

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Типы печатных плат	4
1 Односторонние (ОПП).	4
1.2 Двусторонние (ДПП).	4
1.3 Многослойные (МПП).	4
1.4 Гибкие.	5
1.5 Гибко-жесткие.	6
1.6 Алюминиевые.	6
1.7 Сверхвысокочастотные (СВЧ).	7
2 Этапы проектирования печатных плат	8
3 Специальное программное обеспечения для создания печатных плат	10
	10
3.1 Fritzing	10
	11
	12
3.2 LibrePCB	11
3.3 Altium Designer	11
3.4 DipTrace	12
4 Технология изготовления печатных плат	14
5 Этапы производства печатных плат	25
6 Материалы для печатных плат	31
7 Анализ производственных и опасных факторов	36
	28
Заключение	39
Список литературы	40

					ЭО 11.02.16 0012 КР							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата	Технология изготовления платы							
Разраб.		Маракулин	ь							Лит.	Лист	Листов
Провер.		Фринцевич									2	40
Реценз		Э.В								ТЭТ, гр.5МП		
Н. Контр.												
Утверд.												

## ВВЕДЕНИЕ

Печатные платы применяются практически во всех отраслях народного хозяйства, и потребность в них постоянно возрастает.

Опережающие темпы развития микроэлектроники требуют непрерывного повышения их технического уровня, который определяется ростом плотности монтажа электрорадиоизделий, повышения требований к надежности, увеличением частоты следования импульсов. Обеспечение этих требований зависит от достижений в области конструирования и развития технологии производства печатных плат.

Печатные платы широко применяются в бытовой технике, аппаратуре средств связи, вычислительной технике, в системах автоматизации. Они также используются в контрольно измерительной аппаратуре, в медицинском приборостроении, в автомобильной промышленности, в других областях промышленной электроники, в авиационной, космической промышленности. Известно применение печатных плат в спецтехнике, в городском коммунальном хозяйстве (для средств контроля расхода воды, газа, электричества, топлива и пр., экологического контроля воды, воздуха, земли по радиационным, физическим, механическим и химическим параметрам).

Технологический процесс изготовления печатных плат является сложным и многооперационным. Он требует не только узких специалистов в области химии, физики, схемотехники, программирования, организации производства, но и специалистов широкого профиля, представляющих все проблемы и пути комплексного решения вопросов, стоящих в настоящее время в производстве печатных плат.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

## 1. Типы печатных плат

В зависимости от особенностей производства и назначения продукта выделяют следующие типы печатных плат:

- 1 Односторонние (ОПП).
- 2 Двусторонние (ДПП).
- 3 Многослойные (МПП).
- 4 Гибкие.
- 5 Гибко-жесткие.
- 6 Алюминиевые.
- 7 Сверхвысокочастотные (СВЧ).

Рассмотрим более подробно каждую из разновидностей продукции.

1 Односторонние (ОПП) ОПП – плата, конструктивно состоящая только из одного слоя диэлектрика. Одна из ее сторон – металлизированная. На нее и будут наноситься токопроводящие дорожки, выполняться монтаж компонентов. Преимущественно используется медное покрытие, ведь оно имеет отменные электропроводящие свойства. Обязательно металлизированная поверхность покрывается паяльной маской. Для фиксации и вывода компонентов применяются металлизированные отверстия. Присоединение элементов выполняется на контактных площадках. Основная проблема – конфликт пересекающихся трасс (трассировка).

2 Двусторонние (ДПП). В ДПП металлизированное покрытие наносится уже на обе наружные стороны диэлектрической основы. Межсоединения рабочих элементов, установленных на разных сторонах, выполняется через сквозные отверстия (монтажные), предварительно покрытие слоем меди или ее сплава. Проблема пересекающихся трасс здесь минимизируется путем переноса конфликтующей на другую сторону. Выполняется это также через сквозное отверстие, но уже переходное.

3 Многослойные (МПП). Представляют собой сложный блок из нескольких двуслойных печатных плат. Между собой они соединяются специальным клеем, который также выполняет и функцию изоляционного материала.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

Благодаря этому исключается вероятность расплавки одного из компонентов под воздействием избыточного теплового потока, выделяемого другим. Наибольшее применение МПП получили в высокоскоростных цепях. Предоставляют больше площади для нанесения токопроводящих дорожек и питания.

4 Гибкие. Особенность гибкой платы – тонкое и гибкое диэлектрическое основание. Такие печатные изделия многослойные, могут быть одно- и двусторонними. Они состоят из подложки диэлектрика (преимущественно из полиамидных составов и другого пластика), адгезива, токопроводящего материала, защитной пленки. Такие платы можно сгибать по краям, заворачивать. Они отличаются более компактными размерами в сравнении с жесткими аналогами, что существенно расширяет их область применения. В некоторых соединениях одна гибкая плата может заменить несколько жестких.

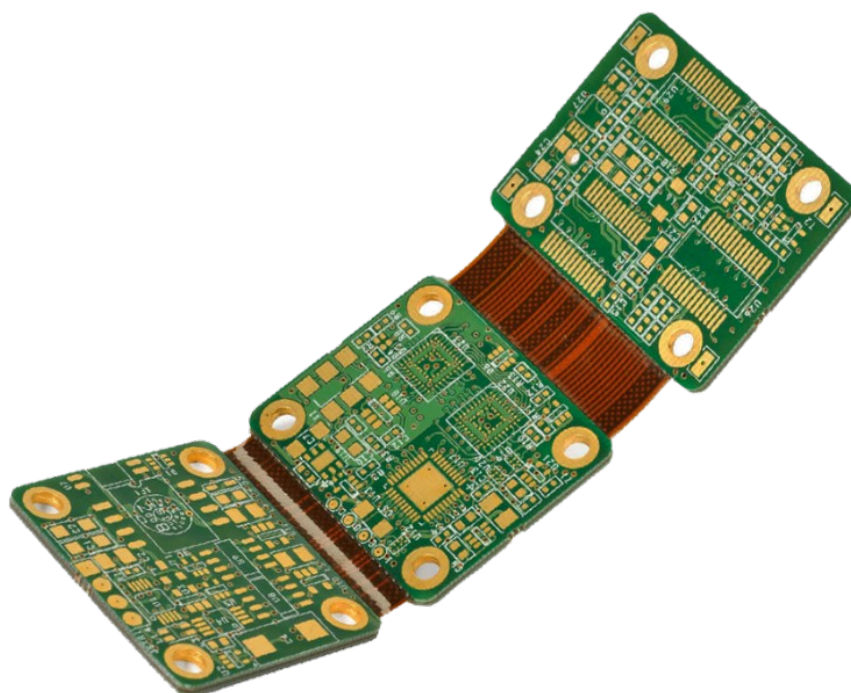


Рисунок 1 – Гибкая плата

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

5 Гибко-жесткие. Гибко-жесткая печатная плата – это совмещение жесткой и гибкой конструкции. Преимущественно это несколько слоев гибких изделий, закрепленных на жестком внутреннем основании. Такие платы изготавливаются с повышенной точностью, что делает их оптимальными для применения в приборах медицинского назначения, в военной, космической технике и пр. Также они отличаются минимальным весом и габаритами. А вот это уже расширило их область применения: цифровые камеры, сотовые телефоны, электроника автомобилей, кардиостимуляторы.



Рисунок 2 – Гибко-жесткая плата

6 Алюминиевые. Алюминиевые печатные платы разделены на 2 группы:

1. Представляют собой элемент из листового алюминия с оксидированной поверхностью, на которую нанесена медная фольга. Они не подлежат сверлению, то есть выпускаются исключительно односторонними. Их обработка выполняется в соответствии со стандартизированными технологиями химического нанесения изображения. 2. Здесь токопроводящие дорожки формируются в алюминиевой основе. Заготовка оксидируется, не только поверхностно, а на всю глубину пролегания токопроводящего проводника. Их можно делать многослойными. Особенность таких плат – эффективное отведение тепла (алюминий обладает высокой теплопроводностью) в

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

комплексе с повышенной жесткостью и стойкостью к механическим повреждениям. Поэтому по назначению алюминиевая печатная плата относится к особо мощным. Они используются в системах, работающих под большим напряжением и требующих очень жестких допусков: светофоры, источники питания, силовоточные схемы, контроллеры двигателей и пр.



Рисунок 3 – Алюминиевая плата

1.7 СВЧ печатные платы. В этой категории представлены печатные платы, способные работать в диапазоне частот от 0,5 до 2 ГГц. Они применяются в частотно-критических узлах: элементы связи, микрополосковые платы, микроволновые и прочих высокочастотных элементах. Изготавливаются преимущественно из ламината (класс FR4), армированного стекловолокном, полифениленоксидной смолы, тефлона. Наиболее дорогостоящий компонент – тефлон. Но ему нет аналогов по стабильной и невысокой диэлектрической проницаемости, минимальным диэлектрическим потерям, стойкости к воздействию влаги (не поглощает воду)

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

## 2 Этапы проектирования печатных плат

### 1 Подготовительный этап

На данном шаге потребуется подготовить библиотеки компонентов и принципиальных схем. Прежде чем приступить к основной части процесса, следует подготовить схемную библиотеку составляющих SCH. Кроме того, на данном этапе готовится и пакет компонентов самой платы.

### 2 Разработка дизайна структуры

Отталкиваясь от габаритов изделия и позиционирования механического плана потребуется создать каркас в среде проектирования, выбрав расположение всех клавиш и разъёмов. Также понадобится определиться, где будут расположены отверстия для крепления. В данном случае в учёт нужно брать требования к размещению. На этом же шаге выбирается и площадь проводки, наряду с областью без неё.

### 3 Выбор дизайна макета

Посредством дизайна компоновки понадобится расположить все составляющие в рамке платы, отталкиваясь от требований, выдвигаемых к проекту. После импортируется перечень соединений в ПО РСВ. Это достаточно важный этап во всём процессе по созданию печатной платы. Нужно понимать, что чем сложнее она будет, тем качественнее окажется компоновка.

### 4 Выбор схемы подключения.

При выборе метода подключения нужно учесть 2 фактора:

1 компоновку;

2 удовлетворённость электрическими критериями.

Кроме того, нужно понимать, что даже если проводка будет аккуратной и красивой, но выполнена "грязно", это может привести к существенным трудностям при более поздних модификациях оптимизации. Ну и, конечно, это в существенной степени усложнит процесс обслуживания при возникновении такой необходимости

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

## 5 Оптимизируем проводки и располагаем шелкографию

На этом этапе выполняется шелкографический логотип. Символы его нижнего экрана нужно отражать по ходу проектирования, что в дальнейшем поможет обойти возможные трудности с верхней его частью.

## 6 Контроль DRC и структуры

Это один из самых важных этапов проектирования плат. По его ходу нужно проверить сам проект, а также провести ряд специальных проверок, для которых к процессу потребуются привлечь экспертов.

## 7 Обращение к поставщикам

Прежде чем завершить все процессы обработки и изготовления, разработчику понадобится обратиться к PE поставщику печатных плат. Это делается для того, чтобы рассказать производителю о подтверждении обработки самой платы. На этом этапе вносятся финальные правки. Именно из таких шагов и состоит проектирование печатных плат. Соблюдая их в полном объеме можно достичь финального результата, получив на выходе качественное и работоспособное изделие

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38



### 3. Специальное программное обеспечение для создания печатных плат

Доступен широкий спектр бесплатных программ для проектирования печатных плат: от классических с открытым исходным кодом до полнофункционального платного ПО, предназначенного для профессиональных рабочих процессов. Ниже мы опишем лучшие бесплатные программы для проектирования печатных плат. Решение о том, что лучше, зависит от ряда факторов. К ним относятся практические соображения, например, на какой платформе работает программное обеспечение (например, ПК, Mac или Linux) или основано ли оно на браузере и, следовательно, доступно с нескольких устройств. Предполагаемое использование печатной платы имеет значение, как и предыдущий уровень владения электроникой и печатными платами пользователя. Другие соображения, которые могут повлиять на выбор инструмента, включают уровень поддержки специальных приложений, например, PCB Art или RF-решений, русификация интерфейса программы. К сожалению, программы для проектирования печатных плат на русском языке найти проблематично. В настоящий момент, на русский язык переведены только пособия для ознакомления с ними. В заключение следует отметить, что опытные разработчики печатных плат часто используют более одного инструмента в зависимости от выполняемой задачи.

#### 3.1 Fritzing

Fritzing стремится сделать электронный дизайн доступным для всех

Тип: офлайн с неограниченной функциональностью

Операционные системы: Windows, Mac, Linux

Разработчики: Interaction Design Lab и IXDS

Fritzing включает в себя простые в использовании функции и поддерживает простые схемы с инструментами для перевода проектов на макеты без необходимости в пайке, паяные стрип-платы или печатные платы. По этой причине он нашел особую нишу в школах и институтах, используется в большом количестве образовательных ресурсов.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

Fritzing имеет сильную поддержку и активный форум пользователей. Благодаря уникальному и простому подходу его стоит рассмотреть для простых проектов и, в частности, для использования в учебных заведениях.

### 3.2 LibrePCB

LibrePCB — это то, как может выглядеть EDA будущего с открытым исходным кодом (Источник: LibrePCB )

Тип: офлайн с неограниченной функциональностью

Операционные системы: Windows, Mac, Linux

Разработчик: LibrePCB

LibrePCB — один из наиболее известных бесплатных пакетов проектирования печатных плат «нового поколения». Программа зарекомендовала себя как простая в использовании с простым, интуитивно понятным интерфейсом. Хотя в настоящее время в ней отсутствуют такие функции, как 3D-визуализация. В ее основе лежит мощная поддержка современных библиотек компонентов, которая будет оценена теми, кто работает в передовых областях электроники. Учебный материал ограничен, хотя это компенсируется простотой использования. Небольшой, но активный форум может помочь с функциональными вопросами. Интернет-чат (IRC) и группы Telegram существуют для тех, кто хочет стать ближе к развитию функциональности программы.

### 3.3 Altium Designer

Огромные функциональные возможности с бесплатным ограниченным доступом для студентов

Тип: офлайн с ограниченным по времени доступом к функциям для учащихся

Операционные системы: Windows, Mac, Linux

Разработчик: Altium

Altium — один из ведущих поставщиков ПО для проектирования электронных блоков питания и печатных плат. Их основной пакет для проектирования, Altium Designer, предназначен для обеспечения «бескомпромиссной работы по проектированию печатных плат» для

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

профессионалов. Лицензионные сборы обычно превышают 1000 долларов в год, но студенты (с действующим адресом электронной почты университета) могут получить доступ бесплатно в течение шести месяцев (с возможностью продления) во время учебы. Программное обеспечение обладает всеми функциональными возможностями, обычно связанными с бесплатными решениями, и многим другим, что позволяет студентам использовать современное моделирование схем, усовершенствованный дизайн плат, сотрудничество и многое другое. Он также может похвастаться обширной библиотекой компонентов.

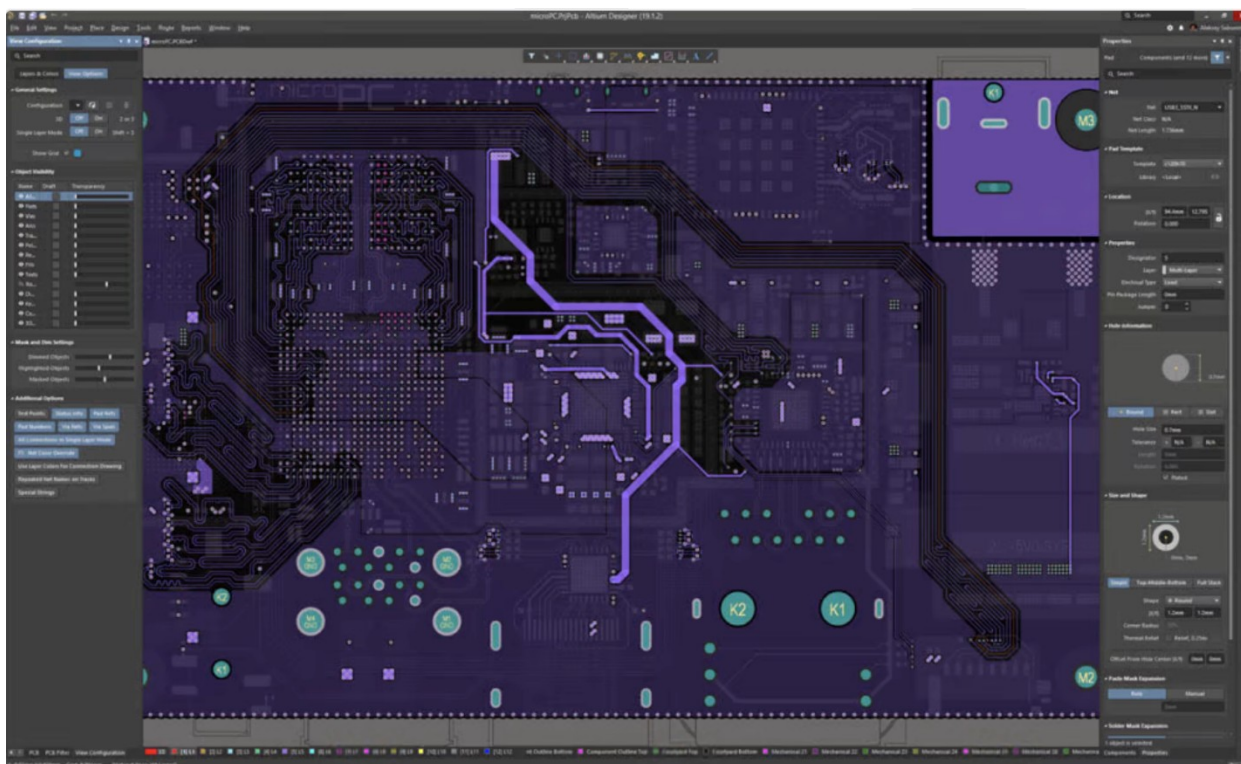


Рисунок 4 – Интерфейс программы Altium Designer

### 3.4 DipTrace

Мощный и простой в использовании, DipTrace предлагает бесплатное, хотя и с ограничениями, использование в образовательных целях

Тип: офлайн с ограниченными функциями (для образовательных целей)

Операционные системы: Windows, Mac, Linux

Разработчик: Novarm

DipTrace — это программное обеспечение для схем и проектирования печатных плат от специализированного поставщика Novarm, в котором особое

									Лист
									38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата	ЭО 11.02.16 0012 КР				

внимание уделяется простоте использования без ущерба для функциональности. Обычная плата за лицензию минимизирована для некоммерческих и личных приложений; учащимся разрешается бесплатно пользоваться «Lite» версией пакета с конструктивными ограничениями в 500 контактов и двумя слоями платы. Пакет используется очень активным сообществом пользователей, хорошими учебными и обучающими материалами и даже активным каналом на YouTube.

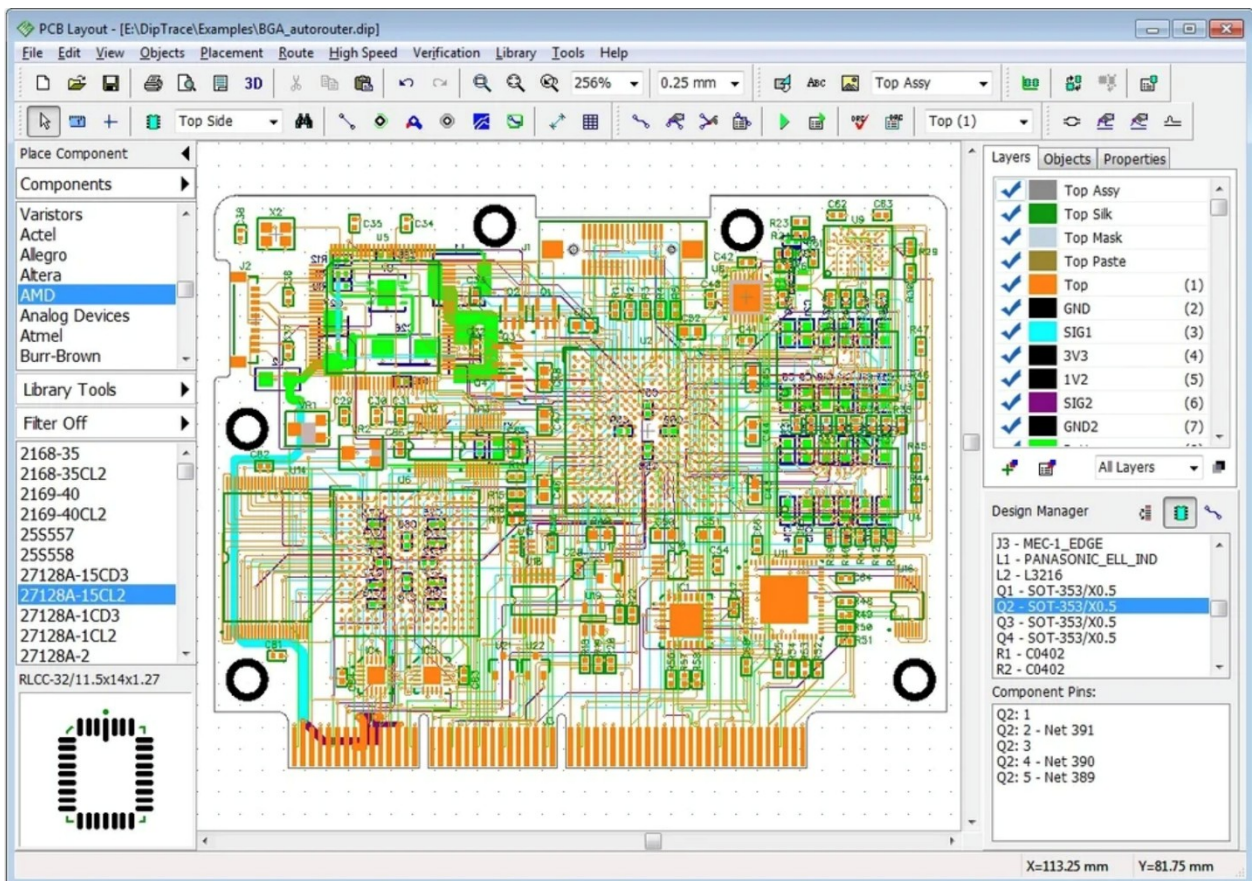


Рисунок 5 – Интерфейс программы DipTrace

ИЗ	ЛИС	№ докум.	Подпис	Дата

ЭО 11.02.16 0012 КР

Лист

38

#### 4.Технология изготовления печатных плат

Вопрос о том, как можно дешево изготавливать печатные платы в домашних условиях, волнует радиолюбителей всего мира, наверное, с самого момента изобретения печатных плат. И если несколько лет назад выбор технологий был не так уж велик, то сегодня благодаря развитию современной техники радиолюбители получают возможность быстро и качественно изготавливать печатные платы без применения какого-либо дорогостоящего оборудования. Данная статья является попыткой обобщения всей известной информации о процессе изготовления печатных плат в домашних условиях. Из всего множества существующих технологий были выбраны только те, которые не требуют значительных материальных затрат и достаточно просты в осуществлении.

Собственно, весь процесс изготовления печатной платы можно условно разделить на пять основных этапов:

1 предварительная подготовка заготовки (очистка поверхности, обезжиривание);

2 нанесение тем или иным способом защитного покрытия;

3 удаление лишней меди с поверхности платы (травление);

4 очистка заготовки от защитного покрытия;

5 сверловка отверстий, покрытие платы флюсом, лужение.

Мы рассматриваем только наиболее распространенную «классическую» технологию, при которой лишние участки меди с поверхности платы удаляются путем химического травления. Помимо этого, возможно, например, удаление меди путем фрезерования или с использованием электроискровой установки. Однако эти способы не получили широкого распространения ни в радиолюбительской среде, ни в промышленности (хотя изготовление плат фрезерованием иногда применяется в тех случаях, когда необходимо очень быстро изготовить несложные печатные платы в единичных количествах). Особенно хотелось бы отметить, что при изготовлении печатных плат в домашних условиях следует стремиться при разработке схемы

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

использовать как можно больше компонентов для поверхностного монтажа, что в некоторых случаях позволяет развести практически всю схему на одной стороне платы. Связано это с тем, что до сих пор не изобретено никакой реально осуществимой в домашних условиях технологии металлизации переходных отверстий. Поэтому в случае, если разводку платы не удастся выполнить на одной стороне, следует выполнять разводку на второй стороне с использованием в качестве межслойных переходов выводов различных компонентов, установленных на плате, которые в этом случае придется пропаивать с двух сторон платы. Конечно, существуют различные способы замены металлизации отверстий (использование тонкого проводника, вставленного в отверстие и припаянного к дорожкам с обеих сторон платы; использование специальных пистонов), однако все они имеют существенные недостатки и неудобны в использовании. В идеальном случае плата должна разводиться только на одной стороне с использованием минимального количества перемычек. Остановимся теперь подробнее на каждом из этапов изготовления печатной платы.

#### 1 Предварительная подготовка заготовки

Данный этап является начальным и заключается в подготовке поверхности будущей печатной платы к нанесению на нее защитного покрытия. В целом за продолжительный промежуток времени технология очистки поверхности не претерпела сколько-нибудь значительных изменений. Весь процесс сводится к удалению окислов и загрязнений с поверхности платы с использованием различных абразивных средств и последующему обезжириванию. Для удаления сильных загрязнений можно использовать мелкозернистую наждачную бумагу («нулевку»), мелкодисперсный абразивный порошок или любое другое средство, не оставляющее на поверхности платы глубоких царапин. Иногда можно просто вымыть поверхность печатной платы жесткой мочалкой для мытья посуды с моющим средством или порошком (для этих целей удобно использовать абразивную мочалку для мытья посуды, которая похожа на войлок с мелкими вкраплениями какого-то вещества; часто такая мочалка

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

бывает наклеена на кусок поролона). Кроме того, при достаточно чистой поверхности печатной платы можно вообще пропустить этап абразивной обработки и сразу перейти к обезжириванию. В случае наличия на печатной плате только толстой оксидной пленки ее можно легко удалить путем обработки печатной платы в течение 3–5 секунд раствором хлорного железа с последующим промыванием в холодной проточной воде. Следует, однако, отметить, что желательно либо производить данную операцию непосредственно перед нанесением защитного покрытия, либо после ее проведения хранить заготовку в темном месте, поскольку на свету медь быстро окисляется. Заключительный этап подготовки поверхности заключается в обезжиривании. Для этого можно использовать кусочек мягкой ткани, не оставляющей волокон, смоченный спиртом, бензином или ацетоном. Здесь следует обратить внимание на чистоту поверхности платы после обезжиривания, поскольку в последнее время стали попадаться ацетон и спирт со значительным количеством примесей, которые оставляют на плате после высыхания беловатые разводы. Если это так, то стоит поискать другой обезжиривающий состав. После обезжиривания плату следует промыть в проточной холодной воде. Качество очистки можно контролировать, наблюдая за степенью смачивания водой поверхности меди. Полностью смоченная водой поверхность, без образования на ней капель и разрывов пленки воды, является показателем нормального уровня очистки. Нарушения в этой пленке воды указывают, что поверхность очищена недостаточно.

## 2 Нанесение защитного покрытия

Нанесение защитного покрытия является самым важным этапом в процессе изготовления печатных плат, и именно им на 90 % определяется качество изготовленной платы. В настоящее время в радиоловительской среде наиболее популярными являются три способа нанесения защитного покрытия. Мы их рассмотрим в порядке возрастания качества, получаемых при их использовании плат. Ручное нанесение защитного покрытия. При этом способе чертеж печатной платы переносится на стеклотекстолит вручную при помощи какого-

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

либо пишущего приспособления. В последнее время в продаже появилось множество маркеров, краситель которых не смывается водой и дает достаточно прочный защитный слой. Кроме того, для ручного рисования можно использовать рейсфедер или какое-либо другое приспособление, заправленное красителем. Так, например, удобно использовать для рисования шприц с тонкой иглой (лучше всего для этих целей подходят инсулиновые шприцы с диаметром иглы 0,3-0,6 мм), обрезанной до длины 5–8 мм. При этом шток в шприц вставлять не следует — краситель должен поступать свободно под действием капиллярного эффекта. Также вместо шприца можно использовать тонкую стеклянную или пластмассовую трубку, вытянутую над огнем для достижения нужного диаметра. Особое внимание следует обратить на качество обработки края трубки или иглы: при рисовании они не должны царапать плату, в противном случае можно повредить уже закрашенные участки. В качестве красителя при работе с такими приспособлениями можно использовать разбавленный растворителем битумный или какой-либо другой лак, цапонлак или даже раствор канифоли в спирте. При этом необходимо подобрать консистенцию красителя таким образом, чтобы он свободно поступал при рисовании, но в то же время не вытекал и не образовывал капель на конце иглы или трубки. Стоит отметить, что ручной процесс нанесения защитного покрытия достаточно трудоемок и годится только в тех случаях, когда необходимо очень быстро изготовить небольшую плату. Минимальная ширина дорожки, которой можно добиться при рисовании вручную, составляет порядка 0,5 мм. Использование «технологии лазерного принтера и утюга». Данная технология появилась сравнительно недавно, однако сразу получила широчайшее распространение в силу своей простоты и высокого качества получаемых плат. Основу технологии составляет перенос тонера (порошка, используемого при печати в лазерных принтерах) с какой-либо подложки на печатную плату. При этом возможны два варианта: либо используемая подложка отделяется от платы перед травлением, либо, если в качестве подложки используется алюминиевая фольга, она травливается вместе с

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38



медью. Первый этап использования данной технологии заключается в печати зеркального изображения рисунка печатной платы на подложке. Параметры печати принтера при этом должны быть установлены на максимальное качество печати (поскольку в этом случае происходит нанесение слоя тонера наибольшей толщины). В качестве подложки можно использовать тонкую мелованную бумагу (обложки от различных журналов), бумагу для факсов, алюминиевую фольгу, пленку для лазерных принтеров, основу от самоклеящейся пленки Oracal или какие-нибудь другие материалы. При использовании слишком тонкой бумаги или фольги может потребоваться приклеить их по периметру на лист плотной бумаги. В идеальном случае принтер должен иметь тракт для прохождения бумаги без перегибов, что предотвращает смятие подобного бутерброда внутри принтера. Большое значение это имеет и при печати на фольге или основе от пленки Oracal, поскольку тонер на них держится очень слабо, и в случае перегиба бумаги внутри принтера существует большая вероятность, что придется потратить несколько неприятных минут на очистку печки принтера от налипших остатков тонера. Лучше всего, если принтер может пропускать бумагу через себя горизонтально, печатая при этом на верхней стороне (как, например, HP LJ2100 — один из лучших принтеров для применения при изготовлении печатных плат). Хочется сразу предупредить владельцев принтеров типа HP LJ 5L, 6L, 1100, чтобы они не пытались печатать на фольге или основе от Oracal — обычно подобные эксперименты заканчиваются плачевно. Также помимо принтера можно использовать и копировальный аппарат, применение которого иногда дает даже лучшие по сравнению с принтерами результаты за счет нанесения толстого слоя тонера. Основное требование, которое предъявляется к подложке, — легкость ее отделения от тонера. Кроме того, в случае использования бумаги она не должна оставлять в тонере ворсинок. При этом возможны два варианта: либо подложка после перенесения тонера на плату просто снимается (в случае пленки для лазерных принтеров или основы от Oracal), либо предварительно размачивается в воде и потом постепенно

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

отделяется (мелованная бумага). Перенос тонера на плату заключается в прикладывании подложки с тонером к предварительно очищенной плате с последующим нагревом до температуры, немного превышающей температуру плавления тонера. Возможно огромное количество вариантов как это сделать, однако наиболее простым является прижим подложки к плате горячим утюгом. При этом для равномерного распределения давления утюга на подложку рекомендуется проложить между ними несколько слоев плотной бумаги. Очень важным вопросом является температура утюга и время выдержки. Эти параметры варьируются в каждом конкретном случае, поэтому, возможно, придется поставить не один эксперимент, прежде чем вы получите качественные результаты. Критерий тут один: тонер должен успеть достаточно расплавиться, чтобы прилипнуть к поверхности платы, и в то же время должен не успеть дойти до полужидкого состояния, чтобы края дорожек не расплющились. После «приварки» тонера к плате необходимо отделить подложку (кроме случая использования в качестве подложки алюминиевой фольги: ее отделять не следует, поскольку она растворяется практически во всех травильных растворах). Пленка для лазерных принтеров и основа от Orascal просто аккуратно снимаются, в то время как обычная бумага требует предварительного размачивания в горячей воде. Стоит отметить, что в силу особенностей печати лазерных принтеров слой тонера в середине больших сплошных полигонов достаточно мал, поэтому следует по мере возможности избегать использования таких областей на плате, либо после снятия подложки придется подретушировать плату вручную. В целом использование данной технологии после некоторой тренировки позволяет добиться ширины дорожек и зазоров между ними вплоть до 0,3 мм.

### 3 Применение фоторезистов.

Фоторезистом называется чувствительное к свету вещество, которое под воздействием освещения изменяет свои свойства. В последнее время на российском рынке появилось несколько видов импортных фоторезистов в аэрозольной упаковке, которые особенно удобны для использования в

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

домашних условиях. Сущность применения фоторезиста заключается в следующем: на плату с нанесенным на нее слоем фоторезиста накладывается фотошаблон и производится ее засветка, после чего засвеченные (или незасвеченные) участки фоторезиста смываются специальным растворителем, в качестве которого обычно выступает едкий натр (NaOH). Все фоторезисты делятся на две категории: позитивные и негативные. Для позитивных фоторезистов дорожке на плате соответствует черный участок на фотошаблоне, а для негативных, соответственно, прозрачный. Наибольшее распространение получили позитивные фоторезисты как наиболее удобные в применении. Остановимся более подробно на использовании позитивных фоторезистов в аэрозольной упаковке. Первым этапом является подготовка фотошаблона. В домашних условиях его можно получить, напечатав рисунок платы на лазерном принтере на пленке. При этом необходимо особое внимание уделить плотности черного цвета на фотошаблоне, для чего необходимо отключить в настройках принтера все режимы экономии тонера и улучшения качества печати. Кроме того, некоторые фирмы предлагают вывод фотошаблона на фотоплоттере — при этом вам гарантирован качественный результат. На втором этапе на предварительно подготовленную и очищенную поверхность платы наносится тонкая пленка фоторезиста. Делается это путем распыления его с расстояния порядка 20 см. При этом следует стремиться к максимальной равномерности получаемого покрытия. Кроме того, очень важно обеспечить отсутствие пыли в процессе распыления — каждая попавшая в фоторезист пылинка неминуемо оставит свой след на плате. После нанесения слоя фоторезиста необходимо высушить получившуюся пленку. Делать это рекомендуется при температуре 70 оС–80 оС, причем сначала нужно подсушить поверхность при небольшой температуре и лишь затем постепенно довести температуру до нужного значения. Время сушки при указанной температуре составляет порядка 20–30 мин. В крайнем случае допускается сушка платы при комнатной температуре в течение 24 часов. Платы с нанесенным фоторезистом должны храниться в темном прохладном месте. Следующим после нанесения фоторезиста этапом

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

является экспонирование. При этом на плату накладывается фотошаблон (желательно стороной печати к плате: это способствует увеличению четкости при экспонировании), который прижимается тонким стеклом или куском плексигласа. При достаточно небольших размерах плат для прижима можно использовать крышку от коробки компакт-диска либо отмытую от эмульсии фотопластинку. Поскольку область максимума спектральной чувствительности большинства современных фоторезистов приходится на ультрафиолетовый диапазон, для засветки желательно использовать лампу с большой долей УФ-излучения в спектре (ДРШ, ДРТ и др.). В крайнем случае, можно использовать мощную ксеноновую лампу. Время экспонирования зависит от многих причин (тип и мощность лампы, расстояние от лампы до платы, толщина слоя фоторезиста, материал прижимного покрытия и др.) и подбирается экспериментально. Однако в целом время экспонирования составляет обычно не более 10 минут даже при экспонировании под прямыми солнечными лучами. Проявление большинства фоторезистов осуществляется раствором едкого натра (NaOH) — 7 граммов на литр воды. Лучше всего использовать свежеприготовленный раствор, имеющий температуру 20°C–25°C. Время проявления зависит от толщины пленки фоторезиста и находится в пределах от 30 секунд до 2 минут. После проявления плату можно подвергать травлению в обычных растворах, поскольку фоторезист устойчив к воздействию кислот. При использовании качественных фотошаблонов применение фоторезиста позволяет получить дорожки шириной вплоть до 0,15–0,2мм.

#### 4 Травление

Известно много составов для химического травливания меди. Все они отличаются скоростью протекания реакции, составом выделяющихся в результате реакции веществ, а также доступностью необходимых для приготовления раствора химических реактивов. Ниже приведена информация о наиболее популярных растворах для травления. Хлорное железо (FeCl<sub>3</sub>) — пожалуй, самый известный и популярный реактив. Сухое хлорное железо растворяется в воде до тех пор, пока не будет получен насыщенный раствор

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

золотисто-желтого цвета (для этого потребуется порядка двух столовых ложек на стакан воды). Процесс травления в этом растворе может занять от 10 до 60 минут. Время зависит от концентрации раствора, температуры и перемешивания. Перемешивание значительно ускоряет протекание реакции. В этих целях удобно использовать компрессор для аквариумов, который обеспечивает перемешивание раствора пузырьками воздуха. Также реакция ускоряется при подогревании раствора. По окончании травления плату необходимо промыть большим количеством воды, желательно с мылом (для нейтрализации остатков кислоты). К недостаткам данного раствора следует отнести образование в процессе реакции отходов, которые оседают на плате и препятствуют нормальному протеканию процесса травления, а также сравнительно низкую скорость реакции. Персульфат аммония  $((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)$  — светлое кристаллическое вещество, растворяется в воде исходя из соотношения 35 г вещества на 65 г воды. Процесс травления в этом растворе занимает порядка 10 минут и зависит от площади медного покрытия, подвергающегося травлению. Для обеспечения оптимальных условий протекания реакции раствор должен иметь температуру порядка 40 оС и постоянно перемешиваться. По окончании травления плату необходимо промыть в проточной воде. К недостаткам этого раствора относится необходимость поддержания требуемого температурного режима и перемешивания. Раствор соляной кислоты (HCl) и перекиси водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Для приготовления этого раствора необходимо к 770 мл воды добавить 200 мл 35 % соляной кислоты и 30 мл 30 % перекиси водорода. Готовый раствор должен храниться в темной бутылке, не закрытой герметически, так как при разложении перекиси водорода выделяется газ. Внимание: при использовании данного раствора необходимо соблюдать все меры предосторожности при работе с едкими химическими веществами. Все работы необходимо производить только на свежем воздухе или под вытяжкой. При попадании раствора на кожу ее необходимо немедленно промыть большим количеством воды. Время травления сильно зависит от перемешивания и температуры раствора и составляет порядка 5–10

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

минут для хорошо перемешиваемого свежего раствора при комнатной температуре. Не следует нагревать раствор выше 50 оС. После травления плату необходимо промыть проточной водой. Данный раствор после травления можно восстанавливать добавлением H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Оценка требуемого количества перекиси водорода осуществляется визуально: погруженная в раствор медная плата должна перекрашиваться из красного в темно-коричневый цвет. Образование пузырей в растворе свидетельствует об избытке перекиси водорода, что ведет к замедлению реакции травления. Недостатком данного раствора является необходимость строгого соблюдения при работе с ним всех мер предосторожности.

#### 5 Очистка заготовки, сверловка, нанесение флюса, лужение.

После завершения травления и промывки платы необходимо очистить ее поверхность от защитного покрытия. Сделать это можно каким-либо органическим растворителем, например, ацетоном. Далее необходимо просверлить все отверстия. Делать это нужно остро заточенным сверлом при максимальных оборотах электродвигателя. В случае, если при нанесении защитного покрытия в центрах контактных площадок не было оставлено пустого места, необходимо предварительно наметить отверстия (сделать это можно, например, шилом). Прижимное усилие в процессе сверления не должно быть слишком большим, чтобы на обратной стороне платы не образовывались бугорки вокруг отверстий. Обычные электродрели практически не подходят для сверления плат, поскольку, во-первых, имеют низкие обороты, а во-вторых, обладают достаточно большой массой, что затрудняет регулирование прижимного усилия. Удобнее всего для сверления плат использовать электродвигатели типа ДПМ-35Н и им подобные с насаженным на их вал небольшим цанговым патроном. После сверловки нужно обработать отверстия: удалить все зазубрины и заусенцы. Сделать это можно наждачной бумагой. Следующим этапом является покрытие платы флюсом с последующим лужением. Можно использовать специальные флюсы промышленного изготовления (лучше всего смываемые водой или вообще не

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

требующие смывания) либо просто покрыть плату слабым раствором канифоли в спирте. Лужение можно производить двумя способами: погружением в расплав припоя либо при помощи паяльника и металлической оплетки, пропитанной припоем. В первом случае необходимо изготовить железную ванночку и заполнить ее небольшим количеством сплава Розе или Вуда. Расплав должен быть полностью покрыт сверху слоем глицерина во избежание окисления припоя. Для нагревания ванночки можно использовать перевернутый утюг или электроплитку. Плата погружается в расплав, а затем вынимается с одновременным удалением излишков припоя ракелем из твердой резины.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

## 5. Этапы производства печатных плат

### 1 Создание заготовки платы

Пластина выполняется из диэлектрика, покрытого фольгой. В качестве основы чаще всего используется стеклотекстолит. Другой вариант, менее востребованный, текстолит на бумажной или тканой основе. Толщина выбирается с учетом назначения платы. Чем более прочное требуется изделие, тем больше будет толщина пластины. Также от толщины зависит электрическая проводимость. Если платы производятся без ориентира на конкретную задачу, применяется среднее значение – 13-14 мм.

Заготовка подготавливается таким образом:

Сначала нужная форма вырезается с помощью специального оборудования;

Затем выполняется подготовка листов фольги из алюминия;

Далее на вырезанный сегмент наносится фольгированное покрытие. Толщина слоя тоже выбирается в зависимости от назначения пластины.

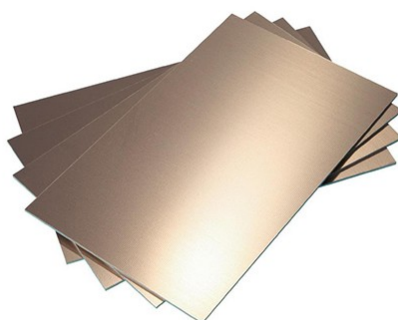


Рисунок 6 – Заготовка для платы

### 2 Создание рисунка для пропускания тока

Для формирования узора применяется три основных метода, которые могут сочетаться друг с другом: Химический. Способ состоит из двух стадий: укладки маски на основу со слоем фольги и удаления лишних сегментов методом бомбардировки химическими элементами. Для выполнения работы требуется фоторезист, источник УФ излучения и фотошаблон. Фоторезист может быть жидким или пленочным. Он необходим для обработки всей плоскости заготовки. Затем берется подготовленный шаблон и рисунок вырезается при

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38



подсвечивании узоров ультрафиолетом. Поверхности, на которых фольга не нужна, затем обрабатываются химическим составом, а слой материала аккуратно удаляется. Так на плате остается только электропроводящий рисунок. Механический. Для создания рисунка применяется специальное устройство, которое воздействует на поверхность пластины механическим способом. С помощью шаблона оборудование удаляет части фольги, формируя рисунок. Лазерный. Раньше этот метод почти не применялся по причине высоких отражающих качеств алюминия и меди. Но современные лазерные приборы могут с большой точностью настраивать длину волны, благодаря чему их можно использовать для материалов с высокими отражающими свойствами. Создание рисунка – это лишь предварительная стадия в подготовке заготовки пластины. Затем проводится еще четыре процедуры, после чего изделие приобретает требуемый вид.

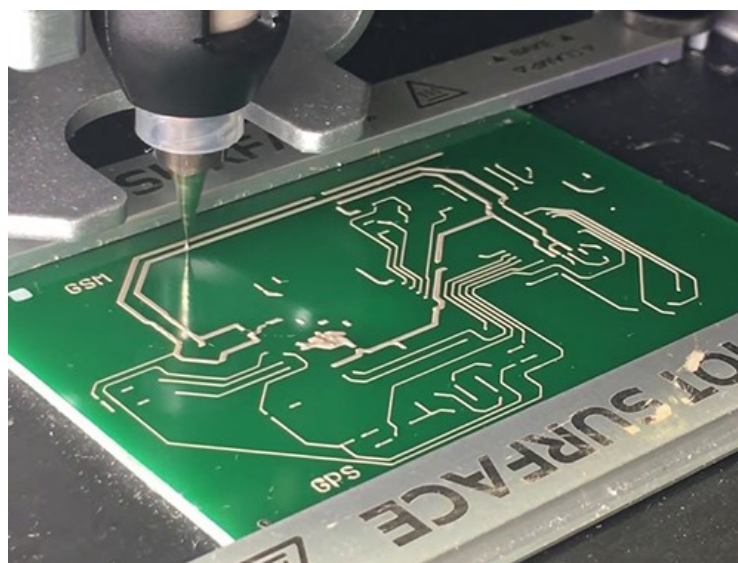


Рисунок 7 – нанесение рисунка для пропускания тока на плату

### 3 Металлизация отверстий

Для формирования отверстий используется механический или лазерный инструмент. Лазер применяется там, где важна тонкая обработка и качественно выполнить процедуру механическим способом практически невозможно. Процесс нанесения металла проводится двумя способами:

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

1 Механический. Для этого метода применяется установка большой точности и специальный материал (токопроводящий клей или заклепки). Технология отличается высокой стоимостью, поэтому используется только для производства плат, которым важна повышенная точность.

2 Химический. Более востребованный способ, при котором покрытие металлом происходит накапливанием частиц меди на пластине.



Нормирование качества металлизации сквозных отверстий:  
слева - отлично; посередине - приемлемо; справа - недопустимо

Рисунок 8 – нормирование качества металлизации сквозных отверстий

#### 4 Прессование пластин

Данный этап применяется только для плат, которые состоят из нескольких слоев (более одного). Процедура выполняется перед металлизацией, так как затем покрытие повредится от давления. Прессование выполняется следующим образом:

Сначала подготавливаются слои, которые будут находиться в середине, и наносится узор;

Затем пластины располагаются в печи под давлением. В роли прокладочных элементов выступают специальные препреги;

После этого в пластине создаются отверстия;

Далее выполняется металлизация;

Следующий шаг – травление фольгированного покрытия.

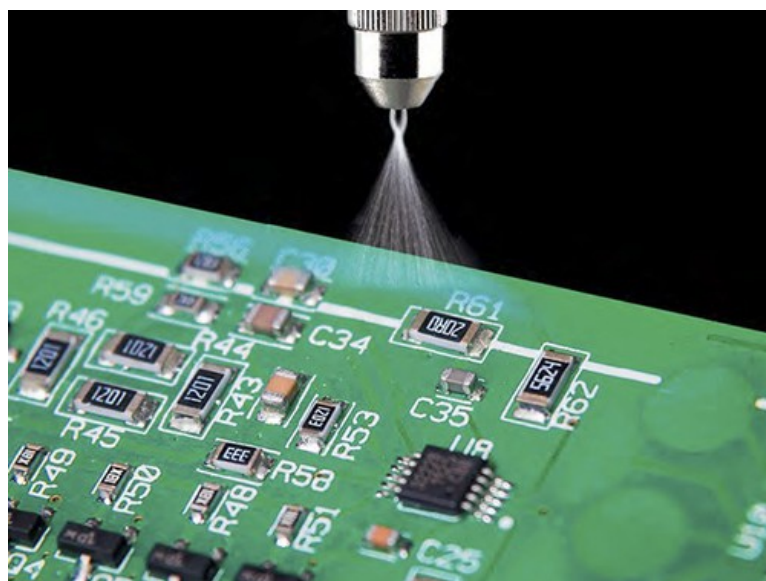
					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

Промежуточные отверстия могут создаваться и до помещения платы в печь для прессы. Это позволяет расширить функционал пластин, но также увеличивает их стоимость.

#### 5 Нанесение покрытия

Это важная процедура, так как без нее платы будет легко повредить механически. Способы создания покрытия:

При помощи лака. Защита выполняет не только основную функцию, а также обладает декоративными свойствами. Традиционный цвет печатной платы, зеленый, достигается именно таким методом. С использованием маркировки. Сочетает декоративность с информационной составляющей. Применяется при изготовлении больших партий плат. Для нанесения покрытия используется метод шелкографии. Также может применяться лазер или струйное устройство. Лужением проводников. Так наносится вспомогательный слой, который располагается на основном слое, выполненном из меди. Для нанесения используется химический метод – применяется специальная ванна с припоем. Преимущество технологии – высокий уровень защиты. Минус – толщина изделия, которая уменьшает его монтажные качества. С помощью инертных металлов. Для этих целей применяется олово, золото, платина или палладий. Лакировкой пропускающим ток составом. Улучшаются



токопроводящие качества элемента. После установки плат на производстве

									Лист
									38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата	ЭО 11.02.16 0012 КР				

поверхность может оформляться дополнительным слоем, который снижает действие на изделие факторов окружающей среды.

Рисунок 9 – нанесения защитного покрытия на плату

#### 6 Обработка механическим способом

Изготовление плат на производстве включает получение большого количества копий пластин на одном листе диэлектрика. Все озвученные выше стадии — это полотно проходит без разрезания на отдельные компоненты. Отделение плат происходит в конце производственного цикла, посредством механического устройства. Естественно, сам процесс автоматизирован. Обработка пластин механическим способом выполняется таким образом:

Элемент фрезеруется частично или полностью (вариант зависит от формы изделия). Если элемент прямоугольной или квадратной формы фреза выполняет надрезы, которые упростят разделение компонентов. Если элемент нестандартной формы, фреза создает сквозные линии. При этом в некоторых местах материал остается, чтобы деталь оставалась пока на месте. Затем в этом месте плата отламывается. Выполняется формирование отверстий для крепления пластины. Их число и размер выбираются по шаблону, который используется на производстве. Затем пластины разделяются на отдельные компоненты. Все особенности процедуры указаны в ГОСТ 23665-79, где есть



основные рекомендации и нормы по механической обработке плат. Данная стадия является финальной в производстве печатной пластины. Но пока товар

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

не является готовым к использованию. Затем плату необходимо дополнить микросхемами и протестировать.

### Рисунок 10 – механическая обработка платы

#### 7 Установка компонентов

Чаще всего установка платы в электронном устройстве производится методом пайки. При масштабном производстве применяется специальное оборудование, которое упрощает выполнение процедуры. После припаивания пластины обрабатываются растворителями для удаления частичек паяльных материалов. Затем на плату наносится еще один раствор, который может быстро застывать (лак, гидрофобизаторы и т. д.). Если пластина будет использоваться под действием вибрации, производится ее заливка составом высокой вязкости.

#### 8 Проведение тестов

Есть несколько вариантов для проверки работоспособности печатной платы. Самые популярные методы – с помощью электричества и оптическим устройством. При использовании электричества оценивается наличие замыканий и целостность всей электроцепи. Оптическая оценка позволяет увидеть механические недостатки, если они имеются.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

## 6. Материалы для печатных плат

Исходный материал — диэлектрическое основание, ламинированное с одной или двух сторон медной фольгой. В качестве диэлектрика могут выступать:

листы, изготовленные на основе стеклотканей, пропитанных связующим на основе эпоксидных смол — стеклотекстолит (СФ, СТФ, СТАП, FR4 и т.п.)

листы с керамическим наполнителем, армированные стекловолокном — Rogers RO5603, RO4350

листы фторопласта (PTFE), также армированные — Arlon AD 250 и 255, Arlon (AD и AR),

ламинаты на металлическом основании (алюминий, медь, нержавеющая сталь)

плёнки из полиимида, полиэтилентерефталата (PET, ПЭТФ, лавсан)

Материалы для стандартных односторонних, двусторонних и многослойных печатных плат. Фольгированный стеклотекстолит FR4 с температурой стеклования 135°C, 150°C и 170°C является наиболее распространенным материалом для производства односторонних и двухсторонних печатных плат. Толщина стеклотекстолита обычно варьируется от 0,5 до 3,0 мм. Достоинства FR4: хорошие диэлектрические свойства, стабильность характеристик и размеров, высокая устойчивость к воздействию неблагоприятных климатических условий. Во многих случаях, где требуются достаточно простые печатные платы (при производстве бытовой аппаратуры, различных датчиков, некоторых комплектующих к автомобилям и т.п.) превосходные свойства стеклотекстолита оказываются избыточными, и на первый план выходят показатели технологичности и стоимости. В таких случаях обычно используют следующие материалы:

ХРС, FR1, FR2 — фольгированные гетинаксы (основа из целлюлозной бумаги, пропитанной фенольной смолой), широко применяется при изготовлении печатных плат для бытовой электроники, аудио-, видео техники, в автомобилестроении (расположены в порядке возрастания показателей свойств, и, соответственно, цены). Прекрасно штампуются.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		38

СЕМ-1 — ламинат на основе композиции целлюлозной бумаги и стеклоткани с эпоксидной смолой. Прекрасно штампруется.

Материалы для плат с повышенной теплоотдачей Платы с металлическим основанием находят широкое применение в устройствах с мощными светодиодами, источниках питания, преобразователях тока, модулях управления двигателями. Основанием платы служит металлическая пластина. В зависимости от требуемых характеристик выбирается материал. Наиболее часто используются алюминиевые сплавы:

1100 (отечественный аналог сплав АД) — из-за небольшого количества примесей материал обладает хорошей теплопроводностью (220 W/mK), пластичен, недостатками являются: невысокая механическая прочность и вязкость, что затрудняет механическую обработку контура печатных плат;

5052 (отечественный аналог сплав АМг2.5) — наиболее употребительны, несмотря на относительно не очень высокую теплопроводность (порядка 140 W/mK), хорошо обрабатываются, относительно дешевы;

6061 (отечественный аналог сплав АД33) — применяется, когда требуется повышенная коррозионная стойкость, помимо этого обладает повышенной механической прочностью. К недостаткам можно отнести более высокую цену по сравнению с вышеперечисленными сплавами. В случаях, когда требуется очень высокая теплопроводность, в качестве металлического основания используется медь. Теплопроводность меди 390 W/mK, к недостаткам можно отнести высокую стоимость и затрудненность механической обработки фрезерованием вследствие высокой вязкости. Когда требуется высокая коррозионная стойкость и механическая прочность, в качестве металлического основания используется нержавеющая сталь.

Материалы для СВЧ печатных плат. При производстве СВЧ печатных плат применяются специальные диэлектрические материалы, характеризующиеся повышенной (в сравнении со стандартным FR4) стабильностью величины диэлектрической проницаемости и низкими потерями в широком диапазоне рабочих частот (от единиц МГц до десятков ГГц). Спектр материалов для

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

производства СВЧ печатных плат весьма широк: в качестве диэлектрика, как в чистом виде, так и в различных комбинациях (для придания необходимых характеристик, например, термостабильности) применяют различные полимеры, керамику. В основном, диэлектрик армируется стекловолокном (различного плетения, что так же влияет на результирующие параметры материала). Неармированные материалы используются редко и, как правило, являются наиболее дорогостоящими и сложно обрабатываемыми (очень мягкие, либо очень хрупкие). Многослойные конструкции СВЧ печатных плат выполняют как с применением только специализированных материалов, так и с применением стандартных материалов FR4. Например, с целью снижения стоимости, СВЧ диэлектрик используют только для разделения одного или двух внешних сигнальных слоёв, а для остальных — используют обычный FR4 (такие конструкции МПП называются гибридными).

Материалы для гибких печатных плат. Доминирующим базовым материалом для производства гибких ПП является полиимид. Хотя полиэтилентерефталат существенно дешевле, его применяют значительно реже в виду более узкого диапазона рабочих температур и недостаточной размерной стабильности. Несмотря на недостатки полиэтилентерефталата, он всё же обладает рядом преимуществ, таких, например, как хорошая химическая стойкость и низкое влагопоглощение, а также он легко формуются (низкотемпературный термопласт). Наибольшее применение находит для изготовления односторонних гибких плат для узлов автомобильной промышленности.

Проводящий материал – фольга. В качестве проводящих слоёв используют как обычную электроосаждённую гальваностойкую медную фольгу, так и катанную отоженную, или специально обработанную для минимизации шероховатости. Так же существует фольга со специальным резистивным подслоем (NiCr) для изготовления встроенных тонкоплёночных резисторов. Катаная фольга обладает более высокими механическими свойствами, чем электроосаждённая, поэтому применяется в основном для производства ПП, рассчитанных на динамическую нагрузку и ПП с

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		



последующей формовкой контактов. Материалы с алюминиевой фольгой встречаются реже, в основном, в экранирующих материалах. Распространенные толщины фольги: 12, 18, 35, 70, 105 мкм.

Связующий материал – адгезив, препрег (акриловые, эпоксидные полимеры). Адгезивы используются как для соединения медной фольги с базовой плёнкой, объединения слоёв многослойных конструкций, приклеивания защитных слоёв и ужесточителей, так и создания клеящих областей на поверхности ПП. Препреги FR4 с температурой стеклования 135°C, 140°C и 170°C используются для прессования МПП.

Защитное покрытие (покрывной материал). Защитное покрытие — это диэлектрический материал, защищающий внешние проводящие слои от воздействия окружающей среды. Может быть, как в виде полиимидной или ПЭТФ плёнки с нанесённым с одной стороны слоем адгезива, так и в виде жидкой фотопроявляемой композиции. Плёночные материалы в основном применяются при изготовлении гибких печатных плат, характеризуются хорошо согласованной гибкостью с базовыми материалами, высокой электрической и механической прочностью, но обрабатываются, в основном, механическими способами, поэтому топология защитных слоёв имеет низкое разрешение. Жидкие фотопроявляемые покрытия лишены этого недостатка, но также в большинстве своём лишены и описанных выше преимуществ плёночных покрытий.

Защитная паяльная маска служит для защиты участков печатных плат от воздействия припоя. Существует два типа масок — сухая пленочная и жидкая. Сухая пленочная паяльная маска обеспечивает хорошие результаты по тентированию переходных отверстий, наносится методом ламинирования, но в настоящее время используется редко, т.к. не подходит для печатных плат выше 3 класса точности. Жидкая паяльная маска наносится методом сеткографии через сетчатый трафарет, причем существует два варианта нанесения. Через готовый трафарет, когда в сетке уже сформированы все окна вскрытия, и маска наносится только на защищаемые участки печатной платы (такой вариант

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

имеет невысокое разрешение и применяется, как правило, на односторонних печатных платах ниже 3 класса точности), и сплошное нанесение маски с использованием фотошаблонов и последующим проявлением. Требования к совмещению фотошаблонов маски ниже, чем к фотошаблонам топологии, поэтому окна вскрытия должны быть шире контактных площадок. Это нужно учитывать при создании компонентов, особенно в САПР, где этот параметр задается непосредственно в компоненте (например, Altium Designer). Как правило, размер вскрытия задается на 0,1 мм больше размера контактной площадки. Следует также отметить, что разрешение (мостики в маске) маски составляет не менее 0,10 мм, и это нужно учитывать для компонентов с шагом выводов 0,5 мм. Следует подчеркнуть, что паяльная маска не должна играть роль диэлектрика, поскольку в покрытии маской допускаются сколы. При выборе расстояния между элементами проводящего рисунка, с точки зрения электрической прочности, следует руководствоваться нормами ГОСТ 53429-2009.

Финишное покрытие. На открытые от маски участки меди различными методами наносится финишное покрытие для обеспечения качественной пайки. Наиболее распространенными финишными покрытиями, применяемыми при изготовлении печатных плат, являются: оловянно-свинцовый и бессвинцовые припои, иммерсионное золочение, иммерсионное серебрение, иммерсионное олово, органическое защитное покрытие.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38

## 7 Анализ опасных и производственных факторов

В процессе изготовления спроектированной системы выполняются такие операции как сборка печатных плат (пайка, нанесение защитных покрытий), регулировка и испытание. При проведении этих работ возникают опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ). Наиболее опасным из перечисленных факторов являются пары свинца, образующиеся при пайке. Чтобы снизить концентрацию свинца в воздухе на рабочем месте необходимо снабдить его местным вентиляционным отсосом. Для исключения загрязнения окружающей среды откачиваемым воздухом, содержащим пары свинца, необходимо использовать сменные регенерируемые фильтры, предотвращающие попадание вредных веществ за пределы предприятия в атмосферу. Кроме того, при несоблюдении правил техники безопасности (ТБ) и технологического процесса, на некоторых операциях может возникнуть дополнительная опасность вредного воздействия:

1 При пайке и лужении возникает опасность теплового ожога и поражения электрическим током. Опасность поражения электрическим током устраняется применением паяльника ПНТ-36-40 с рабочим напряжением 36 вольт. В качестве защиты от химических ОВПФ необходимо использовать местную вентиляцию. Целесообразной в данном случае является полная автоматизация процесса.

2 Промывка паяных соединений спиртом и покрытие лаком, маркировка и сушка. Для устранения влияния вредных испарений используется вытяжной шкаф типа ШВ2-НЖ и сушильный шкаф типа ШВС-1 с вытяжной вентиляцией.

3 Операция разделки проводов и формирование жгута. На данной операции может использоваться электрообжигалка и вследствие этого появляется опасность теплового ожога, поражения электрическим током и загрязнения атмосферы. Меры защиты: использование щита для защиты рук от ожога, применение заземления источника питания и надежной изоляции электропроводов, вентиляция.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

4 Влагозащита проводного монтажа и паяных соединений. ОВПФ - вредные пары лака (УР-23). Мероприятием по защите является использование шкафа ШВ 2 - НЖ.

5 Установка печатных узлов в корпус блока. На данном этапе, а так же на операциях сборки корпуса, возможно травмирование сборочным инструментом и принадлежностями. Для предотвращения этого необходимо использовать исправный инструмент, приспособления и индивидуальные средства защиты (перчатки, спецодежду и т.п.).

6 Проверка правильности функционирования и регулировка блока. ОВПФ - опасность поражения электрическим током. Для предотвращения опасности поражения электрическим током необходимо применять низковольтные источники питания и приборы с гальванической развязкой, а также заземление и электропровода с надежной изоляцией. При регулировке блока и проверке правильности функционирования отдельных узлов используется микропроцессорная система на базе ПЭВМ со специализированным программным обеспечением. Вследствие этого возможно влияние на оператора опасных и вредных факторов, связанных с работой на ПЭВМ. ОВПФ, которые могут воздействовать на оператора ПЭВМ, связаны, во-первых, с техническими характеристиками и работой ЭВМ (шум, электромагнитное излучение, разрешающая способность монитора и др.), а также с видом используемой программы. Во-вторых, они связаны с неблагоприятными условиями среды, в которой работает оператор (неправильное освещение, запыленность воздуха и др.). Операции сборки корпуса, установки печатных плат в корпус блока, визуального контроля правильности установки печатных узлов и окончательной сборки блока, при соблюдении правил ТБ и технологического процесса (в соответствии с ГОСТ 12.3.002-75 "Процессы производственные"), не должны представлять опасности для персонала и окружающей среды. Поскольку устройство обладает небольшими массогабаритными показателями и на данном участке производства осуществляется лишь сборка, изготовление и установка печатных узлов, то физические ОВПФ связанные с

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

массой и габаритами можно исключить. Для уменьшения влияния психофизиологических ОВПФ, необходима правильная комплексная организация режимов работы и отдыха, периодический медицинский контроль, правильная организация рабочих мест и автоматизация опасных и вредных технологических процессов. В процессе эксплуатации радиоэлектронная аппаратура подвергается климатическим воздействиям, под влиянием которых происходит ухудшение электрических и механических параметров РЭА, а также может наступить полное разрушение. При производстве РЭА проводятся климатические и механические испытания, которые должны быть организованы так, чтобы работающим обеспечивались нормальные условия труда. Климатические испытания проводятся в специально оборудованных камерах или помещениях, доступ в которые при установленном климатическом режиме исключается с помощью блокировочных устройств. Камеры и помещения с климатической средой герметичны с целью исключения попадания элементов климатической среды (влаги, пыли, газов и т.д.) в воздух помещений, где постоянно пребывают работающие. Для периодической дезинфекции воздушной среды помещения оборудуются общеобменной вентиляцией и противобактерийными лампами. Работающие обеспечиваются средствами индивидуальной защиты от воздействия высоких и низких температур.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

## Заключение

В данной курсовой работе были рассмотрены виды печатных плат и из каких материалов они создаются (Односторонние (ОПП), Двусторонние (ДПП), Многослойные (МПП). Гибкие, гибко жесткие, Алюминиевые, Сверхвысокочастотные (СВЧ). Так же были рассмотрены этапы проектирования печатных плат (подготовительный этап, выбор дизайна платы, выбор схемы подключения и расположения шелкографии. Рассмотрели программы для проектирования печатных плат, которые могут не только профессионалам, но и только начинающим людям в этом направлении (Fritzing, Libre PCB, Altium Designer и DipTrace).

Были узнаны этапы разработки печатных плат дома (предварительная подготовка заготовки (очистка поверхности, обезжиривание); нанесение тем или иным способом защитного покрытия; удаление лишней меди с поверхности платы (травление); очистка заготовки от защитного покрытия; сверловка отверстий, покрытие платы флюсом, лужение. И в завершении курсовой работы изучили опасные факторы при производстве печатных плат.

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
						38
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		

Список литературы:

- 1 <https://oessp.ru/articles/raznovidnosti-pechatnykh-plat/>
- 2 <https://electronicaplus.ru/blog/76-osnovnye-etapy-proektirovaniya-pechatnykh-plat>
- 3 <https://almaz-sp.su/pechatnye-platy/programmy-dlja-proektirovaniya-pechatnykh-plat/>
- 4 <https://www.qrz.ru/schemes/contribute/technology/plata1.phtml>
- 5 <https://www.all-impex.ru/reviews/proizvodstvo-pechatnykh-plat/>
- 6 <https://www.rezonit.ru/directory/baza-znaniy/tekhnologiya-proizvodstva-pechatnykh-plat/bazovye-materialy-dlya-proizvodstva-pechatnykh-plat/>
- 7 [https://studbooks.net/2360455/tehnika/analiz\\_opasnyh\\_vrednyh\\_proizvodstvennyh\\_faktorov](https://studbooks.net/2360455/tehnika/analiz_opasnyh_vrednyh_proizvodstvennyh_faktorov)

					ЭО 11.02.16 0012 КР	Лист
Из	Лис	№ докум.	Подпис	Дата		38