паяное соединение, которые через некоторое время приводят к появлению в нем микротрещин, их росту и в конечном итоге нарушению электрического контакта.

Одной из основных задач при производстве печатных узлов с применением BGA микросхем является обеспечение надежности их паяных соединений. Эффективным способом повышения механической прочности паяных соединений служит капсулирование, то есть создание монолитной структуры для системы микросхема – шарики припоя – контактные площадки – печатная плата путем заливки в пространство между микросхемой и платой строго дозированного количества специального компаунда – заполнителя или Underfill (UF) – процесс в англоязычной литературе. Традиционно UF-процесс был частью технологии монтажа Flip-Chip компонентов и применялся при установке кристаллов микросхем в корпуса CSP. При этом выводы в виде шариков припоя формируются непосредственно на контактных площадках кристалла в верхнем слое его металлизации и образуют с монтажной платой межсоединения чрезвычайно малых сечений, которые необходимо было дополнительно защищать от разрушающих воздействий. Интегрированная структура Flip-Chip микросхемы образуется после завершения процесса монтажа путем заливки заполнителя в пространство между кристаллом микросхемы и поверхностью

подложки и обеспечения дополнительного нагрева для его полимеризации.

Большой интерес представляет применение капсулирования для широкого ряда компонентов, включая BGA и микроBGA. Главной причиной этого является то, что UF-процесс представляет собой эффективное средство долговременной защиты межсоединений при монтаже высоконадежной электронной техники для жёстких условий эксплуатации. Помимо компенсации термомеханических напряжений заполнитель служит амортизатором для микросхем, испытывающих вибрации и ударные нагрузки, предохраняет от повреждений, связанных с изгибом печатных плат. Без заполнителя эти нагрузки будут полностью прикладываться к паяным соединениям, связывающим компонент и контактные площадки печатной платы. Влияние этих факторов возрастает с увеличением размеров микросхем. Были проведены опытные работы по капсулированию микросхем BGA с размерами корпуса 17×17 мм и 23×23 мм, имеющих, соответственно, 256 и 484 вывода. При разработке технологии этого процесса был учтен опыт работы с Flip-Chip микросхемами. Задача состояла том, чтобы найти оптимальные условия для распространения материала под корпусом BGA, имеющих существенно большие размеры, чем CSP и Flip-Chip.

Определены основные факторы, от которых зависит качество UF-процесса:

1. Тип заполнителя.

В качестве UF-материала выбран однокомпонентный эпоксидо-содержащий заполнитель капиллярного действия UnderFill Epoxy 623, фирмы AIM. Заполнитель обладает низким поверхностным натяжением, хорошей текучестью и адгезией к пластмассовому корпусу микросхемы и материалу платы FR4. Время полимеризации заполнителя составляет менее 5 минут при 150°C . Преимуществом эпоксидных композиций также является исключительно низкая усадка порядка 3%, что не создает напряженных состояний в заполнителе при его отверждении.

2. Предварительный подогрев платы.

Подогрев платы уменьшает вязкость используемого материала, сокращает время его прохождения через решетку шариковых выводов, что уменьшает вероятность образования воздушных полостей.

Для заполнителя 623 температура предварительного нагрева платы составляет 40–50°C.

3. Процедура диспенсирования материала.

Процедура диспенсирования состоит из рабочих проходов иглы диспенсера по определенной траектории вблизи края компонента, во время которых к компоненту прикладывается основное количество UF-материала, и окончательного прохода иглы по всему периметру, в результате которого образуется мениск, выступающий за контур микросхемы и компенсирующий краевые напряжения. Определена оптимальная схема движения иглы диспенсера при капсулировании.

4. Контроль количества заполнителя.

Необходимое количество заполнителя зависит от расстояния между платой и нижней стороной компонента, числа и размеров шариковых выводов, может быть определено вычитанием из полного объема между микросхемой и платой объема всех шариковых выводов и контролируется в течение процедуры.

Для отработки процесса капсулирования использовались тестовые платы и корпуса микросхем фирмы Topline. Поток UF-материала формировался путем многократных проходов иглы диспенсера по двум смежным сторонам микросхемы в направлении от вершины к периферии с постепенным увеличением амплитуды перемещений. Каждый следующий проход начинался после полного затекания UF-материала внутрь решетки шариковых выводов. Высота иглы над платой во время подачи заполнителя поддерживалась на уровне между верхней и нижней поверхностями компонента и расстояние от края компонента составляло 0,4–0,5 мм. UF-процесс считался завершенным при появлении заполнителя по всей длине двух противоположных сторон по отношению к тем, вдоль которых осуществлялось диспенсирование и составил 20 минут для BGA-484 и 15 минут для BGA-256. Термообработка заполнителя проводилась в конвекционной печи при 150°C в течение 5 минут. Качество заполнения контролировалось визуально после удаления верхней части микросхем и вскрытия решетки шариковых выводов. Соблюдение разработанной технологии UF-процесса обеспечивает полное заполнение матрицы шариковых выводов без образования воздушных полостей под крупногабаритными микросхемами.

Вопросы для обсуждения

1. Что является эффективным способом повышения механической прочности паяных соединений?
2. Перечислите основные факторы, от которых зависит качество UF-процесса.
3. В чём заключается процедура диспенсирования?

Практическое занятие № 41.

Проведение сравнительного анализа технических характеристик автоматов сборки для ИМС с планарными выводами

Практическое занятие № 45.

Проведение сравнительного анализа технических характеристик автоматов сборки интегральных схем с планарными выводами

Цель занятий: ознакомиться с проведением сравнительного анализа технических характеристик автоматов сборки.

Теоретический материал

Операции сборки и монтажа являются наиболее важными в технологическом процессе изготовления электронных блоков, поскольку они оказывают определяющее влияние на технические характеристики изделий и отличаются высокой трудоемкостью (до 50–60% общей трудоемкости изготовления). При этом доля подготовки ИЭТ к монтажу составляет около 10%, установки – более 20%, пайки – 30%. Автоматизация и механизация этих групп операций дает наибольший эффект в снижении трудоемкости изготовления изделий. Основными путями повышения эффективности являются: применение автоматизированного оборудования, групповая обработка ИЭТ, внедрение новой элементной базы, например поверхностно-монтируемых элементов.

Технологический процесс автоматизированной сборки состоит из подачи компонентов и деталей к месту установки, ориентации выводов относительно монтажных отверстий или контактных площадок, фиксации элементов на плате. В зависимости от характера производства сборка может выполняться:

– вручную с индексацией и без индексации адреса;

- механизированно на пантографе;
- автоматизированно параллельно на автоукладчиках и последовательно на автоматах или автоматических линиях с управлением от ЭВМ.

Подача элементов к месту установки при автоматизированной сборке происходит путем загрузки кассет с ИЭТ и платами в магазины и накопители автомата, захвата ИЭТ установочной головкой и позиционирования. Как правило, загрузка кассет осуществляется вручную, и только в ГАП эта операция выполняется с помощью автоматических транспортных средств. Остальные операции на сборочном автомате проводятся без участия оператора. Платы со смонтированными ИЭТ снимаются с автомата вручную или автоматически и направляются на полимеризацию клея.

Далее плата поступает на светомонтажный или обычный сборочный стол, где устанавливаются ИЭТ малой применяемости. После пайки, отмывки остатков флюса и исправления дефектов собранная плата проходит визуальный и функциональный контроль. Заключительной операцией процесса сборки является нанесение влагозащитного покрытия.

Применение ручной сборки экономически выгодно при изготовлении изделий не более 15–20 тыс. шт. в год партиями по 100 шт. При этом на каждой плате может быть расположено не более 100 элементов, в том числе до 20 ИМС. Достоинствами ручной сборки являются: высокая гибкость при смене объектов производства, возможность постоянного визуального контроля, что позволяет своевременно обнаруживать дефекты плат или компонентов и устранять причины брака. Недостатки – невысокая производительность, значительная трудоемкость технологического процесса, использование высококвалифицированного рабочего персонала.

При объемах выпуска изделий порядка 100–500 тыс. шт. в год с количеством расположенных на плате элементов до 500 экономически целесообразно использовать механизированную сборку с пантографом. При этом высокая гибкость сочетается с большей, чем при ручной сборке, производительностью. В условиях массового выпуска однотипных изделий бытовой ЭА (0,5–5 млн. шт. в год) целесообразно использовать автоматизированное оборудование (автоматы) или автоматические линии с управлением от ЭВМ.

Подготовка навесных элементов к монтажу включает следующие операции: распаковку элементов, входной контроль, контроль паяемости выводов, рихтовку, формовку, обрезку, лужение выводов, размещение элементов в технологической таре.

Изготовитель ЭРЭ должен обеспечить сохранение паяемости в течение установленного срока.

С завода-изготовителя ЭРЭ поступают в разнообразной таре. Большая часть ее рассчитана на загрузочные узлы сборочных автоматов, однако часть элементов, в том числе ИМС, поставляется в индивидуальной таре-спутнике, изготавливаемой из антистатического термостойкого материала.

Распаковка тары заключается в снятии с корпуса тонкой пластмассовой крышки путем ее поперечного сжатия с помощью двух стержней, которые входят в контакт с краями крышки и, сближаясь друг с другом, изгибают ее и выводят из зацепления с корпусом. Освобожденная крышка уносится в сборную емкость струей сжатого воздуха, а ИМС по направляющей соскальзывает в приемную кассету. Автомат 141-411 загружает ИМС в этажерочные кассеты, а автоматы АД-901 и АД-902 – в прямоточные.

Этажерочные и прямоточные кассеты используют для внутризаводского транспортирования ИМС с планарными выводами. В первых ИМС лежат перпендикулярно к продольной оси кассеты, каждая в своем отсеке, удерживаясь выводами. Выдача ИМС осуществляется с помощью толкателя сборочного автомата. Во вторых ИМС лежат продольно оси, одна за другой. Кассеты устанавливаются на сборочный автомат вертикально, и выгрузка ИМС происходит под действием силы тяжести и электромагнитного отсекающего механизма поштучной выдачи.

Резисторы и конденсаторы с осевыми выводами поставляют клееными в двухрядную липкую ленту на тканевой основе. Вклейку в ленту производят на специальных автоматах с соблюдением полярности элементов. Катушка диаметром 245–400 мм и шириной 70–90 мм содержит до 1–5 тыс. ЭРЭ. Во избежание сцепления соседних витков намотку ведут с межслойной прокладочной лентой из кабельной бумаги. С появлением «безвыводных» ИЭТ предложены ленточные носители с внутренними гнездами. Ширина носителя 8, 12 и 16 мм. Гнезда герметизируются полиэфирной пленкой предварительно нагретым инструментом.

Вопросы для обсуждения

1. Из чего состоит технологический процесс автоматизированной сборки?
2. Что является заключительной операцией процесса сборки?
3. Назовите достоинства и недостатки ручной сборки.
4. Какие операции включает подготовка навесных элементов к монтажу?

Практическое занятие № 42.

Заполнение таблицы по основным причинам снижения влагостойкости полупроводниковых приборов

Цель занятия: ознакомиться с заполнением таблицы по основным причинам снижения влагостойкости полупроводниковых приборов.

Теоретический материал

В современном производстве РЭА и вычислительной техники специального назначения важная роль в обеспечении надежности их работы при воздействии различных климатических факторов принадлежит методам влагозащиты. Для электронных модулей до III поколения РЭА включительно существующие лаковые материалы на основе эпоксидных, уретановых и силиконовых связующих в основном соответствовали требованиям обеспечения влагозащиты. Однако с появлением современной высокоинтегрированной элементной базы области применения традиционных лаков резко сократились, вплоть до полного отказа от их применения.

Увеличение насыщенности радиоэлементами, в том числе бескорпусными, применение безвыводных пассивных и активных компонентов, высокоомных ИЭТ, особенно чувствительных к токам утечки, новых миниатюрных мощных ИС с большим количеством выводов, монтируемых на печатные платы с шагом меньше 0,625 мм, а также использование миниатюрных многоконтактных соединений приводит к необходимости использовать новые принципы влагозащиты изделий, эксплуатируемых в особо жестких условиях воздействия факторов окружающей среды.

Уникальным способом обеспечения надежной защиты электронных устройств различного назначения является технология нанесения полимерных покрытий из газовой фазы в вакууме. Покрытия, получаемые вакуумным осаждением, имеют существенное отличие по структуре и свойствам от покрытий, получаемых из жидких сред, и реализуют свои защитные свойства при толщине 8–12 мкм. Основными их преимуществами являются высокие электроизоляционные свойства, низкая газо- и влагопроницаемость, возможность формирования покрытия при нормальных температурах, однородность покрытия по толщине на изделиях очень сложной конфигурации, отсутствие токсичности.

Наиболее хорошо изученными и нашедшими широкое промышленное применение являются полипараксилиленовые покрытия (ППКП), получаемые вакуумпиролитической полимеризацией из цикло-ди-п-ксилиленов.

В отличие от лаковых покрытий, когда для обеспечения требуемых защитных свойств покрытие осуществляется методом многократного нанесения материала толщиной 50–80 мкм, при использовании ППКП эквивалентное по защитным свойствам покрытие наносится за одну операцию. Важной особенностью ППКП является отсутствие внутренних напряжений, так как осаждение идет из газовой фазы, минуя жидкую.

Вопросы для обсуждения

1. В чём достоинства технологии нанесения полимерных покрытий из газовой фазы в вакууме?
2. В чём достоинства полипараксилиленовых покрытий?

Практическое занятие № 43.

Составление технологического процесса вакуумноплотной герметизации полупроводникового прибора (по заданию преподавателя)

Практическое занятие № 44.

Выполнение сравнительного анализа по основным способам контроля герметичности полупроводниковых приборов и интегральных схем

Цель занятий: ознакомиться с основными способами контроля герметичности полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Теоретический материал

Герметизация полупроводниковых приборов холодной сваркой обеспечивает получение вакуумно-плотного сварного шва. При герметизации этим методом свариваемые детали не разогреваются, нет газовыделений и выплесков металла. Применение холодной сварки ограничивает выбор материалов, как по толщине, так и по свойствам. Один из металлов, свариваемых холодной сваркой, должен быть пластичным. Значительные деформации металлов при сварке увеличивают габариты приборов.

Герметизация полупроводниковых приборов холодной сваркой обеспечивает получение вакуумноплотного сварочного шва. При сварке этим методом детали не разогреваются, нет газовыделения и выплеска металла. Но применение холодной сварки требует соответствующей конструкции корпуса, ограничивает выбор металлов, как по толщине, так и по свойствам. Холодная сварка металлов толщиной менее 0,3 мм в настоящее время еще не освоена, так как хотя бы один из свариваемых металлов должен быть обязательно пластичным. Значительные деформации металлов, происходящие при холодной сварке, усложняют конструкцию корпуса и увеличивают габариты полупроводниковых приборов.

Герметизация полупроводниковых приборов может осуществляться с помощью легкоплавких стекол. Растворы готовят на основе гидролизатов тетраэтоксисилана. Компоненты шихты берутся в виде растворимых солей. Метод позволяет получить тонкие гладкие и равномерные покрытия толщиной от долей микрона до нескольких мик-

рон. При нанесении покрытия обеспечивается чистота процесса, что позволяет наносить покрытия на незащищенную поверхность полупроводника, и операция предварительного окисления может быть исключена. При получении покрытия предварительная варка стекла не требуется.

Герметизация полупроводниковых приборов электроконтактной или холодной сваркой требует создания конструкций металlostеклянных спаев, исключающих их разрушение под действием напряжений, возникающих при герметизации, что также отличает эти спаи. Кроме того, к металlostеклянным спаям в полупроводниковом производстве предъявляют более высокие требования в отношении надежности.

Герметизация полупроводниковых приборов обеспечивает внешнее оформление триода, необходимое для последующего применения в схемах. От конструкции оболочки прибора зависит допустимая мощность рассеяния. Удовлетворительная работа триодов при повышенных температурах частично зависит от площади кристаллодержателя, массы и свойств материалов, применяемых при герметизации, и от обеспечения тепловой связи прибора с окружающей средой.

Для герметизации полупроводниковых приборов с помощью пластмасс предлагается добавлять в герметизирующий материал силикагель или цеолит, диспергированный в пластмассе.

Для уменьшения дестабилизирующего влияния поверхности применяется герметизация полупроводниковых приборов в контролируемой газовой среде.

Приведенные выше требования по сборке и герметизации полупроводниковых приборов в корпусе должны выполняться и при установке бескорпусных приборов в микросхему и герметизации гибридных интегральных микросхем.

С помощью полимерных материалов осуществляют также герметизацию полупроводниковых приборов, резисторов, конденсаторов, трансформаторов и дросселей.

Вопросы для обсуждения

1. Что обеспечивает герметизация полупроводниковых приборов холодной сваркой?

2. Какие цели преследует герметизация полупроводниковых приборов?

Практическое занятие № 46.

Изучение и анализ оформления маршрутной карты сборочных операций

Цель занятия: изучить оформление маршрутной карты сборочных операций.

Теоретический материал

Основными документами при оформлении технологического процесса является маршрутная карта и операционная карта, выполненные в соответствие государственных стандартов (ГОСТ 3.1118-82 и ГОСТ 3.1407-86).

Подготовка ИЭТ к монтажу включает в себя:

- входной контроль ИЭТ по внешнему виду
- входной контроль ИЭТ по внешним параметрам;
- распаковка ИЭТ;
- правка и обрезка выводов;
- надевание электроизоляционных трубок или колец на корпуса и выводы ИЭТ;
- формовка выводов ИЭТ;
- приклеивание электроизоляционных прокладок в выводах ИЭТ.

При входном контроле производится внешний осмотр элементов для выявления механических повреждений, проверки документации, подтверждающей годность комплектующих изделий, а также контроль электрических параметров на соответствие техническим условиям. Подготовительные операции обеспечивают выводам форму и качество поверхности, необходимые для установки и монтажа элементов на ПП.

Формовка предназначена для увеличения расстояния между выводами, фиксации расстояния от корпуса элемента до ПП, совмещения выводов с узлами координатной сетки и создания плотного прилегания плоского вывода к контактным площадкам при его электрическом соединении. Существуют различные виды формовки, опреде-

ляемые конструкцией выводов и способом установки элемента на ПП (на автомате, в «заг-замок», на полуавтомате, на установке). В настоящее время большое распространение получили автоматы и линии комплексной подготовки, охватывающие четыре и более технологические операции и имеющие позиции загрузки из тары в состоянии поставки и выгрузки в промежуточную технологическую тару.

В нашем случае (крупносерийное производство) подготовка ИЭТ будет проводиться на оборудовании ГГМ2.249.029 – автомате для комплексной подготовки ИС (распаковка ИС, формовка, лужение выводов, напрессовка припоя на выводы) – входит в комплекс «Планар».

Подготовка печатной платы включает в себя:

- флюсование;
- расконсервация и лужение;
- установка электромонтажных контактов (штырей) на ПП;
- установка механического крепления ИЭТ на ПП;
- установка изоляционных прокладок, теплопроводящих шин и металлических оснований на ПП.

Флюсование ПП производится для удаления оксидной пленки с поверхности паяемых металлов и припоя, защиты поверхностей от окисления в процессе пайки. Флюс наносится на поверхность ПП при их облуживании. Для лужения ПП применяется установка камерного типа, снабженная ваннами флюсования и лужения (автомат для комплексной подготовки).

Вопросы для обсуждения

1. Что включает в себя подготовка ИЭТ к монтажу?
2. Какие виды формовки вы знаете?
3. Что включает в себя подготовка печатной платы?

Практическое занятие № 47.

Составление схемы последовательности сборки системного блока ПК

Практическое занятие № 48.

Разработка технологической схемы сборки блока питания: последовательности установки полупроводниковых приборов, ИС и ЭРЭ на базовую деталь (печатную плату)

Практическое занятие № 49.

Разработка технологической схемы сборки генератора прямоугольных импульсов: последовательности установки полупроводниковых приборов, ИС и ЭРЭ на базовую деталь (печатную плату)

Цель занятий: ознакомиться с последовательностью сборки системного блока ПК, разработкой технологической схемы сборки блока питания, генератора прямоугольных импульсов.

Теоретический материал

Шаг 1. Расположите корпус в горизонтальном положении на столе или на полу, как вам удобно.

Шаг 2. Устанавливаем блок питания в корпус компьютера. Отложите кабели в сторону, чтобы они вам не мешали.

Шаг 3. Далее нужно установить процессор на материнскую плату.

Шаг 4. Затем мы должны установить материнскую плату в корпус компьютера.

Шаг 5. Устанавливаем кулер на процессор. Перед установкой кулера не забудьте нанести термопасту на процессор. Сразу же подключите питание кулера к материнской плате.

Шаг 6. Далее следует установка оперативной памяти.

Шаг 7. Теперь мы установим видеокарту на материнскую плату.

Шаг 8. Следующим этапом сборки компьютера станет установка CD/DVD привода.

Шаг 9. Затем следует установка жесткого диска в корпус.

Шаг 10. Устанавливаем картридер.

Шаг 11. Установим в корпус вентиляторы.

Шаг 12. Начнем подключение блока питания к устройствам компьютера.

Подключать питание мы будем в следующем порядке:

- Материнская плата;
- CD/DVD привод;
- Жесткий диск (SATA, IDE);
- Картридер;
- Вентиляторы (Охлаждение).

Шаг 13. Затем мы подключаем переднюю панель к материнской плате.

Шаг 14. На завершающем этапе сборки компьютера мы стягиваем и укладываем кабели так, чтобы они не мешали работе вентиляторов и другим устройствам.

Закрываем корпус компьютера. Сборка компьютера своими руками завершена.

Вопросы для обсуждения

1. Опишите последовательность сборки системного блока ПК.
2. Опишите порядок подключения питания.

Практическое занятие № 50.

Выявление дефектов сборки электронного печатного узла (по заданию преподавателя)

Цель занятия: научиться выявлять дефекты сборки электронного печатного узла.

Теоретический материал

Контроль и испытание ПП предназначены для определения качества изготовленных изделий, под которым понимают степень их соответствия требованиям чертежа, технических условий, отраслевых и государственных стандартов. Готовая продукция подлежит сертификации, согласно действующему законодательству.

На повышение качества влияют:

- входной контроль исходных материалов и технологических сред;

- строгое соблюдение режимов и последовательности операций процесса производства;
- использование автоматизированного технологического оборудования со встроенными средствами активного контроля;
- организация объективного пооперационного и выходного контроля;
- проведение испытаний;
- организация системы управления качеством.

Входному контролю подвергается каждая партия поступающего на производство диэлектрика, фоторезиста, трафаретной печатной краски. Особое внимание уделяется технологическим свойствам материалов. Проверяются и постоянно корректируются электрофизические и химические параметры используемых технологических сред на операциях травления, металлизации.

Операционный контроль качества проводится после наиболее ответственных технологических операций. Число контрольных точек определяется совершенством и стабильностью процесса. Тщательно проверяется качество фотошаблонов и сетчатых трафаретов, монтажных отверстий, межслойных соединений и спрессованных слоев МПП. На этих операциях стремятся использовать автоматизированное технологическое оборудование с системами управления и контроля. Высокая надежность операционного контроля сводит к минимуму число дефектных изделий на выходном контроле.

Основными видами выходного контроля ПП являются:

- контроль внешнего вида;
- инструментальный контроль геометрических параметров и оценка точности выполнения отдельных элементов, совмещения слоев;
- проверка металлизации отверстий и их устойчивости к токовой нагрузке;
- определение целостности токопроводящих цепей и сопротивления изоляции.

Рассмотрим некоторые характерные дефекты, имеющие место при изготовлении ПП, и причины их возникновения.

Расслоение многослойной структуры возникает при использовании склеивающих прокладок с просроченным сроком годности или низким содержанием смолы, некачественной подготовке слоев перед прессованием, нарушении режимов прессования или механической

обработке контура. Незначительное расслоение платы по углам может быть устранено эпоксидным клеем.

Отслоение элементов печатного монтажа вызывается теми же причинами, что и предыдущий вид дефекта. Оно также происходит вследствие применения узких и длинных печатных проводников, занижения размеров контактных площадок по отношению к размерам просверленных отверстий. Дефект легко устраняется подклеиванием.

Выход отверстий за пределы контактных площадок наблюдается из-за недостаточной точности используемого оборудования и технологической оснастки, смещения слоев при прессовании, деформации диэлектрических оснований и неправильного базирования ПП при выполнении отверстий. Дефект практически не устраняется.

Вздутие происходит, если между слоями остались воздух или влага, при прессовании полное давление прикладывается раньше начала желатинизации клея, и оно неравномерно распределяется по площади платы. Дефект не устраняется.

Коробление плат вызывается несбалансированностью конструкции ПП, неоднородностью склеивающего материала, снятием заготовок с пресса до полного охлаждения плат. Уменьшить коробление можно терморихтовкой.

Короткие замыкания между элементами печатного монтажа могут быть вызваны некачественным травлением, смещением слоев при прессовании, малыми расстояниями между элементами печатного монтажа, попаданием посторонних металлических включений между слоями МПП при сборке. Дефекты легко устраняются на наружных слоях МПП, а на внутренних их устранить технически почти невозможно.

Разрыв токопроводящих цепей обуславливается следующими причинами:

- подтравливанием печатных проводников;
- наличием глубоких царапин на поверхности исходного материала;
- возникновением внутренних напряжений при прессовании;
- некачественной подготовкой поверхности отверстий перед металлизацией.

Устранить такие дефекты сложно, а на внутренних слоях практически невозможно. Несовмещение слоев при прессовании МПП

вызывается избыточным давлением, непараллельностью плит пресса. Дефект не устраняется.

Вопросы для обсуждения

1. Что влияет на повышение качества ПП?
2. Перечислите основные виды выходного контроля ПП.
3. Назовите дефекты, имеющие место при изготовлении ПП, и укажите причины их возникновения.

Содержание самостоятельной работы

Цель самостоятельной работы обучающихся – получить новые знания по дисциплине «Технология сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств».

Задачи самостоятельной работы обучающихся:

- изучение и систематизация материала по вопросам сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств;
- получение дополнительных знаний в области сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств;
- подготовка обучающихся к самостоятельному и технически грамотному проведению сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств.

Виды самостоятельной работы обучающихся указаны в табл. 5.

Таблица 5

Виды самостоятельной работы

№ п/п	Вид СРС
1	Подготовка сообщений, докладов, рефератов, компьютерных презентаций, работа с информационно-справочными и информационно-поисковыми системами
2	Выполнение индивидуального исследования по направлению: сравнительный анализ автоматов поверхностного монтажа (последовательного, параллельного и комбинированного типа).
3	Выполнение индивидуального исследования по направлению: основные причины снижения влагоустойчивости приборов
4	Выполнение индивидуального исследования по направлению: дефекты и неприемлемые дефекты электрических и электронных сборок

Обучающиеся должны изучить литературу по вопросам, представленным в табл. 5, составить конспекты, которые предоставляются преподавателю. Написанные конспекты проверяются преподавателем и подлежат защите обучающимися.

Формами контроля самостоятельной работы обучающихся являются:

- текущий контроль – оценка уровня подготовки обучающегося в процессе проведения преподавателем практических занятий путем выполнения и защиты практических занятий;
- промежуточный контроль – экзамен.

Учебно-методические материалы по дисциплине

Основная литература

1. Петров, В. П. Регулировка, диагностика и мониторинг работоспособности смонтированных узлов, блоков и приборов радиоэлектронной аппаратуры, аппаратуры проводной связи, элементов узлов импульсной и вычислительной техники [Текст]: учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы среднего профессионального образования по профессии «Монтажник радиоэлектронной аппаратуры и приборов»: [для студентов СПО] / В. П. Петров. – Москва: Академия, 2017. – 256 с.

Дополнительная литература

1. Сборка, монтаж, регулировка и ремонт электрооборудования (ПМ.01) [Электронный ресурс]. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2018. – 408 с. – Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=486059. – Загл. с экрана.

2. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 396 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/104955>. – Загл. с экрана.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Официальный сайт Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. Режим доступа: www.kuzstu.ru
2. Сайт «КИПиА от А до Я». Режим доступа: <http://knowkip.ucoz.ru/tests>
3. RadioMaster – Твой гид в мире электроники: <http://radiomaster.com.ua/>
4. Паяльник – <http://схем.net>
5. РадиоБиблиотека – http://radiomurlo.narod.ru/HTMLs/RADIO_схемы.html
6. Промэлектроника – Электронные компоненты: <http://www.promelec.ru/>
7. Промэлектроника – Группа компаний: <http://ilovs.ru/companies/proizvodstvo/11110136-promelektronika.html>
8. РадиоЛоцман – Электронные схемы www.rlocman.com.ru/indexs.htm
9. Ремонт электронных приборов: каталог сайтов//Российский промышленный портал http://www.rospromportal.ru/catalog_2011/index.php?r=7&nn=1920&tt=74
10. Компоненты и технология. Режим доступа: <http://www.kite.ru/articles/circuitbrd.php>
11. Радиоэлектроника, дошиты, схемы – RadioRadar <http://www.radioradar.net>