

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный**  
**университет им. Н.И. Лобачевского»**  
**Балахнинский филиал**

УТВЕРЖДАЮ  
Директор Балахнинского филиала ННГУ  
\_\_\_\_\_ А.А.Чечерин  
«01» \_\_\_\_\_ 20 17 г.



**Методические указания**  
**для студентов по выполнению курсового проекта по междисциплинарному курсу**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ**

Направление подготовки (специальность)  
**09.02.01 КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ**

Уровень (ступень) образования  
**СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ (БАЗОВАЯ ПОДГОТОВКА)**

Квалификация выпускника  
**ТЕХНИК ПО КОМПЬЮТЕРНЫМ СИСТЕМАМ**

Форма обучения  
**ОЧНАЯ**

Балахна  
2017

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания предназначены для студентов специальности 09.02.01 «Компьютерные сети и комплексы» для выполнения курсового проекта по МДК 01.02 Проектирование цифровых устройств

Методические указания направлены на формирование умений, знаний, общих и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями к результатам освоения программы подготовки специалистов среднего звена ФГОС СПО по специальности 09.02.01 «Компьютерные сети и комплексы» и рабочей программы по МДК 01.02 Проектирование цифровых устройств

Курсовой проект - важнейший этап учебного процесса, способствующий подготовке специалистов.

Выполнение курсового проекта является одной из форм самостоятельной работы студентов.

Цель курсового проекта - расширение и закрепление теоретических знаний и аналитических способностей студентов, приобретение ими практических - навыков работы литературными источниками, формирование у студентов умений проектировать устройства вычислительной техники.

В курсовом проекте разрабатываются следующие разделы:

### Введение

Дается материал о перспективах развития электронной промышленности, формирования и развитии производства печатных плат в стране, путях повышения эффективности автоматизации производства.

### 1 Изучение и анализ технического задания на изделие

Анализируется назначение и область применения устройства, условия эксплуатации, электрическая принципиальная схема.

### 2. Выбор варианта технологического процесса изготовления изделия

Для изготовления изделия применяются различные процессы, которые различаются методами изготовления печатных плат. В данном разделе производится выбор процесса в соответствии с методом изготовления печатной платы и его описание последовательности выполнения операций.

### 3. Выбор и обоснование применяемых материалов

В данном разделе производится описание материалов используемых для изготовления основания печатной платы. Дается сравнительная характеристика параметров материалов, производится выбор материала основания с учетом воздействия механических нагрузок, климатических факторов и химически агрессивных сред в процессе производства и эксплуатации. Технологический процесс изготовления предусматривает применение вспомогательных материалов, которые так же выбираются исходя из характеристик, а так же требований конструкции и технологическим процессом изготовления.

### 4. Технологический процесс изготовления печатной платы

В данном разделе приводятся типы конструкций печатных плат, описывается выбор одного из типов с учетом различных характеристик. Затем осуществляется выбор и описание метода изготовления печатной платы. Выбор метода изготовления зависит от типа конструкции, класса точности печатной платы, элементной базы и конструктивной сложности.

### 5. Анализ технологичности изделия

В данном разделе производится расчет степени технологичности изделия. Главными факторами, определяющими требования к технологичности конструкции изделия, являются: вид изделия, который определяет его главные конструктивно-технологические признаки; объем выпуска и тип производства, характеризующие степень технологичности оснащения, механизации и автоматизации, технологических процессов

### 6. Расчет элементов проводящего рисунка ПП

При разработке конструкции ПП должны учитываться размеры элементов проводящего рисунка (длина, ширина, толщина проводников, размеры контактных площадок и пр.), и их взаимное расположение (например, расстояние между ними), так как они связаны с электрическими параметрами электрической принципиальной схемы (током, напряжением, частотой и др.), а также с электрическими параметрами ПП.

## 7. Комплект документов.

Типовой технологический процесс разрабатывается на основе ОСТ 107.460092.004.01–79 “Платы печатные. Общие технические условия”, с доработкой операций в соответствии с конкретной печатной платой:

При оформлении пояснительной записки следует строго соблюдать требования государственных стандартов ЕСКД.

Защита курсового проекта имеет цель выявить знания студентов по данной дисциплине. Она включает в себя беседу со студентами по теоретическим и практическим вопросам и ответы на замечания, содержащиеся в отзыве руководителя на полях работы. По итогам работы выставляется оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).

«Отлично» - курсовой проект соответствует всем требованиям и выполнен самостоятельно. Проект не содержит серьезных противоречий или искажений, изложен логически и последовательно, сделаны обобщения и выводы.

«Хорошо» - проект написан самостоятельно, тема раскрыта, материал изложен логично. Однако имеется ряд недостатков, например, недостаточно полно раскрыто содержание одного из разделов. Недостатком может быть совсем ненадлежащее оформление, несколько непоследовательная подача материала, недостаточное количество иллюстративного материала или отсутствие самых последних данных.

«Удовлетворительно» - тема в целом раскрыта, хотя недостаточно полно, работа содержит все необходимые элементы, написана относительно последовательно и логично. Недостатки: мало первоисточников или слабо раскрыт один из разделов. При этом работа может иметь только один серьезный недостаток, в целом же раскрывает суть изучаемого вопроса, содержит необходимые выводы.

«Неудовлетворительно» - тема нераскрыта, работа имеет несколько серьезных недостатков. Неудовлетворительно оценивается также проект, написан самостоятельно.

## **1 Изучение и анализ технического задания на изделие**

При изучении ТЗ на изделие необходимо проанализировать:

- назначение и область применения или объект установки ЭА, в состав которой входит разрабатываемая ПП;
- условия эксплуатации, влияние воздействующих на ЭА факторов и группу жесткости работы ЭА;
- назначение функционального узла (электронного модуля), в который входит ПП и способ ее крепления в модулях высокого конструктивного уровня;
- электрическую принципиальную схему функционального узла, его функциональную сложность; параметр, определяющий конструкцию ПП (быстродействие, чувствительность, мощность рассеиваемая, частота и т. д.), его элементную базу.

### **1.1 Назначение и объект установки ЭА**

Анализ назначения, применения и объекта установки ЭА необходим для определения ограничений и принципиальных возможностей конструирования, изготовления и эксплуатации ПП. Например, для бортовой ЭА существуют массогабаритные ограничения, ограничения на элементную базу, варианты установки ЭРИ и прочее, что требует применения соответствующих конструкций, материалов и методов изготовления ПП; высокое быстродействие ЭА требует применения материалов с низкой диэлектрической проницаемостью (порядка 3,5 и ниже) РІ соответствующих конструкций и методов изготовления ПП и т. д.

Печатные платы применяются:

- в ячейках (1-й уровень модульности);
- в электромонтажных панелях — кросс-платах или объединительных ПП (2-й уровень модульности);
- в гибридно-интегральных модулях;
- в микросборках;
- в многокристальных кристаллодержателях и пр.

По результатам анализа назначения объекта установки ЭА необходимо определить:

- для какого уровня модульности конструкции будет разрабатываться ПП;
- унифицированная конструкция ЭА (ПП) или нет;
- какие требования предъявляются к ЭА данной группы.

Различают три класса ЭА по объекту установки: наземная, морская и бортовая. В каждом классе различают специализированные группы в зависимости от объекта установки. Конструкция ЭА различного назначения, устанавливаемой на различные объекты, имеют особенности, вытекающие из специфики назначения и условий эксплуатации.

*Класс наземной ЭА* включает в себя следующие группы: стационарная, возимая, носимая и бытовая ЭА.

Группа ЭА обуславливает уровень внешних воздействий, конструкторско-технологические ограничения в соответствии со стандартами: типоразмеры модулей и ПП, конструкцию модулей, способ закрепления в модулях более высокого конструктивного уровня и пр.

Для стационарной ЭА характерна работа в помещении с нормальными климатическими условиями: температурой  $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$ , относительной влажностью  $(65 \pm 15)\%$  (при  $30^\circ\text{C}$ ), атмосферным давлением  $(8,36 \dots 10,6) \cdot 10^4$  Па ( $630 \dots 800$  мм рт. ст.), воздух без химических примесей и пыли, отсутствие механических перегрузок во время работы; подверженность механическим воздействиям в нерабочем состоянии при транспортировке.

Для возимой ЭА характерна работа в условиях вибраций, ударов, абразивной пыли, избыточной влажности. Она должна иметь ограниченные габариты и массу, обеспечивать простоту и

надежность электрических соединений, устойчивость к ударам и вибрациям, к возникновению инея и росы, а также ограниченную мощность рассеяния.

Для носимой ЭА требование миниатюризации является наиболее актуальным. Минимальные габариты и масса, зависимость конструкции от габаритов и массы источников питания, устойчивость к случайным значительным ударам, изменению температур, к конденсации росы, воздействию инея, дождя, пыли — основные требования к такой ЭА.

Основными требованиями к бытовой ЭА являются: повышение технологичности конструкции с целью снижения стоимости, снижение габаритов и массы, модульный принцип конструирования, простота эксплуатации, массовый характер производства.

Для класса морской ЭА характерна 100%-ная влажность при повышенной температуре и солевом тумане, при непрерывной вибрации от двигателей, ударных перегрузках, линейных ускорениях, акустических, магнитных и радиационных воздействиях. Морская ЭА должна разрабатываться в тропическом исполнении, предусматривать коррозионную стойкость, плеснестойкость, водо- и брызгозащищенность, защищенностью от высокочастотных и низкочастотных электромагнитных полей, обладать высоким уровнем типизации.

Класс бортовой ЭА включает в себя группы самолетной, космической и ракетной техники. Особенности этой аппаратуры является постоянный рост функциональной сложности при минимальных габаритах и массе, работа в условиях разреженной атмосферы.

Самолетная ЭА кроме указанных особенностей испытывает значительные вибрационные, ударные и линейные перегрузки, воздействие перепадов температур, тепловых ударов, если она расположена вне гермоотсеков. Она характеризуется кратковременностью непрерывной работы, измеряемой часами и длительной предполетной проверкой, поэтому к ней предъявляется требование высокой контролепригодности и ремонтпригодности конструкции.

К космической и ракетной ЭА, помимо общих требований к бортовому классу, предъявляются дополнительные требования особой ограниченности объема и массы, защиты от совместного действия вибрационных и линейных нагрузок во время старта, чрезвычайно высокой безотказности, высокой ремонтпригодности в предстартовый период, учет специфики больших высот.

В табл. 1 приведены основные требования к ЭА по группам, в зависимости от объекта установки.

Таблица 1 Основные требования к ЭА по группам

Группа ЭА	Требования к ЭА												
	виброустойчивость	удароустойчивость	устойчивость к повышенной температуре	Г Устойчивость к пониженной температуре	устойчивость к изменению температуры	влагоустойчивость	устойчивость к возникновению инея и росы	устойчивость к абразивной пыли	устойчивость к солевому туману	минимальная рас-сеиваемая мощность	минимальная стоимость	плеснестойкость	специфичные требования
Стационарная	+	+	+	+									
Возимая	+	+	+	+	+	+	+	+		+			
Носимая		+			+	+	+	+					
Бытовая											+		
Морская		+	+		+	+						+	
Самолетная	+	+	+	+	+								
Ракетная и космическая	+	+	+	+									Высотность

Примечание. Знаком «+» обозначены необходимые требования.

Под требованием «высотность» имеются в виду космические воздействия при эксплуатации ЭА, которые характеризуются совокупностью следующих параметров: электромагнитных и корпускулярных излучений, глубокого вакуума, лучистых тепловых потоков, невесомости, метеорных частиц, магнитных и гравитационных полей планет и звезд и других факторов.

## 1.2 Условия эксплуатации ЭА

В зависимости от условий эксплуатации по ГОСТ 23752—79 определяют группу жесткости, которая предъявляет соответствующие требования к конструкции ПП, к материалу основания и необходимости применения дополнительной защиты от внешних воздействий (климатических, механических и др.) и записывают в технические требования чертежа ПП. При анализе условий эксплуатации ЭА и влияния дестабилизирующих факторов необходимо определить:

- какие дестабилизирующие факторы влияют на ЭА данной группы;
- какие деградиационные процессы в ПП они вызывают;
- какие необходимо применить способы защиты ПП от этого влияния. Под влиянием де-

стабилизирующих факторов в ПП протекают сложные физико-механические процессы изменяющие физико-механические (расширение, размягчение, обезгаживание, деформация: коробление, прогиб, скручивание ПП) и электрофизические свойства материала основания ПП (электропроводность, нагрузочная способность печатных проводников по току, диэлектрические свойства и т. д.) и вызывающие отказы ЭА. Поэтому при конструировании ПП необходимо располагать допустимыми значениями воздействующих факторов, знать характер изменения различных свойств материалов ПП и обеспечить защиту ПП от влияния дестабилизирующих факторов.

В таблице 2 приведены обобщенные значения механических воздействующих факторов в зависимости от класса ЭА

Таблица 2 Обобщенные значения механических воздействующих факторов по классам ЭА

Воздействующий фактор	Класс ЭА		
	Наземная	Морская	Бортовая
Вибрация: частота, Гц ускорение, g	10...70 1...4	0...120 1,5...2	5...2000 До 20
Многократные удары: ускорение, g длительность, мс	10...15 5...10	15 5...10	6...12 До 15
Одиночные удары: ускорение, g длительность, мс	50., 1000 0,5...10	До 1000 0,5...2	- -
Линейное ускорение, g	2...5	—	4...10
Акустические шумы: уровень, дБ частота, Гц	85...125 50...1000	75...140 50...1000	130... 150 50...1000

Влияние дестабилизирующих факторов на ПП и способы предотвращения их влияния на этапах конструирования и производства ПП представлено в таблице 3.

Таблица 3 Влияние дестабилизирующих факторов на ПП

Воздействующий фактор	Ускоряемые деградационные процессы в ПП	Способы предотвращения влияния воздействующих факторов на этапе конструирования и производства ПП
Высокая температура	Расширение, размягчение, обезгаживание, деформация ПП: коробление, прогиб, скручивание	1. Применение нагревостойких материалов. 2. Выбор минимальных размеров ПП. 3. Выбор материалов ПП с близким ТКЛР в продольном и поперечном направлении и с медью
	Уменьшение электропроводности, нагрузочной способности проводников по току, ухудшение диэлектрических свойств	1. Увеличение ширины и толщины проводников 2. Применение материалов с низкими диэлектрическими потерями
	Перегрев концевых контактов ПП, увеличение их переходного сопротивления	Выбор гальванического покрытия со стабильными переходными сопротивлениями при нагреве
	Высыхание и растрескивание защитных покрытий	Выбор покрытия, устойчивого к высокой температуре
Тепловой удар	Механические напряжения в местах контактирования материалов с разными ТКЛР (основание ПП — проводники, места пайки)	1. Выбор материала ЛП с ТКЛР, близкими к меди. 2. Предварительная оценка механических напряжений, вызванных температурными колебаниями
Высокая относительная влажность	Адсорбция и сорбция паров воды материалов ПП — увеличение тангенса угла диэлектрических потерь, токов утечки по поверхности, снижение поверхностного сопротивления, электрической прочности, сопротивления изоляции, а также набухание материала ПП, уменьшение адгезии проводников к диэлектрику; коррозия проводников и металлизированных отверстий; повреждение лакокрасочных покрытий	1. Выбор влагостойких (характеризуются степенью гигроскопичности) и водостойких (характеризуются водопоглощаемостью) материалов ПП. 2. Применение защитных лакокрасочных покрытий. 3. Герметизация ячеек
Низкая температура	Уменьшение электропроводности, нагрузочной способности по току, ухудшение диэлектрических свойств вследствие конденсации влаги, деформация, сжатие, хрупкость; электрохимическая коррозия проводников	1. Увеличение ширины и толщины проводников. 2. Выбор материалов ПП, устойчивых к низким температурам
Низкое атмосферное давление	Снижение пробивного напряжения и емкости между соседними проводниками. Ухудшение условий теплообмена — перегрев, снижение нагрузочной способности проводников по току, тепловой пробой	1. Выбор материала ПП с хорошими диэлектрическими свойствами. 2. Увеличение расстояния между проводниками. 3. Увеличение ширины и толщины проводников
	Увеличение габаритных размеров ПП, обезгаживание, уменьшение механической прочности	Выбор материала ПП
Песок и пыль	Абразивный износ, в том числе контактов ПП	Герметизация
	Увеличение емкости проводников в результате увеличения диэлектрической проницаемости материалов ПП	1. Выбор материала ПП с хорошими диэлектрическими свойствами. 2. Увеличение ширины и толщины проводников и расстояния между ними
	Химическое и электрохимическое разрушение ПП совместно с влагой	Герметизация

Солнечная радиация	Разрушение поверхности диэлектрика ПП. Уменьшение поверхностной электрической прочности, диэлектрической проницаемости и других параметров совместно с влагой. Ускоренное старение материалов под действием температуры	1. Герметизация. 2. Выбор материала ПП
Соляной туман	Коррозия проводников (износ, потеря механической прочности, изменение механических свойств)	Герметизация
Вибрации	Механические напряжения, вызывающие деформацию или потерю механической прочности ПП; усталостные изменения ПП (разрушение); нарушение электрических контактов	1. Отстройка ПП от резонанса для выхода низшего значения собственной частоты $f_0$ из спектра частот внешних воздействий: а) путем выбора длины, ширины и толщины ПП; б) изменением суммарной массы установленных на ПП ЭРИ; в) выбором материала основания ПП; г) выбором способа закрепления сторон ПП в модулях более высокого конструктивного уровня. 2. Повышение механической прочности и жесткости ПП: а) приклеиванием ЭРИ к установочным поверхностям ПП; б) покрытием лаком ПП вместе с ЭРИ; в) заливкой компаундами; г) увеличением площади опорных поверхностей; д) использованием материалов с высокими демпфирующими свойствами; е) демпфирующие покрытия; ж) ребра жесткости, амортизация и др.
Удары, линейное ускорение	Механические напряжения (разрушение ПП)	Повышение механической прочности и жесткости ПП (см. «Вибрации»)
Плесневые грибы	Снижение удельных поверхностного и объемного сопротивления материала ПП, напряжения пробоя, увеличение тангенса угла диэлектрических потерь; разрушение и отслаивание лакокрасочных покрытий. Нарушение адгезии материалов. Коррозия металлов. Снижение прочности стеклопластиков на 20...30 %. Короткие замыкания между проводниками ПП. Разрушение низкомолекулярных соединений (пластификаторов, стабилизатора, наполнителя и др.)	1. Применение горячих операций на начальных стадиях ТП. 2. Аэрация воздуха в производственных помещениях. 3. Чистота рук рабочих. 4. Обработка ПП продуктами метаболизма снижает в 10—12 раз тангенс угла диэлектрических потерь. 5. Применение материалов со специальными свойствами, которые лежат за адаптивными возможностями живых организмов

Проанализировав влияние дестабилизирующих факторов, разработчик ПП должен располагать не только допустимыми значениями воздействующих факторов, при которых гарантируется надежная работа ЭА, но и наиболее полной информацией об изменении характеристик ПП при воздействии этих факторов.



### 1.3 Анализ электрической принципиальной схемы функционального узла

Анализ электрической принципиальной схемы проводят с точки зрения возможностей конструктивного исполнения или компоновки с учетом ограничений (тепловых, электрических, магнитных и электромагнитных взаимовлияний ЭРИ).

По результатам анализа электрической принципиальной схемы функционального узла (ФУ) и элементной базы определяют:

- конструкторскую сложность ФУ (насыщенность ПП ЭРИ);
- параметр, определяющий конструкцию ПП (быстродействие, рассеиваемая мощность, частота и т. д.);
- конструкцию ПП (ориентировочно);
- форму монтажных отверстий;
- форму контактных площадок (КП);
- шаг координатной сетки.

Для решения компоновочных задач модуля 1-го уровня необходим анализ электрической принципиальной схемы для определения схемотехнических особенностей, которые могут повлиять на компоновку ячейки и конструкцию ПП.

При анализе электрической принципиальной схемы необходимо определить:

1) назначение функционального узла (цифровой, аналоговый, аналого-цифровой, выполняемые функции), а также принцип работы. Например, аналоговая аппаратура обычно конструируется в виде линейки последовательных каскадов с минимальной длиной межкаскадных связей, и в ней не применяется максимально плотная компоновка ЭРИ для исключения самовозбуждения схемы, что также находит отражение в конструкции ПП (вытянутая форма ПП), в плотности печатного монтажа (невысокая), классе точности ПП, материале, методе изготовления ПП; изучение особенностей функционирования определяет связь разрабатываемого модуля и ПП с другими модулями;

2) параметры, влияющие и усложняющие компоновку ЭРИ, конструкцию модуля и ПП. К ним относятся:

- диапазон рабочих частот — знание частотных характеристик позволяет, исходя из требований электромагнитной совместимости, определить ограничения на взаимное расположение элементов линий связи и компонентов, выбрать соответствующий материал основания ПП; например, для низкочастотных схем — стеклотекстолит; для высокочастотных — фторопласт, полиимид и др.;

- быстродействие — требования по быстродействию в цифровой ЭА обеспечиваются правильным выбором материала оснований ПП, так как скорость распространения сигналов в электронных схемах обратно пропорциональна диэлектрической проницаемости материалов, из которых изготовлены ПП; компоновкой ячейки, размещением компонентов вдоль проводников питания; минимизацией длины линий связи, увеличением числа слоев МПП и плотности проводящего рисунка;

- высокая рассеиваемая мощность;
- коэффициент усиления;
- ширина полосы пропускания;
- высокая чувствительность;
- величины действующих напряжений и токов — для правильного выбора материала основания ПП, ее конструкции, класса точности ПП (ширины проводников и расстояния между проводниками, так как допустимое рабочее напряжение между двумя параллельными зависит от расстояния между ними, материала и условий эксплуатации. Например, при *пониженном* атмосферном давлении, высокой влажности и повышенной температуре величина допустимого рабочего

напряжения между проводниками снижается в 2—4 раза); минимально допустимая ширина проводника связана непосредственно с протекающими по ним токами, поэтому необходимо определить все силовоточные цепи, рассчитать величину тока и выбрать впоследствии такую ширину проводника, чтобы плотность тока не превышала 30 А/мм<sup>2</sup>;

3) все типы электрических цепей, так как каждая имеет свои конструктивные особенности:

- цепи входа к выхода сигналов — входные и выходные печатные проводники не должны прокладываться рядом или параллельно друг другу, чтобы избежать возникновения паразитных обратных связей. С этой же целью проводники входных и выходных цепей, сведенных в систему для подсоединения к краевому соединителю, целесообразно разделить экранирующими проводниками или «земляными» выходами;

- шины «земля» и «питание» должны иметь возможно более низкое сопротивление и использовать крайние контакты соединителей, а шину «земля», по которой текут суммарные токи, следует выполнять максимальной ширины; в МПП шины «земля» и «питание» должны находиться в разных, соседних слоях одна над другой, при этом желательно, чтобы шина «земля» занимала в слое все свободное место;

- сигнальные цепи — принять меры для исключения возникновения паразитных помех в результате эффектов отражения в сигнальных линиях связи в результате несогласованных нагрузок и неоднородностей, перекрестных наводок между сигнальными линиями связи, искажения формы сигнала в линиях связи, наводок от внешних полей, которые в значительной степени зависят от формы, длины, взаимного расположения проводников (например, печатный проводник, проходящий между двумя контактными площадками должен располагаться так, чтобы его ось была перпендикулярна линии, соединяющей центры отверстий и т. п.);

- цепи импульсных и высокочастотных сигналов — обеспечить развязку по высоким частотам;

4) путь распространения полезного сигнала — так как при размещении компонентов, например, усилительных устройств, как правило, порядок размещения компонентов соответствует последовательности прохождения сигнала в электрической принципиальной схеме;

5) теплонагруженные ЭРИ, при этом:

- рассчитывают величину тока в каждой цепи;
- рассчитывают рассеиваемую ЭРИ мощность; для ИМС значение рассеиваемой мощности берется из справочника, (в справочниках указывают максимально допустимую, а мощность рассеиваемая при эксплуатации составляет обычно 50...80 % максимальной; для диодов и стабилитронов — рассчитывают, как произведение максимального тока через диод на падение напряжения на *p-n*-переходе; для трансформаторов — 3...5 % полезной мощности;

- наиболее теплонагруженные ЭРИ равномерно размещают по ПП или по периферии ПП, выбирая соответствующий вариант установки ЭРИ на ПП;

6) ЭРИ, чувствительные к внешним электрическим, тепловым и другим взаимодействиям; выделяют наиболее критичные по электромагнитной совместимости ЭРИ и электромонтажные связи для установки экранов, развязывающих цепей и пр. Наибольшую опасность составляют емкостные и индуктивные помехи.

Емкостные помехи обусловлены:

- большими перепадами напряжений;
- большими выходными сопротивлениями;
- большой емкостной связью (при параллельном расположении проводников).

Индуктивные помехи обусловлены:

- большими перепадами токов в линиях связи {при малых  $R_{\text{вых}}$ };

- 7) пути возможных паразитных связей и наводок за счет гальванической связи элементов схемы, через общее сопротивление источника электропитания, индуктивных и емкостных;
- 8) допустимые уровни напряжений и токов, сигнала помехи на входах ИЭТ;
- 9) напряжение и силу тока источников электропитания;
- 10) уровни логических нулей и единиц в цифровых ФУ.

Таблица 4 Результаты анализа электрической принципиальной схемы

	Максимальная частота
	Напряжение, В
	Сила тока, А
	Быстродействие, с
	Уровни логической «1»
	Уровни логического «0»
	Цепь
	Входная
	Выходная
	Земля
	Питание
	Высокочастотная
	Импульсных сигналов
	Теплонагруженные ЭРИ
	Критичные к нагреву
	Критичные к воздействию электрического поля

## 1.4. Анализ элементной базы

- совместимость ИМС, ЭРЭ и ПМК по электрическим, конструктивным, электромагнитным, тепловым и другим параметрам, а также по условиям эксплуатации;
- совместимость ЭРИ и ПМК по надежности;
- соответствие ЭРИ и ПМК условиям эксплуатации, хранения, транспортировки, указанным в ТЗ на ЭА.

По результатам анализа элементной базы заполняют таблицу 5 и делают выводы, указанные выше.

[illegible]

Определяют также конструкторскую сложность ФУ (малая, средняя и высокая насыщенность поверхности ПП), которую оценивают числом схемных или активных элементов, числом выводов ПМК и связывают с выбором типа, конструкции и класса точности ПП.

Шаг координатной сетки является основной конструктивной характеристикой ПП, которая характеризует плотность печатного монтажа; к нему привязаны все элементы конструкции ПП (контактные площадки, проводники, отверстия и т. д.), а также ЭРИ и ПМК. Шаг координатной сетки выбирают таким образом, чтобы он соответствовал шагу расположения выводов большинства ЭРИ и ПМК, устанавливаемых на ПП.

Форма и размеры монтажных отверстий и контактных площадок зависят от геометрии выводов ЭРИ: круглые отверстия и контактные площадки применяются для штыревых, прямоугольные или квадратные контактные площадки — для планарных выводов или ПМК.

По конструктивному оформлению ИЭТ, ЭРЭ и ПМК различают:

- корпусные с планарными выводами, лежащими в плоскости основания корпуса, с осевыми (отформованными) и штыревыми, перпендикулярными ему (традиционная элементная база);
- корпусные без выводов, с укороченными планарными или j-образными выводами, уходящими под корпус; в виде матрицы шариковых выводов из припоя и пр.; их называют микрокорпуса или поверхностно-монтируемые компоненты (ПМК);
- бескорпусные ИЭТ.

Планарные выводы имеют прямоугольное сечение, штыревые — круглое или прямоугольное.

Корпуса ИЭТ выполняют следующие функции:

- защита от климатических и механических воздействий;
- экранирование от помех;
- унификация микросхемы по габаритам и установочным размерам;
- облегчение процессов сборки ячейки и др.

Корпуса с планарными выводами занимают в два раза больше площади на ГШ по сравнению с корпусами со штыревыми выводами, но установка последних возможна лишь с одной стороны, а корпуса с планарными выводами — с двух сторон. При установке ИЭТ со штыревыми выводами не требуется дополнительного крепления даже при значительных вибрациях и ударах, однако применение, например, DIP-корпуса ограничивается частотой 500 кГц.

По конструктивно-технологическому признаку различают корпуса:

- металлостеклянные — стеклянное или металлическое основание, соединенное с металлической крышкой с помощью сварки; выводы изолированы стеклом;
- металлокерамические — керамическое основание, соединенное с металлической крышкой с помощью сварки или пайки;
- керамические — керамическое основание и крышка, соединенные между собой пайкой;
- пластмассовые — пластмассовое основание и крышка, соединенные опрессовкой;
- металлополимерные — подложка с компонентами и выводами помещается в металлическую крышку и герметизируется заливкой компаундом. Металлическая крышка обеспечивает эффективную влагозащиту, отвод тепла от кристалла ИЭТ, снижает уровень помех.

При выборе серии интегральной микросхемы (ИМС) и ИМС в серии необходимо использовать минимальное количество типоразмеров корпусов для реализации электрической принципиальной схемы ФУ.

Использование корпусных ИМС приводит к большим затратам полезного объема и массы изделия, уменьшает на один-два порядка плотность компоновки компонентов по сравнению с плотностью их размещения в кристалле или на подложке.

Бескорпусные ИЭТ широко применяются в бортовой ЭА, компьютерах, калькуляторах и другой аппаратуре, так как позволяют эффективно использовать объем и сократить массу микроэлектронных цифровых устройств. Однако при этом в значительной степени увеличивается трудоемкость изготовления за счет введения дополнительной защиты и герметизации и, следовательно, стоимость.

Микрокорпуса или ПМК позволяют увеличить плотность компоновки, улучшить электрические параметры за счет получения более коротких связей между внешними выводами и кристаллом, снижения сопротивления, уменьшения межвыводной емкости, индуктивности, что повышает быстродействие. Эти корпуса обеспечивают работоспособность ИЭТ на частотах до 4 ГГц и выше

## 2. Выбор варианта технологического процесса изготовления изделия

Варианты технологического процесса различаются методами изготовления печатной платы (операция 2). Рассмотрим для примера различные варианты:

а) Типовой процесс изготовления изделия с комбинированным методом изготовления печатных плат

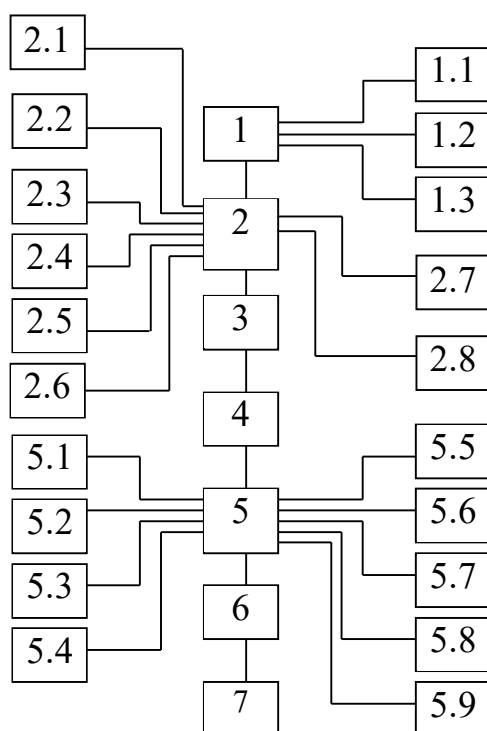


Рисунок 1 Схема технологического изготовления изделия комбинированным методом

Описание технологического процесса:

1). Подготовка производства.

Включает в себя следующие технологические операции:

- 1.1. Закупка элементов, входящих в состав печатной платы;
- 1.2. Подготовка материала основания печатной платы;
- 1.3. Приготовление лаков, припоев, флюсов, промывочных растворов.

2). Изготовление двухсторонней печатной платы (ДПП) производится комбинированным методом на фольгированном стеклотекстолите с металлизированными отверстиями с применением сухого пленочного фоторезиста СПФ–ВЩ–2 ПО ОСТ 107.460.092.004.01–86.

Включает в себя следующие операции:

- 2.1. Входной контроль;
- 2.2. Механическая обработка печатной платы;
- 2.3. Предварительная металлизация;
- 2.4. Получение рисунка печатной платы;

- 2.5. Электрохимическая металлизация;
- 2.6. Удаление защитного рельефа;
- 2.7. Маркирование
- 2.8. Контроль.

Схема изготовления ДПП представлена таблицей 14

### 3). Внутренний монтаж.

Пайка резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов, производится автоматизированным методом групповой пайки, например волной припоя. При установке выводы деталей вставляются в отверстия печатной платы и закрепляются со стороны пайки подгибом.

### 4). Изготовление корпуса изделия.

Наиболее рациональной формой для многих изделий является прямоугольник. Учитывая требования к устройству, а также наличие на предприятии-изготовителе технологий и оснастки, в качестве основного материала, используемого для изготовления корпуса можно выбирать пластмассу. Выбор варианта конструкции осуществляется исходя из технических требований и условий производства.

### 5). Внешний монтаж.

Включает в себя следующие операции:

- 5.1. Комплектовочная;
- 5.2. Заготовительная;
- 5.3. Подготовка печатной платы к сборке;
- 5.4. Сборочная;
- 5.5. Контрольная;
- 5.6. Монтаж элементов на корпус;
- 5.7. Установка платы в корпус;
- 5.8. Контроль;
- 5.9. Закрытие корпуса крышкой.

### 6). Контроль.

Все контрольные операции осуществляются после каждой технологической операции. После окончания сборки изделия производится контроль правильности сборки изделия и испытание на воздействие климатических факторов окружающей среды.

### 7). Упаковка.

Разрезать полиэтиленовую пленку ножницами толщиной 0,1 мм. Допускается упаковывать в бумагу конденсаторную или кабельную. Сварить продольные и один поперечный швы. Швы должны располагаться на расстоянии 10 мм. от изделия. Обжать пакет для удаления воздуха пластинами из пенополиуретана толщиной 10 мм. Сварить поперечный шов. Контроль качества производится визуально на 100% упакованного изделия. Не допускаются не провары, прожоги, трещины, пористость в упаковке.

б) Технологический процесс изготовления с использованием электрохимического метода изготовления печатных плат

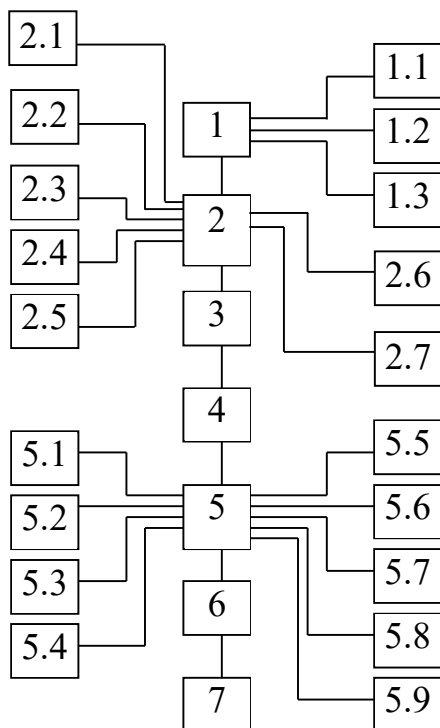


Рисунок 2 Схема технологического изготовления изделия электрохимическим методом

Описание технологического процесса:

1). Подготовка производства.

Включает в себя следующие технологические операции:

1.1. Закупка элементов, входящих в состав печатной платы;

1.2. Подготовка материала основания печатной платы;

1.3. Приготовление лаков, припоев, флюсов, промывочных растворов.

2). Изготовление двухсторонней печатной платы производится электрохимическим методом на фольгированном стеклотекстолите с металлизированными отверстиями с применением сухого пленочного фоторезиста СПФ–ВЦ–2 ПО ОСТ 107.460.092.004.01–86.

Включает в себя следующие операции:

2.1. Входной контроль;

2.2. Механическая обработка печатной платы;

2.3. Получение рисунка печатной платы;

2.4. Электрохимическое меднение;

2.5. Удаление защитного рельефа и травление подслоя алюминия;

2.6. Маркирование

2.7. Контроль.

Схема изготовления ДПП представлена таблицей 15

3). Внутренний монтаж.

Пайка резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов, производится автоматизированным методом групповой пайки. При установке выводы деталей вставляются в отверстия печатной платы и закрепляются со стороны пайки подгибом.

4). Изготовление корпуса изделия.

Наиболее рациональной формой для многих является прямоугольник. Учитывая требования к устройству, а также наличие на предприятии-изготовителе технологий и оснастки, в качестве основного материала, используемого для изготовления корпуса можно выбирать пластмассу.

Выбор варианта конструкции осуществляется исходя из технических требований и условий производства.

5). Внешний монтаж.

Включает в себя следующие операции:

- 5.1. Комплектовочная;
- 5.2. Заготовительная;
- 5.3. Подготовка печатной платы к сборке;
- 5.4. Сборочная;
- 5.5. Контрольная;
- 5.6. Монтаж элементов на корпус;
- 5.7. Установка платы в корпус;
- 5.8. Контроль;
- 5.9. Закрытие корпуса крышкой.

6). Контроль.

Все контрольные операции осуществляются после каждой технологической операции. После окончания сборки изделия производится контроль правильности сборки изделия и испытание на воздействие климатических факторов окружающей среды.

7). Упаковка.

Разрезать полиэтиленовую пленку ножницами толщиной 0,1 мм. Допускается упаковывать в бумагу конденсаторную или кабельную. Сварить продольные и один поперечный швы. Швы должны располагаться на расстоянии 10 мм. от изделия. Обжать пакет для удаления воздуха пластинами из пенополиуретана толщиной 10 мм. Сварить поперечный шов. Контроль качества производится визуально на 100% упакованного изделия. Не допускаются не провары, прожоги, трещины, пористость в упаковке

### 3. Выбор и обоснование применяемых материалов.

#### 3.1 Выбор для материала для основания печатных плат

В качестве материала основания ПП применяются слоистые диэлектрики, с одной или с двух сторон фольгированные медной фольгой, или нефольгированные диэлектрики рисунок 3.

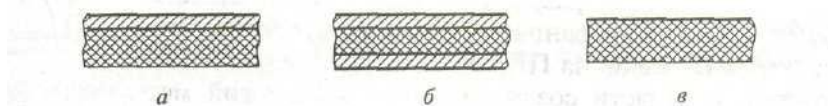


Рисунок 3 Базовые материалы ПП с одной (а), двух (б) сторон фольгированные и нефольгированные диэлектрики (в)

К фольгированным и нефольгированным диэлектрикам предъявляются следующие требования:

- высокие поверхностное, Ом, и удельное объемное сопротивление, Ом·м, характеризующие величину тока утечки;
- высокая электрическая прочность изоляции, определяемая напряжением постоянного тока, при котором происходит пробой;
- низкие значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь — для передачи высокочастотных сигналов и снижения тепловыделения, обусловленного диэлектрическими потерями;
- стабильность электрических характеристик при повышенной влажности и температуре;
- высокая механическая прочность: предел прочности при растяжении, при изгибе, которые зависят от типа используемой смолы и снижаются при повышении температуры;
- стабильность линейных размеров по осям X, Y и Z при повышенной температуре, зависящая от температуры стеклования  $T_g$ , теплоустойчивости и теплопроводности базового материала;



ла. Требование высокой температуры стеклования  $T_g$  (до 290 °С в перспективе, рассчитанная на рабочую температуру до 280°С) связано с тем, что при нагреве, например, при пайке, происходит значительное расширение стеклопластиков, эпоксидной смолы и других полимеров по оси  $Z$  интенсивность которого особенно возрастает при превышении температуры стеклования данного материала, что может привести к расслаиванию диэлектрика и разрыву металлизации в отверстиях ПП, так как металл имеет малое расширение по оси  $Z$ . Поэтому при высокой температуре стеклования  $T_g$  процесс расширения материала ПП сдвигается в область более высоких температур, желательно, превышающих температуру пайки;

- высокая теплоустойчивость, которая зависит от типа наполнителя и состава смолы.

Данное требование связано с тем, что

1) необходима повышенная устойчивость к воздействию теплового удара, например, при пайке ЭРИ и ПМК к ПП, при котором температура пайки достигает значений деструкции диэлектрика, и может происходить выход газов, порообразование, коробление и пр.;

2) в результате воздействия высоких температур в процессе сверления отверстий возможен разогрев диэлектрика, вытекание и наволакивание смолы на стенки отверстий, препятствующее металлизации отверстий в дальнейшем;

3) высокая рабочая температура может привести к расслоению стеклоткани и смолы, отслаиванию фольги, образованию пузырей под фольгой и к тому, что характеристики материала не будут удовлетворять требованиям эксплуатации ЭА;

- хорошая механическая обрабатываемость при резке, фрезеровании, зачистке, сверлении и других операциях без образования сколов, трещин и расслоения диэлектрика;

- устойчивость к агрессивным средам (кислотам, щелочам, растворителям и пр.) в ТП изготовления ПП;

- хорошая прочность сцепления (адгезия) фольги с диэлектриком, которая зависит от материала фольги, способа ее получения (прокатка или электролитическое осаждение), состояния поверхности, температуры и времени выдержки при повышенной температуре и пр.;

- негорючесть — требование международных стандартов применения в ЭА только самозатухающих фольгированных диэлектриков;

- низкое водопоглощение для исключения расслоения диэлектрика особенно при нагреве;

- низкое значение ТКЛР, совместимое с ТКЛР выводов и корпусов ЭРИ; в случае, если ТКЛР диэлектрика значительно больше ТКЛР выводов и корпусов ЭРИ или ПМК, возникают значительные напряжения в местах пайки вследствие большого расширения диэлектрика основания ПП по осям  $X$ ,  $Y$  и малого расширения по тем же осям подложки ЭРИ;

- плоскостность (особенно необходимая для установки ПМК);

- низкая стоимость и др.

Фольгированные диэлектрики применяют в субтрактивных методах изготовления ПП, нефольгированные — в аддитивном и полуаддитивном.

Фольгированные диэлектрики, применяемые в качестве основания ПП в субтрактивных методах, являются композиционными материалами и состоят из армирующего наполнителя, синтетического связующего вещества и медной, алюминиевой или резистивной фольги. Наиболее широко в настоящее время применяются гетинакс, стеклотекстолит, полиимид и др.

Гетинакс фольгированный состоит из спрессованных слоев электроизоляционной бумаги (армирующего наполнителя), пропитанных фенольной или эпоксифенольной смолой в качестве связующего вещества, облицованных с одной или двух сторон медной фольгой (например, запись ГФ-1 или ГФ-2 обозначает гетинакс фольгированный односторонний или двухсторонний).

Стеклотекстолит фольгированный представляет собой спрессованные слои стеклоткани, пропитанные эпоксифенольной или эпоксидной смолой (например, запись СФ-1 или СФ-2 обозначает стеклотекстолит фольгированный односторонний или двухсторонний, соответственно).

Большое значение при изготовлении ПП имеет процентное соотношение между стекловолокном и смолой в диэлектрике, так как оно влияет на качество выполнения целого ряда операций, например, таких как:

- сверление монтажных и переходных отверстий — чем больше стекловолокна (абразива), тем быстрее изнашивается сверло;
- подтравливание диэлектрика в отверстиях МПП — чем больше смолы, тем легче подтравливать;
- прессование МПП, так как выбор режимов прессования (давление и время его приложения) зависят от времени желатинизации смолы (определяется экспериментально для каждой партии материала);
- металлизация монтажных или переходных отверстий — чем больше стекловолокна, тем больше торцов стекловолокна выходит в отверстия ПП, поверхность которых достаточно сложно подготовить химическим способом перед химическим осаждением меди в отверстия и, в результате могут появиться непрокрытые медью участки, что приводит к разрыву металлизации и электрических цепей.

По сравнению с гетинаксами стеклотекстолиты имеют лучшие механические и электрические характеристики, более высокую нагревостойкость, меньшее влагопоглощение. Однако им присущ целый ряд недостатков: невысокая нагревостойкость по сравнению с полиимидами, что способствует загрязнению смолой торцов контактных площадок (КП) внутренних слоев при сверлении отверстий; худшая механическая обрабатываемость; более высокая стоимость; существенное различие (примерно в 10 раз) ТКЛР меди и стеклотекстолита в направлении толщины материала, что может привести к разрыву металлизации в отверстиях при пайке или в процессе эксплуатации; различие в ТКЛР эпоксидной смолы и стекла примерно в 20 раз, что может привести к значительным внутренним напряжениям, к короблению ПП и усадке в зоне сверления отверстий.

Для изготовления ПП, способных обеспечить надежную передачу наносекундных импульсов, необходимо применять материалы с улучшенными диэлектрическими свойствами (уменьшенным значением диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь), что непосредственно связано с увеличением быстродействия, поскольку скорость распространения сигналов в проводниках обратно пропорциональна диэлектрической проницаемости материалов, из которых изготовлены основания ПП.

При выборе материала основания ПП необходимо обратить внимание на предполагаемые механические воздействия (вибрации, удары, линейное ускорение и т. п.); класс точности ПП (ширину проводников расстояние между ними); реализуемые электрические функции и требования к электрическим параметрам; объект, на который устанавливается ЭА и условия эксплуатации; быстродействие; стоимость и пр.

В наименовании марки материала буквы означают: С — стеклотекстолит; Т — теплоустойчивый; Н — негорючий или нормированной горючести; Ф — фольгированный; 1—2 — облицованный фольгой с одной или двух сторон; цифры 5, 9, 12, 18, 35, 50, 70, 100, 105 — толщину фольги в мкм.

В таблице 2 представлены марки материалов основания ПП, наиболее широко применяемые в настоящее время для изготовления ОПП, ДПП.

Для изготовления ПП, эксплуатируемых в условиях повышенной опасности возгорания, применяют огнестойкие гетинаксы и стеклотекстолиты марок ГОВ, ГОФВ, СОНФ, СТНФ.

Фольгированные стеклотекстолиты марок СТФ, СТФТ, СТАП и СТПА-5 обладают повышенной теплостойкостью, а СТАП и СТПА-5 применяют для изготовления ПП с повышенной плотностью печатного монтажа по пол у аддитивной технологии. В комплекте с материалами СТФ и СТАП применяют прокладочные стеклоткани (препреги) марок СТП-4 и СТП-СТАП.

Толщина медной фольги материалов, СОНФ, СОНФ-у, СЭТ и СЭТ-Н может быть 5, 18, 35, 50, 70 и 100 мкм.

Фольгированный стеклотекстолит СФВН обладает очень высокой теплостойкостью (рабочая температура — 280 °С, температура стеклования — 300 °С), низким ТКЛР, стабильностью линейных размеров, высокими поверхностным и удельным объемным сопротивлениями и применяется для ПП с повышенной плотностью печатного монтажа и МПП с числом слоев до 25.

Для печатных плат с металлизированными отверстиями применяют материалы с гальваностойкой фольгой.

Для изготовления ПП 1- и 2-й группы жесткости целесообразно применять материал на основе бумаги, для 3- и 4-й — на основе стеклоткани, полиимида и лавсана.

Материалы, имеющие фольгу толщиной 5 мкм, позволяют изготовить ПП 4- и 5-го классов точности и выше.

Таблица 6 Материалы для изготовления ОПП и ДПП

Материал	Марка	Толщина, мм	Материал	Марка	Толщина, мм
Гетинакс фольгированный	ГФ-1-35	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Диэлектрик фольгирован- ный общего назначения с гальваностойкой фольгой	ДФО-1 ДФО- 2 (фольга 35 мкм)	0,06; 0,08; 0,1; 0,13; 0,15; 0,20; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0
Гетинакс фольгированный с гальваностойкой фольгой	ГФ-1-35Г ГФ-2-35Г ГФ-1-50Г ГФ-2-50Г		Диэлектрик фольгирован- ный самозатухающий с гальваностойкой фольгой	ДФС-1 ДФС- 2 (фольга 20 мкм)	
Стеклотекстолит фольгиро- ванный	СФ-1-35 СФ-2-35 СФ-1-50 СФ-2-50 СФ-1-(2)-35 Г СФ-1-(2)-50 Г	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Стеклотекстолит фольги- рованный с повышенной нагревостойкостью	СФПН-1-50 СФПН-2-50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
То же с гальваностойкой фольгой			Стеклотекстолит фольги- рованный общего назначе- ния	СОНФ-1	0,13; 0,15; 0,2; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
				СОНФ-2	0,35; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0
				СОНФ-у	
Стеклотекстолит тепло- стойкий фольгированный с гальваностойкой фольгой	СТФ-1-35 СТФ-2-35 СТФ-1-18 СТФ-2-18	0,08; 0,1; 0,13; 0,2; 0,15; 0,3; 0,25; 0,5; 0,35; 0,8; 1,5; 2,5; 1; 2; 3	Гетинакс фольгированный общего назначения	ГОФ-1-35Г ГОФ-2-35Г	-
			Стеклотекстолит с двусто- ронним адгезионным сло- ем	СТЭК	1,0; 1,5; 2,0
Стеклотекстолит теплостой- кий негорючий фольгиро- ванный с гальваностойкой фольгой	СТНФ-1-35 СТНФ-2-35 СТНФ-1-18 СТНФ-2-18		Стеклотекстолит тепло- стойкий, армированный, алюминиевым протектором	СТПА-5-1 СТПА-5-2 (фольга 5 мкм)	0,1; 0,12; 0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0
Стеклотекстолит листовой	СТЭФ-1-2ЛК	1; 2	Стеклотекстолит с катали- затором	СТАМ	0,7...2,0
Стеклотекстолит электро- технический	СТЭФ-ВК-1- 1,5		Фольгированный армиро- ванный фторопласт	ФАФ-4Д (фольга 35 мкм)	-
То же	СТЭФ-1	0,3...1,5	Стеклотекстолит фольги- рованный общего назначе- ния с гальвано-стойкой фольгой	ФС	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Стеклотекстолит фольгиро- ванный общего назначения нормированной горючести модифицированный	СОНФМ-1-35 СОНФМ-2-35 СОНФМ-1-50 СОНФМ-2-50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Стеклотекстолит фольги- рованный теплостойкий нормированной горючести	СТФТС-1-35 СТФТС-2-35 СТФТС-1-50 СТФТС-2-50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Стеклотекстолит фольгиро- ванный теплостойкий	СТФТ-1-35 СТФТ-2-35 СТФТ-1-50 СТФТ-2-50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Стеклотекстолит тепло- стойкий фольгированный	СТАП-1-35 СТАП-2-35 СТАП-1-50 СТАП-2-50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Гетинакс фольгированный общего назначения влаго- стойкий	ГОФВМ-1 ГОФВМ-2	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Стеклотекстолит фольгиро- ванный алюминием	СФА-2-35	-
Стеклотекстолит фольгиро- ванный с высокой тепло- стойкостью	СФВН	-	Стеклотекстолит фольги- рованный	СЭТ СЭТ-Н	-

В таблице 7 приведены некоторые характеристики фольгированных диэлектриков, применяемых при изготовлении ПП.

Таблица 7. Основные характеристики материала основания ПП

Критерии оценки	ГФ-1 ГФ-2	СФ-1 СФ-2	СТНФ-1, 2 СТФ-1, 2	ФДМ-1, 2	ФАФ-4Д	СТПА-5 СТАП	Полиимид
Поверхностное сопротивление, Ом	$10^8^*$	$2 \cdot 10^{12}^{**}$	$1 \cdot 10^{12}^{**}$	$10^{14}$		$5 \cdot 10^{11}^{**}$	$10^{14}$
Удельное объемное сопротивление, Ом·м	$5 \cdot 10^7^*$	$1,4 \cdot 10^{13}^{**}$	$2 \cdot 10^{12}^{**}$	$9 \cdot 10^{11}$	$10 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{11}^{**}$	$10^{14}$
Диэлектрическая постоянная при 1 МГц (Er)	7,0 <sup>***</sup>	5,5 <sup>*</sup> 4,3 <sup>**</sup>	5,4 <sup>*</sup> 4,6 <sup>**</sup>	4,7	2,2	5,4 <sup>*</sup> 4,6 <sup>**</sup>	3,5
Тангенс угла диэлектрических потерь при f= 1 МГц <sup>*</sup>	0,07 <sup>*</sup>	0,035 0,014 <sup>**</sup>	0,03...0,035	0,024	0,0002	0,025 0,015 <sup>**</sup>	0,001-0,002
Сопротивление изоляции, МОм	$10^3$	$10^4$	$10^6$	$10^4$			
Электрическая прочность, МВ/м	15...30 <sup>***</sup>	15...35 <sup>***</sup>		15...35 <sup>***</sup>	25...250 <sup>***</sup>		30...200 <sup>***</sup>
Предел прочности при изгибе, Н/мм <sup>2</sup> :							
В продольном направлении	115	280		180			
Стойкость к воздействию ванны для пайки, °C/с	260/5	260/20	260/30	260/20		260/30	260/60
Водопоглощение, % мг, менее	2,9 60	0,3 6,4	0,20-0,25 15	1,5		15	2,9
Предел рабочих температур, °C	-60+85	-60+85	-60+105	-60+100	+ 113		-196+400
Горючесть в соответствии с UL94	-	-	V-0			-	
Прочность сцепления фольги с диэлектриком на полоске 3 мм, Н	2,7	3,0	4,5	3...3,6		3,6 <sup>****</sup>	2,6...3,9

\* После кондиционирования в условиях 96 ч/40 °C/93 % (96 ч; при температуре 40 °C; относительной влажности 93 %).

\*\* После кондиционирования в условиях 96 ч/40 °C/93 % + 1 ч/23 °C/75 %.

\*\*\* Верхние пределы указаны для тонких пленок.

\*\*\*\* После гальванической металлизации.

### 3.2 Выбор вспомогательных материалов

Технологический процесс изготовления предусматривает применение вспомогательных материалов.

а) Покрытие осуществляется лаком, применяемым для защиты от коррозии и придания радиоаппаратуре и ее деталям эстетического вида.

Применяются металлические, химические и лакокрасочные покрытия, по сравнению с другими, характеризуются удобством нанесения, меньшей стоимостью и в ряде случаев долговечностью. При выборе лака так же учитываются его характеристики и стоимость.

Для защиты монтажа печатной платы применяют лаки: УР–231, Э–4100. Параметры сравнения свойств лаков помещены в таблицах.

Таблица 8 – Сравнительные параметры лака УР–231 и Э–4100

Наименование показателей	УР–231	Э–4100
Электрическая прочность при $t=80^{\circ}\text{C}$ , В/мм	52	54
Тангенс угла диэлектрических потерь: при $F=1000$ Гц; в нормальных условиях; при $t=80^{\circ}\text{C}$	32,5 0,02 0,08	32 0,013 5,6
Влагопоглощаемость за 24 часа, %	—	1,2
Удельное объемное диэлектрическое сопротивление, ом·см: в нормальных условиях при $t=80^{\circ}\text{C}$	$7,8 \cdot 10^4$ $2,7 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^5$ $2 \cdot 10^7$
Диэлектрическая проницаемость, см: в нормальных условиях при $t=80^{\circ}\text{C}$	4,23 4,2	4,3 4,4

б) Для пайки применяется припой ПОС–61 ГОСТ 21931–76, состав которого: 61% олова и 39% свинца.

Для удаления пленки окислов с контактных площадок во время пайки, используется флюс ФКСп ГОСТ 2015–78, что позволяет получить более качественную пайку.

Промывка платы производится этиловым спиртом ГОСТ 18300–73. Для промывки также используется бязь, отбеленная ИРТ–255 ГОСТ 11680–78.

в) Прочие вспомогательные материалы

Таблица 9 - Вспомогательные материалы

Вода питьевая	ГОСТ 2874-82
Кислота соляная техническая	ТУ 6-01-1194-79
Тринатрий фосфат	ГОСТ 201-76
Сода кальцинированная	ГОСТ 5100-85
Препарат СО-20	ГОСТ 10730-82
Аммоний надсерноокислый	ГОСТ 20478-75
Кислота соляная	ГОСТ 3118-77
Палладий двуххлористый	ТУ 6-09-2025-84
Олово двуххлористое	ГОСТ 36-78
Натрий хлористый	ГОСТ 4233-77
Олово четыреххлористое	ТУ 6-09-3084-82
Кислота ортофосфорная	ГОСТ 6552-80
Спирт бутиловый технический	ГОСТ 5208-81
Медь серноокислая	ГОСТ 4165-78
Калий-натрий винноокислый	ГОСТ 5845-79
Натрий гидроокись	ГОСТ 4328-77
Никель двуххлористый	ГОСТ 4038-79
Натрий углекислый	ГОСТ 84-76
Натрий серноватистый кислый	ГОСТ 27068-86
Формалин	ГОСТ 1625-75
Кислота серная	ГОСТ 4204-77
Добавка БЭСМ	ТУ 6-02-2-918-87
Препарат ОС-20	ГОСТ 10730-82
Полотно иглопробивное №622	ТУ 17-14-109-80
Аноды АМФ медные	ГОСТ 767-70
Кислота муравьиная	ГОСТ 1706-78
Пеногаситель АС-30	ТУ 6-02-937-79
Спирт этиловый рентифицированный	ГОСТ 18300-72

Продолжение таблицы 9

Фоторезист сухой пленочный СПФ-ВЩ-2	ТУ 16-503.244-84
Лак НЦ -134	ТУ 6-10-1291-77
Метиловый фиолетовый индикатор	ТУ 6-09-945-76
Растворитель 646	ГОСТ 18188-72
Кислота борфтористо водородная	ТУ 6-09-2577-77
Олово борфтористое	ТУ 6-09-2683-77
Свинец борфтористое	ТУ 6-09-4409-77
Синтанол ДС-10	ТУ 6-14-577-77
Добавка ДС- натрий	ТУ 028.007
Вода дистиллированная	ГОСТ 6709-72
Аммиак водный технический	ГОСТ 9-77
Флюс ФКС <sub>п</sub>	ЮГ 0.021.011 ТУ
Теплоноситель Л 2502-ОЖ	ТУ 6-05-1963-84
Смола ЭД -20	ГОСТ 10587-84
Дибутилфталат	ТУ 6-05-5119-81
Полиэтилен- полиамин марки А	ТУ 6-02-594-85
Эмаль ЭП-572, чёрная	ТУ 6-10-1539-76
Ацетон технический	ГОСТ 2768-84
Припой ПОС-61	ГОСТ 1499-70
Спирт	ТУ 3-66-65
Марля отбеленная	ГОСТ 9412-67
Лак НЦ-34, красный	ТУ 6-10-1291-72
Трубка ПВХ 230, белая	МРТУ 6-05-919-63
Лак Э-4100, бесцветный	МРТУ 6-10-857-69
Отвердитель №1	ТУ 6-10-1263-72
Этилциллозоль	ГОСТ 8313-76
Уайт-спирит	ГОСТ 3134-52
Ксилол чистый, каменноугольный	ГОСТ 9949-62
Мастика ЛН	Юго 054006
Жидкость ПФМС-4	МРТУ 6-02-275-63
Бензин Б-70	ГОСТ 1012-72

г) Оборудование и оснастка

Таблица 10

Стол	ИЩЦ7830-4009
Штангенциркуль	ГОСТ 166-80
Лупа ЛП1-4*	ГОСТ 1594-55
Микрометр МК 25-2	ГОСТ 5507-78
Микроскоп МБС-2	ГОСТ 8074-82
Стол	ИЩЦ 6473-0000
Линейка автоматическая АГ-44	ГГМ 1.211.036 ТУ
Линия химико-технологической подготовки	ГНГМ 1.240.006
Ванна винипластовая	ИЩЦ50.31.24.00
Установка для нанесения фоторезиста	АРСМ 3.289.006
Скальпель СО-4	ТУ 64-1-17-72
Перчатки	ТУ 77 РСФСР 06-7745-84
Цапфонбор	ИЩЦ 7366-4126
Фотошаблоны	ОСТ 4ГО.073-211-84
Втулка для совмещения фотошаблона	ИЩЦ 788-4075
Установка экспонирования пп	АРСМ 3.258.000
Линия для проявления фоторезиста	ГГМ 1.250.001
Кювета винипластовая	ИЩЦ 52.15.00
Микроскоп МБС-2	ГОСТ 3-31210-78

Продолжение таблицы 10

Стол ретуши	ШЩ 64.113.00.00
Кисть колонковая КЖХ	ОСТ 17-888-81
Лупа ЛИ-3-10 <sup>х</sup>	ГОСТ 8309-78
Микроскоп МБС-2	ГОСТ 8284-78
Вытяжной шкаф	ЩЩ 50.28.00.00
Печь сушильная	АРСМ 3.009.000
Линия травления	ГГМ 1.240.001
Лупа ЛИ-3-10	ГОСТ 8309-75
Установка жидкостного оплавления	ТУ 00.999.136
Линия ультразвуковой промывки	ТУ 2.950.017
Электропаяльник ЭПСН-25/42	ГОСТ 7219-83
Установка для проверки металлизации в отверстиях	ИАВД 71004.0000
Пинцет ПА 250*2,5	ТУ 64-1-3775
Баночка	ШЩ 7879-4228
Паяльник	ШЩ43.63.00.00
Прибор ПКТП	ЩК 2.763.036
Комплект для монтажной пайки	
Салфетка	ОСТ 14-133-72
Вытяжной шкаф	ЩЩ 63.168.00.00
Индикатор	ГОСТ 9696-82
Верстак	ГОСТ0.1336
Установка для контроля чистоты отмывки пп	
Камера окрасочная	ШЩ 51004000
Краскораспылитель пневматический ручной СО-71	ГОСТ 7385-73
Ножницы 175	РСТ РСФСР 145-71

#### 4. Технологический процесс изготовления печатной платы

По ГОСТ 23751—86 предусмотрены следующие типы конструкции ПП:

односторонние ПП. Применяются в бытовой технике, технике связи и в блоках питания на ЭРЭ. Имеют низкую стоимость, высокую надежность, низкую плотность компоновки;

двусторонние ПП. Применяются в измерительной, вычислительной технике, технике управления и автоматического регулирования, технике связи, высокочастотной технике;

многослойные ПП. Применяются в технике управления и автоматического регулирования, вычислительной и бортовой аппаратуры для коммутации ИМС, БИС, СБИС, МСБ, в ЭА с высокими требованиями по быстродействию, плотности монтажа, волновому сопротивлению, времени задержки сигнала и т. д.

гибкие ПП, ГЖП и ГПК. Применяются в ЭА и высокой надежности при реализации уникальных и сложных технических решений, конструкция которых исключает применение жестких ПП.

##### 4.1 Выбор типа конструкции печатной платы.

При выборе типа конструкции ПП учитывают:

1) тип элементной базы: традиционная (корпусная); бескорпусная; поверхностно-монтируемые компоненты; смешанная (традиционная и ПМК);

2) вариант компоновочной структуры ячейки;

3) возможность выполнения всех коммутационных соединений, что зависит от функциональной и конструкторской сложности узла. При незначительной конструкторской сложности (от 8 до 12 ИМС) при традиционном монтаже применяются ДПП, при средней (от 30 до 50 ИМС) ДПП и МПП, при высокой (свыше 50 ИМС) — МПП, так как увеличивается число внутрисхемных связей, а применение МПП повышает надежность ЭА, например, сокращая число разъемных соединений. Применение МПП позволяет коммутировать ИЭТ (гибридные, полупроводниковые



ИМС, БИС/СБИС, МСБ), повысить плотность монтажа, упростить сборку ЭА, Для обеспечения высокого быстродействия ЭА необходимо увеличить плотность монтажа, выбрать соответствующий материал основания ПП, увеличить число слоев

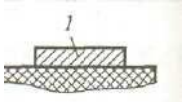

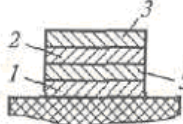


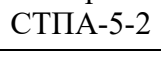


4) технико-экономические показатели (стоимость, технологичность, уровень унификации и стандартизации и др.);


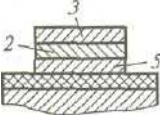
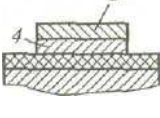
5) возможность автоматизации процессов изготовления, контроля и диагностики, установки ЭРИ с учетом применяемого в конкретном производстве технологического оборудования.

#### 4.2 Выбор метода изготовления печатной платы.

Выбрав тип конструкции ПП, зная элементную базу и конструкторскую сложность, можно определить метод изготовления ПП (таблица 11).

Таблица 11 Основные характеристики ПП и методы их изготовления

Тип ПП	Метод изготовления	Материал для изготовления основания ПП	Элементная база	Конструкторская сложность	Класс точности	Уровень производительности	Конструкция печатного проводника
ОПП и слои МПП	Химический негативный	ГФ1-35Г СФ1-35Г СТФ СОНФМ СТНФ	Корпусные ИМС и ЭРЭ (традиционная элементная база)	Малая	1 и 2	1	
	Химический позитивный	ДФО ДФС СОНФМ СФПН СТФТ					
ДПП на диэлектрическом основании и слои МПП	Комбинированный позитивный	FR-4 МИ 1222 СФ-2-35Г СТАЛ СТФТС СТПА-5-2 СТНФ СТФТ	1. Корпусные ИМС и ЭРЭ 2. ПМК	Средняя	3 (при толщине фольги 35мкм); 4 и 5 при 18 мкм и менее	1	
	Комбинированный негативный	ДФС СФПН СОНФ					
	Аддитивный	СТАМ СТЭФ	1. Корпусные ИМС и ЭРЭ 2. ПМК	Высокая	5	1	
	Фото формование	СТЭК СТАМ			5	1	
	Электрохимический	СТЭФ FR-4 СТАМ СТПА-5-2 СТАП			5	1	 Материал СТПА-5-2
Рельефные платы (РП)	Субтрактивный	СТЭК СТЭФ	1. Корпусные ИМС и ЭРЭ 2. ПМК 3. Бескорпусная	Высокая	4 и 5	1	
	Полуаддитивный	СТЭК СТЭФ					
	Аддитивный	СТАМ					

ГПП							
одно-сторонние	Химический негативный, ПФ-1, ЛФ, ЛФР						
Двусторонние	Тентинг-процесс Комбинированный позитивный Химический негативный (без отверстий)	ПИ-40А ПФ-1 ПФ-2 ЛФ ЛФР	1. ПМК 2. Бескорпусная	Высокая	5 и выше	0 и 1	Гибкие ОПП и гибкие ДПП (без отверстий), химический негативный метод
Тип ПП	Метод изготовления	Материал для изготовления основания ПП	Элементная база	Конструкторская сложность	Класс точности	Уровень мощности	Конструкция печатного проводника
ДПП на металлическом основании	Электрохимический	Алюминий, медь, сталь, титан	1. Корпусные ИМС и ЭРЭ 2. ПМК 3. Бескорпусная	Высокая	4 и 5	1	
	Аддитивный				5		

В настоящее время применяют два вида технологии получения элементов проводящего рисунка ПП и слоев ПП:

- 1) на основе субтрактивных методов с использованием фольгированных диэлектриков.
- 2) на основе аддитивного метода с использованием нефольгированных диэлектриков.



Рисунок 4 Методы получения печатного рисунка ПП: а- субтрактивный; б- аддитивный

#### 4.3 Односторонние печатные платы

##### 4.3.1 ОПП на жестком фольгированном основании

Основные характеристики ОПП на жестком фольгированном основании и методов их изготовления приведены в таблице 12

Таблица 12 Основные характеристики ОПП на жестком фольгированном основании

Показатель	Характеристика
Элементная база	Традиционная
Область применения	Бытовая техника, средства связи
Класс точности	1; 2
Группа жесткости	1
Рекомендуемые максимальные размеры, мм	500 x 500
Материал основания	Гетинакс фольгированный ГФ-1 Стеклотекстолит фольгированный СФ-1
Минимальный диаметр отверстия, мм	0,8
Минимальная ширина проводника, мм	0,45
Тип производства	Мелкосерийное, серийное, крупносерийное

Основными методами изготовления ОПП на жестком фольгированном основании являются:

- химический негативный;
- химический позитивный.

Последовательность основных этапов ТП изготовления ОПП данными методами приведена в таблице 13 и 14

Таблица 13 Основные этапы химического негативного метода

№ п/п	Основной этап ТП	Возможный способ получения	Эскиз этапа
1	Входной контроль и термостабилизация диэлектрика		
2	Раскрой материала		 Групповая заготовка    Единичная заготовка ПП
3	Получение заготовок и фиксирующих (базовых) отверстий	Штамповка	 ПГ Технологическое поле Базовые отверстия
4	Подготовка поверхности заготовки	Механический способ	
5	Получение защитного рельефа	1. Сеткография (СГ). 2. Офсетная печать Подготовительные этапы: изготовление трафаретов для С Г; изготовление офсетной формы	 Защитный рельеф
6	Сушка	1. Ультрафиолетовая сушка (УФ). 2. Термическая сушка	
7	Травление меди с пробельных мест		
8	Удаление защитного рельефа		
9	Получение монтажных отверстий	1. Штамповка. 2. Сверление	
10	Нанесение паяльной маски	Сеткография Подготовительные этапы: изготовление трафаретов для нанесения паяльной маски	 Паяльная маска

Продолжение таблицы 13

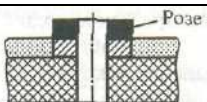
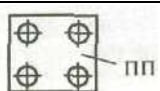



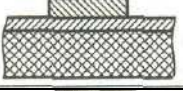

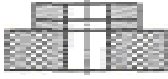
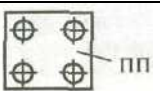
№ п/п	Основной этап ТП	Возможный способ получения	Эскиз этапа
11	Сушка	1.УФ сушка. 2.Термическая сушка	
12	Лужение	Сплав Розе, ПОС-61	
13	Отмывка от флюса		
14	Маркировка	1. Сеткография. 2. Каплеструйный метод Подготовительные этапы: изготовление трафарета	
15	Контроль электрических параметров		
16	Вырубка по контуру и получение крепежных отверстий	Штамповка	

Таблица 14 Основные этапы химического позитивного метода

№ п/п	Основной этап ТП	Эскиз этапа
1	Входной контроль и термостабилизация диэлектрика	
2	Раскрой материала	
3	Получение заготовок и фиксирующих (базовых) отверстий	
4	Подготовка поверхности заготовки	Механический способ
5	Получение защитного рельефа	
6	Нанесение металлорезиста на проводники	
7	Удаление защитного рельефа	
8	Травление меди с пробельных мест	
9	Получение монтажных отверстий	
10	Вырубка по контуру и получение крепежных отверстий	

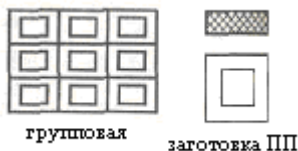

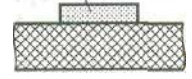
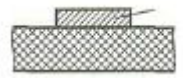
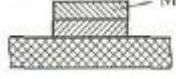

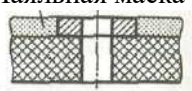

#### 4.3.2ОПП на жестком нефольгированном основании

Одним из простых и дешевых методов изготовления ОПП на жестком нефольгированном диэлектрике является метод с применением активирующих паст, которые изготавливают на основе неблагородных металлов; наносят на диэлектрик селективно сеткографическим способом в соответствии с рисунком схемы. Затем выполняют металлизацию рисунка, в результате которой происходит замещение активирующей пасты на медь, после чего — толстослойное химическое меднение. Односторонние ПП получают по 1- и 2-му классу точности. Их применяют в бытовой технике. Основные характеристики ОПП на жестком нефольгированном основании приведены в таблице 11, а основные этапы ТП — в таблице 12.

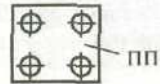
Таблица 15 Основные характеристики ОПП на жестком нефольгированном основании

Показатель	Характеристика
Элементная база	Традиционная
Область применения	Бытовая техника
Класс точности	1; 2
Группа жесткости	1
Рекомендуемые максимальные размеры,	500 x 500
Материал основания	Гетинакс нефольгированный
Минимальный диаметр отверстия, мм	0,8
Минимальная ширина проводника, мм	0,5
Тип производства	Серийное

Таблица 16. Основные этапы ТП изготовления ОПП с активными пастами на жестком нефольгированном основании

№ п/п	Основной этап ТП	Возможный способ получения	Эскиз этапа изготовления ПП
1	Входной контроль диэлектрика (гетинакса)		
2	Раскрой материала		
3	Получение заготовок и фиксирующих (базовых) отверстий	Штамповка	
4	Подготовка поверхности заготовки	Химический способ	
5	Получение рисунка схемы активными пастами	Сеткография (СТ) активными пастами <i>Подготовительные этапы:</i> изготовление трафаретов для СТ	Активирующая паста 
6	Металлизация рисунка схемы	Метод замещения активными паст медью	
7	Толстослойное химическое меднение		
8	Получение монтажных отверстий	1. Штамповка. 2. Сверление	
9	Нанесение паяльной маски	Сеткография <i>Подготовительные этапы:</i> изготовление трафаретов для нанесения паяльной маски	Паяльная маска 
10	Сушка	1.УФ сушка. 2.Термическая сушка	
11	Лужение	Сплав Розе, ПОС-61	
12	Отмывка от флюса		

Продолжение таблицы 16

№ п/п	Основной этап ТП	Возможный способ получения	Эскиз этапа изготовления ПП
13	Маркировка	1. Сеткография. 2. Каплеструйный метод Подготовительные этапы: изготовление трафарета	
14	Контроль электрических параметров		
15	Вырубка по контуру и получение крепежных отверстий	Штамповка	

Достоинствами данного метода изготовления ОПП являются:

- отсутствие операции травления меди с пробельных мест;
- применение материалов основания (гетинаксов), стойких к растворам толстослойного химического меднения;
- простота и дешевизна изготовления.

#### 4.4 Двусторонние ПП

Различают ДПП общего применения и прецизионные, которые отличаются сложностью конструкции, разрешающей способностью и точностью элементов печатного рисунка, материалами, областью применения, стоимостью и другими характеристиками, причем те и другие изготавливают на фольгированном и нефольгированном жестком и гибком основании.


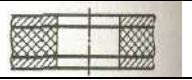

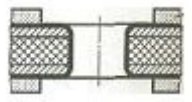

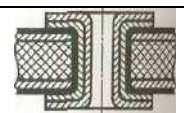
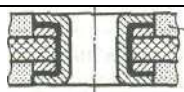

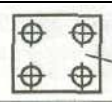
Таблица 17 Основные характеристики прецизионных ДПП и общего применения на жестком фольгированном основании

Показатель	Характеристика	
	ДПП общего применения	Прецизионные ДПП
Область применения	Промышленная электроника, вычислительная техника, спецтехника, средства связи, бытовая техника	Вычислительная техника, спецтехника, промышленная электроника
Класс точности	1; 2; 3	4, 5 и выше
Группа жесткости	I—IV	I—IV
Рекомендуемые максимальные габариты, мм	500 x 600	500 x 600
Материал основания	СФ, СФ-2Н, СТФТ, СТФ, FR-4 и др. (фольга 35; 50 мкм)	Стеклотекстолит фольгированный (фольга 5; 9; 18 мкм, например, СТПА-5, FR-4)
Диаметр отверстия, мм	0,4...1,5	0,4.-1,5
Минимальная ширина проводника, мм	0,25	0,1 и менее
Тип производства	Мелкосерийное, серийное, крупносерийное	Мелкосерийное, серийное
Методы изготовления	Комбинированный позитивный, комбинированный негативный	Электрохимический. Комбинированный позитивный



#### 4.4.1 Комбинированный позитивный метод

Таблица 18 Основные этапы изготовления ДПП комбинированным позитивным методом.

№ п/п	Основной этап ТП	Возможный способ получения	Эскиз этапа изготовления ДПП
1	Входной контроль и термостабилизация диэлектрика		
2	Получение заготовок	1. Резка. 2. Штамповка. 3. Лучом лазера (для прецизионных ПП)	 Фольга Диэлектрик
3	Получение фиксирующих отверстий	Сверление	
4	Получение монтажных и переходных отверстий	Сверление	
5	Металлизация предварительная	1. Магнетронное напыление. 2. Термолиз меди. 3. Химическое меднение 3...5 мкм 4. Химико-гальваническое меднение	 Металл
6	Подготовка поверхности	1. Суспензия пемзового абразива. 2. Подтравливание	
7	Получение защитного рельефа	1. Сеткография. 2. Фотохимический с органо-проявляемым СПФ. 3. Фотохимический с щелоче-проявляемым СПФ. 4. С сухим пленочным фоторезистом лазерного экспонирования (для прецизионных ПП)	 Защитный рельеф
8	Электрохимическая металлизация	1. Гальваническое меднение и нанесение металлорезиста (олово—свинец или олово). 2. Гальваническое меднение и нанесение полимерного травильного резиста	
9	Удаление защитного рельефа	-	
10	Травление меди с пробельных мест с удалением травильного резиста	1. Травление с удалением металлорезиста. 2. Травление с удалением полимерного резиста	
11	Нанесение паяльной маски	1. Фотохимический (СПФ-защита). 2. Сеткография	 Паяльная маска
12	Нанесение покрытия на участки проводящего рисунка, свободные от маски	1. Горячее лужение (сплав Розе). 2. Химический никель иммерсионное золото. 3. Органическое защитное покрытие	 Сплав Розе
13	Отмывка флюса		
14	Получение крепежных отверстий и обработка по контуру	1. Лазерная обработка. 2. Сверление отверстий и фрезерование по контуру	 пп
15	Промывка	Ультразвуковая	
16	Контроль электрических параметров		

Подготовка поверхностей заготовок (таблица 18, п. 6) перед нанесением СПФ является ответственной операцией, которую проводят чтобы:

- удалить заусенцы после сверления отверстий и наростов гальванической меди;
- обеспечить необходимую адгезию СПФ к медной поверхности подложки;
- обеспечить химическую стойкость защитного рельефа на операциях проявления и травления;

- получить матовую поверхность с низкой отражающей способностью, которая обеспечивает более однородное экспонирование фоторезиста.

Применяют два способа подготовки поверхности:

- 1) механическая зачистка абразивными кругами с последующей химической обработкой в растворе персульфата аммония;
- 2) механическая зачистка водной суспензией пемзового абразива.

Затем проводят операции сенсibilизации и активирования поверхности диэлектрика (химическое меднение).

Для получения защитного рельефа используется сухой пленочный резист (СПФ) толщиной 15...50 мкм.



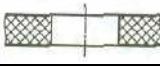
Начиная с п. 10 таблицы 18, возможны две последовательности выполнения этапов ТП:

- без удаления металлорезиста (олово—свинца) после операции травления с последующим его инфракрасным или жидкостным оплавлением; этот процесс называется «маска поверх оплавленного припоя», так как паяльная маска наносится поверх оплавленного сплава олово—свинец;
- с удалением металлорезиста (олово—свинца, олова или никеля) или полимерного травильного резиста после операции травления с последующим нанесением паяльной маски на медный проводник; этот процесс называется «маска поверх открытой меди».

#### 4.4.2 Электрохимический (полуаддитивный) метод

В настоящее время широко применяется электрохимический метод изготовления прецизионных ДПП и ДПП общего применения на нефольгированном жестком, гибком основании, а также слоев МПП. Данный метод имеет несколько вариантов исполнения, в зависимости от которого ПП могут быть изготовлены по 3-, 4-, или 5-му и выше классам точности.

Таблица 19 Последовательность основных этапов различных вариантов изготовления ПП.

№ п/п	Основной этап ТП	Возможный способ получения	Эскиз этапа изготовления ДПП
1	Входной контроль диэлектрика		
2	Получение заготовок	1. Резка. 2. Штамповка. 3. Резка лучом лазера (для прецизионных ПП)	
3	Получение фиксирующих отверстий	Сверление	
4	Получение монтажных и переходных отверстий	Сверление	
5	Подготовка поверхности	1. Физические методы. 2. Химические методы	



Продолжение таблицы 19

6	Металлизация заготовок	ДПП общего применения . 1.Магнетронное напыление. 2. Термолиз меди и предварительное электролитическое меднение. 3.Прямая металлизация Прецизионные ДПП 1. Химическое меднение 3...5 мкм. 2. Химико-гальваническое меднение 5...10 мкм. 3. Прямая металлизация	
7	Подготовка поверхности	1.Суспензия пемзового абразива. 2.Подтравливание	
8	Нанесение защитного рельефа	ДПП общего применения 1. Сеткографический способ. 3. Фотохимический способ Прецизионные ДПП 1. ФХ и ФХ с ФР лазерного	
9	Электрохимическая металлизация	2. Гальваническое меднение и нанесение металлорезиста (олово—свинец или олово). 2.Гальваническое меднение и нанесение полимерного травильного резиста	
10	Удаление защитного рельефа	-	
11	Травление меди с пробельных мест с удалением травильного резиста	1.Травление с удалением металлорезиста. 2.Травление с удалением полимерного резиста	
12	Нанесение паяльной маски	1. Фотохимический (СПФ-защита). 2.Сеткография	
13	Нанесение покрытия на участки проводящего рисунка, свободные от маски	1. Горячее лужение (сплав Розе). 2. Химический никель иммерсионное золото. 3. Органическое защитное покрытие	Сплав Розе 
14	Отмывка флюса		
15	Получение крепежных отверстий и обработка по контуру	1.Лазерная обработка. 2.Сверление отверстий и фрезерование по контуру	
16	Промывка	Ультразвуковая	
17	Контроль электрических параметров		

Существуют несколько вариантов изготовления ДПП электрохимическим методом.

*1-й вариант.* На нефольгированное основание, покрытое адгезионным слоем со сквозными монтажными и переходными отверстиями наносят проводящий слой, который получен методом химического осаждения меди {подслой меди толщиной 3...5 мкм). Далее процесс изготовления см. по таблице 15. В качестве металлорезиста применяют сплав олово—свинец или полимерный травильный резист. Получают прецизионные ДПП 5-го класса точности. Недостатками данного варианта являются: потребность в сложных и дорогостоящих химикатах для операции химического осаждения меди на диэлектрик; растворы химического меднения трудно поддаются утилизации и экологически опасны; травлению подвергается медь, растворы которой также экологически опасны, а средства регенерации травильных растворов сложны, дороги и энергоемки; соли олова и свинца относятся к экологически опасным.

*2-й вариант.* На нефольгированное основание, покрытое адгезионным слоем со сквозными монтажными и переходными отверстиями наносят проводящий слой, сформированный методом химико-гальванического осаждения меди (подслой меди толщиной 5... 10 мкм). Далее процессия изготовления см. по таблице 15. Получают прецизионные ДПП 5-го класса точности. Недостатки: большие затраты материальных средств как на реализацию самих процессов, так и на обеспечение их экологической безопасности.

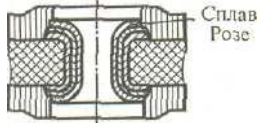
*3-й вариант.* На поверхность нефольгированного диэлектрика наносят адгезионный слой и напыляют вакуумно-дуговым методом медь, на которой в дальнейшем формируют проводящий рисунок схемы в соответствии с ТП, приведенным в таблице 15. Получают ДПП 3-го класса точности. Недостаток — ограничение по конструктивно-технологическим характеристикам печатных плат (отношение толщины платы к диаметру отверстия не более трех). Достоинством этого варианта является снижение экологической опасности.

*4-й вариант.* На нефольгированное основание, покрытое адгезионным слоем со сквозными монтажными и переходными отверстиями нанося проводящий слой, сформированный методом термолиза меди (обработка ПП в аммиачной соли гипофосфита меди; толщина подслоя меди -0,3 мкм) с последующим предварительным электролитическим меднением (подслой меди толщиной 5...7 мкм). Далее процесс изготовления см. по таблице 15

*5-й вариант.* Токопроводящий подслой из алюминия формируют на поверхности заготовки из нефольгированного диэлектрика. Последовательность основных операций ТП по 5-му варианту электрохимического метода приведена в таблице 16

Таблица 20 Разновидность электрохимического (полуаддитивного) процесса 5-й вариант изготовления ДПП)

№	Операция	Эскиз операции
1	Получение заготовок из нефольгированного диэлектрика марки СТЭК-1,5 (ТУ16-503.201-80)	
2	Сверление в заготовках монтажных и переходных отверстий	
3	Нанесение подслоя алюминия методом термолиза	
4	Получение рисунка ПП фотохимическим способом (формирование защитного рельефа)	
5	Электрохимическое меднение	
6	Удаление защитного рельефа	
7	Травление подслоя алюминия	
8	Нанесение паяльной маски	

9	Горячее лужение контактных площадок	
10	Маркировка ПП	
11	Механическая обработка контура ПП	

Медь, покрывающая проводники, контактные площадки и стенки отверстий, выполняет функцию резиста на операции травления, на которой происходит травление тонкого слоя алюминия на участках, не защищенных медью, т. е. травление алюминия с пробельных мест осуществляют, используя медь рисунка схемы в качестве травильного металлорезиста. Под слоем меди остается подслой алюминия и никеля. Продукты травления алюминия менее токсичны, легко химически перерабатываются в коагулянты для очистки промышленных стоков, для получения красок и т.д.

Медные проводники покрывают паяльной маской, оставляя открытыми только контактные площадки с отверстиями; паяльная маска не вздувается при пайке. Этот вариант обеспечивает возможность изготовления печатных плат 4- и 5-го классов точности. Размер ПП при этом ограничен размерами реактора для алюминирования.

Достоинства 5-го варианта метода:

- высокое качество ДПП при сохранении конструктивно-технологических характеристик;
- снижение загрязнения окружающей среды в связи с травлением алюминия только с пробельных мест, а не меди;
- исключение использования в качестве травильного металлорезиста сплава олово—свинец;
- экономия около 0,2 кг меди на каждом 1 м<sup>2</sup> изготавливаемой ДПП, так как в отличие от обычных ПП травливается не медь, а алюминий и притом не со всей поверхности, а только с пробельных мест (около 0,03 кг с 1 м<sup>2</sup>);
- снижение стоимости ущерба окружающей среде, поскольку исключается операция химического меднения, для которой требуются дефицитные, дорогостоящие и трудноутилизируемые химикаты.

Для усиления коррозионной стойкости платы (как вариант) на слой алюминия на проводники, контактные площадки и стенки отверстий дополнительно осаждают слой никеля толщиной 3...5 мкм. Этот слой является промежуточным между слоем алюминия и осажденным позже слоем меди; никель снижает контактную разность потенциалов между алюминием и медью и уменьшает контактную коррозию этих металлов.

Широкое применение в настоящее время пол у аддитивной технологии на наружных слоях МПП вызвано необходимостью получения тонких проводников (шириной 0,08...0,04 мм и менее) для установки BGA-компонентов с малым шагом расположения выводов (0,5...0,25 мм) и большим числом выводов (1000 и более).

Преимущества электрохимического метода:

- достаточно высокая адгезионная прочность при высоких температурах;

- возможность осаждения в отверстия или на поверхность слоя меди любой толщины, что позволяет получить сверхточные структуры проводников с незначительным коэффициентом подтравливания;

- возможность изготовления многоуровневых схем и ПП для установки ПМК.

### **Аддитивный метод**

Аддитивным методом изготавливают прецизионные ДПП на нефольгированном основании по 5-му классу точности. В отличие от субтрактивных методов в аддитивном методе применяют нефольгированный диэлектрик, на который селективно осаждают медь. Толщина химически осажденной на диэлектрик меди составляет порядка 25...35 мкм, удельное электрическое сопротивление —  $2,8 \cdot 10^{-8}$  Ом·м (выше чем у гальванической —  $1,72 \cdot 10^{-8}$  Ом·м), относительное удлинение — 4...6 %, прочность сцепления с диэлектриком — не менее 0,4 Н/3 мм.

При аддитивном методе в качестве материала основания ДПП применяют нефольгированный стеклотекстолит:

- с клеевыми пленками (адгезионными) на поверхности типа СТЭФ;
- с введенным в объем диэлектрика катализатором, который способствует осаждению меди на диэлектрик — типа СТАМ;
- с эмалью.

Технологический процесс изготовления зависит от применяемого материала.

Преимущества аддитивного метода:

- высокий класс точности — 5-й;
- равномерность меди на поверхности и в отверстиях при отношении толщины ДПП к диаметру отверстия 10:1;
- короткий технологический цикл;
- сокращение количества оборудования по сравнению с субтрактивными методами;
- снижение расхода меди, так как ее осаждают селективно в соответствии с рисунком ДПП;
- возможность использования для химического меднения солей меди из травильных отходов.

К недостаткам аддитивного метода относятся:

- высокое удельное электрическое сопротивление химической меди;
- наличие адгезионного слоя на поверхности, подверженного старению;
- тенденция химической меди к растрескиванию под воздействием сильных термических ударов и др.

### **5. Анализ технологичности изделия**

Технологичной называется такая конструкция, которая может быть изготовлена при наименьшей затрате овеществленного и живого труда и полностью отвечает предъявляемым к изделию эксплуатационным требованиям.

Среди критериев, оценивающих технологичность конструкции, наиболее применяемыми являются следующие: распределение деталей по простотности, классам точности, технологической конфигурации и применяемым материалам, распределение узлов (сборок) по сложности и взаимозаменяемости внутри узлов, ориентировочная трудоемкость изготовления деталей и сборки изделий; специальная технологическая оснастка, общая характеристика для оценки технологичности.

При определении технологичности создаваемых конструкций необходимо учитывать все фазы производства, характеризующие изготовление не только деталей, но и изделия в целом.

В качестве основных направлений повышения технологичности в радиоэлектронном аппаратостроении могут быть приняты:

1. Повышение технологичности деталей изделия;
2. Повышение технологичности узлов и изделия в целом.

Показатели степени технологичности:

1. Коэффициент стандартизации рассчитываем по формуле 1:

$$n_{\text{ст}} = \frac{K_9}{n} \quad (1)$$

где  $n_{\text{ст}}$  — коэффициент стандартизации;

$K_9$  — число стандартизированных элементов;

$n$  — общее число электрорадиоэлементов;

2. Коэффициент нормализации рассчитываем по формуле 2:

$$n_{\text{норм}} = \frac{K_1}{n} \quad (2)$$

где  $K_1$  — число нормализованных элементов;

$n_{\text{норм}}$  — коэффициент нормализации.

3. Коэффициент преемственности рассчитываем по формуле 3:

$$n_{\text{преем}} = \frac{K_{11}}{n} \quad (3)$$

где  $K_{11}$  — число преемственных элементов;

$n_{\text{преем}}$  — коэффициент преемственности.

4. Коэффициент автоматизации соединений рассчитываем по формуле 4:

$$n_{\text{авт.соед}} = \frac{n_2}{K_2} \quad (4)$$

где  $n_2$  — число монтажных соединений выполненных автоматизированным и механизированным методом;

$n_{\text{авт.соед}}$  — коэффициент автоматизации соединений.

5. Коэффициент использования микросхем рассчитываем по формуле 5:

$$n_{\text{исп}} = \frac{m}{n} \quad (5)$$

где  $n_{\text{исп}}$  — коэффициент использования микросхем;

$m$  — число используемых микросхем;

6. Коэффициент механизированного монтажа рассчитываем по формуле 6:

$$n_{\text{мех.монт}} = \frac{K_4}{K_2} \quad (6)$$

где  $n_{\text{мех.монт}}$  — коэффициент механизированного монтажа;

$K_4$  — число монтажных электрорадиоэлементов выполненных механическим методом.

7. Коэффициент автоматизации контроля рассчитываем по формуле 7:

$$n_{\text{авт.конт}} = \frac{n_5}{K_5} \quad (7)$$

где  $n_{\text{авт.конт}}$  — коэффициент автоматизации контроля;

$n_5$  — общее число операций контроля и настройки выполненных автоматизированным способом;

$K_5$  — число операций контроля и настройки.

8. Коэффициент повторяемости рассчитываем по формуле 8:

$$n_{\text{повт}} = 1 - \frac{K_6}{n} \quad (8)$$

где  $n_{\text{повт}}$  — коэффициент повторяемости;

$K_6$  – общее число типов электрорадиоэлементов.

9. Коэффициент использования оригинальных элементов рассчитываем по формуле 9:

$$n_{\text{орг. элем}} = 1 - \frac{K_7}{n} \quad (9)$$

где  $n_{\text{орг. элем}}$  – коэффициент прогрессивности;

$K_7$  – число типов оригинальных элементов.

10. Коэффициент прогрессивности рассчитываем по формуле 10:

$$n_{\text{прогр}} = \frac{d}{n} \quad (10)$$

где  $d$  – число деталей полученных прогрессивным способом.

11. Коэффициент унификации рассчитываем по формуле 11:

$$n_{\text{униф}} = \frac{K_9 + K_1 + K_{11}}{n} \quad (11)$$

где  $n_{\text{униф}}$  – коэффициент унификации.

12. Коэффициент технологичности рассчитываем по формуле 12:

$$N_r = \frac{K_2 + n_{\text{авт.сосл.}} + 0,75n_{\text{авт.конт.}} + 0,31n_{\text{повт.}} + 0,187n_{\text{ориг.эл.}} + 0,11n_{\text{прогр.}}}{K_2 + n_{\text{авт.сосл.}} + n_{\text{мех.монт.}} + n_{\text{авт.конт.}} + n_{\text{повт.}} + n_{\text{прогр.}}} \quad (12)$$

Полученные данные сводим в таблицу 21.

## 6 Расчет элементов проводящего рисунка ПП

При разработке конструкции ПП должны учитываться размеры элементов проводящего рисунка (длина, ширина, толщина проводников, размеры контактных площадок и пр.), и их взаимное расположение (например, расстояние между ними), так как они связаны с электрическими параметрами электрической принципиальной схемы (током, напряжением, частотой и др.), а также с электрическими параметрами ПП. К таким параметрам относятся: сопротивление проводников, допустимая токовая нагрузка, электрическая прочность, сопротивление изоляции, электрическая емкость, помехозащищенность и др.

От ширины проводников и расстояния между ними зависит погонная емкость, возникающая между параллельными проводниками и вызывающая паразитные связи (чем больше ширина проводника, тем больше емкость).

От ширины проводников (сечения) зависят нагрузочная способность по току и сопротивление проводников.

От расстояния между проводниками зависит электрическая прочность изоляции.

От соотношения ширины проводников и толщины ПП зависят емкость, волновое сопротивление (чем больше это соотношение, тем больше емкость и волновое сопротивление), а также эффективная диэлектрическая проницаемость материала основания ПП для проводников, лежащих на поверхности ПП.

Существует однако ряд ограничений на размеры и расположение элементов печатного монтажа, связанных с технологическими особенностями производства, поэтому прежде чем приступить к проектированию ПП, необходимо провести конструктивно-технологический расчет ПП по постоянному току (для цепей питания и земли), по переменному току (для сигнальных цепей) с учетом производственных погрешностей элементов печатного монтажа, фотошаблонов, операций экспонирования, сверления и других операций по ГОСТ 23751—86 и РД-50-708—91.

Результаты расчетов приведенных ниже элементов печатного монтажа (расстояний между ними, размеров контактных площадок, монтажных и переходных отверстий и др.) используются в системах автоматизированного проектирования (САПР) ПП при автоматической трассировке соединений ПП при редактировании правил прокладки трасс, параметров описания контактных площадок, создании библиотеки контактных площадок, для заполнения апертурных слоев контактных площадок для установления соответствия типа апертury номеру диафрагмы фотопостроителя для засветки на фотошаблоне изображения контактной площадки соответствующего размера и т. д.

Поэтому необходимо выполнить следующие расчеты:

- 1) диаметров  $d$  монтажных отверстий;
- 2) расстояния  $Q$ , от края ПП до элементов печатного рисунка;
- 3) расстояния  $Q_2$  от края паза, выреза, неметаллизированного отверстия до элементов печатного рисунка;
- 4) ширины  $t$  печатных проводников;
- 5) диаметра  $D$  контактных площадок;
- 6) расстояния между элементами проводящего рисунка:
  - а) расстояния  $S$  между соседними элементами проводящего рисунка;
  - б) наименьшее номинальное расстояние  $L_{\text{ном}}$  между центрами двух неметаллизированных отверстий;
  - в) наименьшего номинального расстояния для размещения двух контактных площадок номинального диаметра в узком месте;
  - г) наименьшего номинального расстояния для размещения печатного проводника номинальной ширины между двумя контактными площадками в узком месте;

д) наименьшего номинального расстояния  $l$  для прокладки  $n$ -го количества проводников между двумя отверстиями с контактными площадками диаметром  $D_1$  и  $D_2$ .

### 6.1. Расчет диаметра монтажных отверстий

Номинальный диаметр монтажных металлизированных и неметаллизированных отверстий устанавливают исходя из следующего соотношения:

$$d - \left( \Delta d \right)_{н.о} \geq d_э + r, \quad (13)$$

где  $d_{н.о}$  - нижнее предельное отклонение диаметра отверстия (определяется по таблице 22);

$d_э$  — максимальное значение диаметра вывода ЭРИ, устанавливаемого на ПП (для прямоугольного вывода за диаметр принимается диагональ его сечения);

$r$  — разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным диаметром вывода, устанавливаемого ЭРИ (ее выбирают в пределах 0,1...0,4 мм при ручной установке ЭРИ и в пределах 0,4...0,5 мм — при автоматической).

Таблица 22 Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий

Диаметр отверстия, мм	Наличие металлизации	Предельные отклонения диаметра $d_{н.о}$ , мм, по классам точности				
		1	2	3	4	5
До 1,0 включительно	Без металлизации	+0,10	±0,10	±0,05	±0,05	±0,025
	С металлизацией	+0,05	+0,05	0;	0;	0;
	Без оплавления	-0,15	-0,15	-0,10	-0,10	-0,075
	С металлизацией	+0,05	+0,05	0; -0,13	0; -0,13	0; -0,13
Свыше 1,0	Без металлизации	±0,15	±0,15	±0,10	±0,10	±0,10
	С металлизацией	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05
	Без оплавления	-0,20	-0,20	-0,15	-0,15	-0,15
	С металлизацией	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,03
	С оплавлением	-0,23	-0,23	-0,18	-0,18	-0,18

Расчетное значение  $d$  следует округлить в сторону увеличения до десятых долей миллиметра и свести к предпочтительному ряду отверстий: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм.

Предельные отклонения диаметра монтажных отверстий при автоматической установке ЭРИ устанавливают не ниже  $8/9$  квалитета независимо от класса точности ПП.

Центры монтажных отверстий под неформуемые выводы многовыводных ЭРИ, межцентровые расстояния которых не кратны шагу координатной сетки, следует располагать таким образом, чтобы в узле координатной сетки находился центр по крайней мере одного из монтажных отверстий. При выборе элементной базы следует учитывать, что использование таких ЭРИ усложняет изготовление, контроль и сборку ячеек.

Минимальный диаметр металлизированного монтажного отверстия  $d_0$  на ПП выбирают из соотношения

$$d_0 \geq H_{пп}, \quad (14)$$

где  $H_{пп}$  — толщина ПП;

$\gamma$  — отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине ПП.

Предельные отклонения фиксирующих (базовых) отверстий устанавливают по допуску H12, а позиционный допуск на расположение осей фиксирующих отверстий ПП, предназначенных для автоматической установки ЭРИ, выбирают по 11 квалитету; на расположение монтажных отверстий — не ниже  $8/9$  квалитета, независимо от класса ПП.

### 6.2. Выбор расстояния Q, от края ПП до элементов печатного рисунка

Расстояние Q, должно быть не менее толщины ПП с учетом допусков на размеры сторон, кроме экранов, шин земли, концевых печатных контактов, знаков маркировки.



### 6.3. Расчет расстояния $Q_2$ от края паза, выреза, не металлизированного отверстия до элементов печатного рисунка

Расстояние от края паза, выреза, не металлизированного отверстия до элементов печатного рисунка определяют по формуле:

$$Q_2 = q + k + 0,5(T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{a.o}^2)^{0,5} \quad (15)$$

где  $q$  — ширина ореола, скола (табл. 23) в зависимости от толщины материала основания и класса точности ПП;

$k$  — наименьшее расстояние от ореола, скола, до соседнего элемента проводящего рисунка, которое должно быть не менее 0,3 мм для 1- и 2-го класса точности ПП; 0,15 мм — для 3- и 4-го класса точности ПП; 0,1 мм — для 5-го класса точности ПП;

$T_D$  — позиционный допуск расположения центров контактных площадок (КП) (определяют в зависимости от конструкции, размеров и класса точности ПП по табл. 24);

$T_d$  — позиционный допуск расположения осей отверстий; определяют в зависимости от размеров и класса точности ПП по табл. 25;

$t_{в.о}$  — верхнее предельное отклонение размеров элементов конструкции (ширины печатного проводника), определяют по табл. 31.

Таблица 23 Допустимая ширина поверхностных сколов и просветлений (ореолов)

Толщина материала основания ПП, мм	Класс точности ПП				
	1	2	3	4	5
До 0,5 включительно	0,3	0,3	0,15	0,15	0,1
Свыше 0,5 до 0,8 включительно	0,5	0,5	0,2	0,2	0,15
» 0,8 » 1,0 »	0,8	0,8	0,25	0,25	0,2
» 1,0 » 1,5 »	1,0	1,0	0,35	0,35	0,25
» 1,5 » 2,0 »	1,2	1,2	0,5	0,5	0,35
» 2,0 » 2,5 »	1,4	1,4	0,7	0,7	0,5
» 2,5	1,7	1,7	0,8	0,8	0,6

Таблица 24 Позиционные допуски расположения центров КП ( $T_D$ )

Вид изделия	Размер ПП по большей стороне, мм	Значение позиционного допуска расположения центров К.П ( $T_D$ ), мм, по классам точности				
		1	2	3	4	5
ОПП, ДПП, ГПК, МПП (наружный слой)	До 180 включительно	0,35	0,25	0,15	0,10	0,05
	Свыше 180 до 360 включительно	0,40	0,30	0,20	0,15	0,08
	Свыше 360	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15

Таблица 25 Позиционные допуски расположения осей монтажных отверстий

Размер ПП по большей стороне, мм	Значение позиционного допуска расположения отверстий ( $T_d$ ), мм, по классам точности				
	1	2	3	4	5
До 180 включительно	0,20	0,15	0,08	0,05	0,05
Свыше 180 до 360 включительно	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
Свыше 360	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10

### 6.4. Расчет ширины печатных проводников

Ширина печатного проводника зависит от электрических, конструктивных и технологических требований.

Наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника  $t$ , мм, рассчитывают по следующей формуле:

$$t = t_{\min D} + |\Delta t_{н.о}| \quad (16)$$

Здесь  $t_{\min D}$  — минимально допустимая ширина проводника, рассчитываемая в зависимости от допустимой токовой нагрузки;  $\Delta t_{н.о}$  — нижнее предельное отклонение размеров ширины печатного проводника (см, табл. 31).

Значение допустимой токовой нагрузки в зависимости от допустимого превышения температуры проводника относительно температуры окружающей среды выбирают:

для медной фольги -  $(100...250) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$  ( $100...250 \text{ А/мм}^2$ );

для гальванической меди —  $(60...100) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$  ( $60...100 \text{ А/мм}^2$ ).

Минимально допустимую ширину проводника по постоянному току для цепей питания и заземления с учетом допустимой токовой нагрузки определяют по формуле:

$$T_{\min D} = I_{\max} / j_{\text{доп}} h \quad (17)$$

где  $I_{\max}$  — максимальный постоянный ток, протекающий в проводниках; определяют из анализа электрической принципиальной схемы;

$j_{\text{доп}}$  — допустимая плотность тока, выбирают по табл. 26 в зависимости от метода изготовления ПП;

$h$  — толщина печатного проводника.

Таблица 26 Конструктивные особенности ПП при различных методах изготовления

Метод изготовления	Толщина слоев печатного проводника, мкм				Толщина проводника, мкм	Допустимая плотность тока, А/м <sup>2</sup>				Удельное объемное сопротивление **, $\times 10^{-8}$ , Ом · м		
	Медная фольга	Гальваническая медь	Химическая медь	Олово-свинец		Медная фольга	Гальваническая медь	Гальваническая медь на тонкой фольге	Химическая медь	Медная фольга	Химическая медь	Гальваническая медь
Химический негативный	35 50	-	-	-	35 50	100...250	-	-	-	1,72	-	-
Комбинированный позитивный	35 50	25 25	2... 5	15 15	75 90		60...100 60...100	-	-		-	1,9
Электрохимический *	5 -	25 25	-	15 15	50 45		-	35...60	-	-	-	-
Аддитивный*	-	-	35	15	50	-	-	-	30...50	-	2,8	-
Рельефные платы: субтрактивный	—	25	5	15	45	—	60...100	—	30...50		2,8	1,9
полуаддитивный	—	25	5	15	45							
аддитивный	—	—	35	15	50							
ДПП на полиимиде	— 35	15 15	—	10 10	25 50		60...100 60...100	35...60	—	—	—	1,9

\*Эти же значения имеют место при изготовлении ДПП на металлическом основании электрохимическим и аддитивным методами.

\*\* Для олова—свинца —  $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Минимально допустимую ширину проводника с учетом допустимого падения напряжения на нем, если конструкция проводника состоит из одного слоя меди, определяют следующим образом:

$$t_{\min D} = \rho I_{\max} l / h U_{\text{доп}} \quad (18)$$

Здесь  $\rho$  — удельное сопротивление слоя меди (табл. 27);  $l$  — максимально допустимая длина проводника (задается в ТЗ схемотехником исходя из частотных характеристик ФУ);  $U_{\text{доп}}$  — допустимое рабочее напряжение.

При выполнении учебных расчетов будем считать, что для ЭА, работающей на низких и средних частотах (до 1 МГц)  $l = 30$  мм (условно); на высокой частоте (1...300 МГц)  $l = 10$  мм; СВЧ (свыше 300 МГц) не рассматривается;  $U_{\text{дон}} < U_{\text{зну}}$  (здесь  $U_{\text{зну}}$  — запас помехоустойчивости ИМС, определяют по справочнику) или  $U_{\text{дон}} = (0,1...0,2) U_n$  (здесь  $U_n$  — напряжение питания ИМС, определяемое из анализа электрической принципиальной схемы).

Если конструкция проводника состоит из нескольких слоев меди и дополнительного покрытия, удельные сопротивления которых значительно отличаются одно от другого, и их толщины соизмеримы, то минимально допустимую ширину проводника с учетом допустимого падения напряжения на нем рассчитывают по формуле:

$$t_{\text{minD}} = \frac{I_{\text{max}} \sum_{i=1}^k \frac{\rho_i}{h_i}}{U_{\text{ав}}} \quad (19)$$

где  $h_i$  и  $\rho_i$  — толщина и удельное объемное сопротивление 1-го слоя проводника (табл. 27); удельное объемное сопротивление проводника зависит от конструкции проводника и способа получения меди;

$k$  — число слоев.

Таблица 27 Удельное объемное сопротивление различных металлов

Металл	Удельное объемное сопротивление, $\times 10^{-8}$ , Ом · м
Медная фольга	1,72
Гальваническая медь	1,90
Химическая медь	2,80
Олово	12,00
Серебро	1,59
Золото	2,22
Никель	7,80
Палладий	10,80

Допустимую токовую нагрузку следует уменьшать:

- на 15 % для печатных проводников, расположенных на расстоянии равном или меньшем их ширины;
- на 40 % для печатных проводников из гальванической меди на тонкомерной фольге
- в 2 раза для печатных проводников из химически осажденной меди по аддитивной технологии (см. табл. 26).

Наименьшее номинальное значение ширины проводника устанавливают в зависимости от класса точности ПП (табл.31).

### 6.5 Расчет диаметра контактных площадок

Все монтажные отверстия располагаются в зоне КГТ. Они могут иметь произвольную форму. Предпочтительной является круглая форма. Наименьшее номинальное значение диаметра КП определяют по формуле:

$$D = d + \Delta d_{\text{в.о}} + 2b + \Delta t_{\text{в.о}} + 2\Delta d_{\text{тр}} + [T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{\text{н.о}}^2]^{0,5}, \quad (20)$$

где  $d_{\text{в.о}}$  — верхнее предельное отклонение диаметра отверстия (см. табл. 22);

$b$  — гарантийный поясик (см. табл. 31);

$d_{\text{тр}}$  — величина подтравливания диэлектрика в отверстии (0,03 мм — для МПП, 0 — для ОПП, ПП, ГПК);

$t_{\text{в.о}}$  -верхнее предельное отклонение ширины проводника (см. табл. 31);

$t_{\text{н.о}}$  — нижнее предельное отклонение ширины проводника (см. табл. 31).

Расчетное значение диаметра КП следует округлить в большую сторону до десятых долей миллиметра.

Для контактных площадок с формой отличной от круглой, минимальный диаметр определяется диаметром вписанной окружности с центром в узле координатной сетки.

При расчете диаметра КП под отверстие с зенковкой вместо значения  $d$  и  $d_{bo}$  следует подставить диаметр зенковки  $d_z$  и верхнее предельное отклонение диаметра зенковки  $d_{в.о.з}$

Числовые значения наименьших номинальных диаметров КП для ряда отверстий ОПП, ДПП, МПП и ГПК разных размеров и классов точности для узких мест представлены в таблице 28.

Таблица 28. Числовые значения элементов проводящего рисунка печатной платы и ГПК

Диаметр отвер- стий, мм	Наименьший номинальный диаметр контактной площадки для узкого места														
	Размер печатной платы по большей стороне														
	До 180 мм					Свыше 180 мм до 360 мм					Свыше 360 мм				
	Класс точности														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ОПП, ДПП, МПП (наружный слой), ГПК с отверстиями без металлизации															
0,5	1,8	1,4	1,0	0,8	0,7	1,9	1,5	1,0	0,9	0,8	2,0	1,6	1,1	1,0	0,8
0,6	1,9	1,5	1,1	0,9	0,8	2,0	1,6	1,1	1,0	0,9	2,1	1,7	1,2	1,1	0,9
0,7	2,0	1,6	1,2	1,0	0,9	2,1	1,7	1,2	1,1	1,0	2,2	1,8	1,3	1,2	1,0
0,8	2,1	1,7	1,3	1,1	1,0	2,2	1,8	1,3	1,2	1,1	2,3	1,9	1,4	1,3	1,1
0,9	2,2	1,8	1,4	1,2	1,1	2,3	1,9	1,4	1,3	1,2	2,4	2,0	1,5	1,4	1,2
1,0	2,3	1,9	1,5	1,3	1,2	2,4	2,0	1,5	1,4	1,3	2,5	2,1	1,6	1,5	1,3
1,1	2,5	2,1	1,7	1,5	1,4	2,6	2,2	1,7	1,6	1,4	2,7	2,2	1,7	1,6	1,4
1,2	2,6	2,2	1,8	1,6	1,5	2,7	2,3	1,8	1,7	1,5	2,8	2,3	1,8	1,7	1,5
1,3	2,7	2,3	1,9	1,7	1,6	2,8	2,4	1,9	1,8	1,6	2,9	2,4	1,9	1,8	1,6
1,4	2,8	2,4	2,0	1,8	1,7	2,9	2,5	2,0	1,9	1,7	3,0	2,5	2,0	1,9	1,7
1,5	2,9	2,5	2,1	1,9	1,8	3,0	2,5	2,1	2,0	1,8	3,1	2,6	2,1	2,0	1,8
ДПП, МПП (наружный слой), ГПК с металлизированными отверстиями															
0,5	1,9	1,5	1,0	0,8	0,7	2,0	1,5	1,1	0,9	0,8	2,0	1,6	1,2	1,0	0,8
0,6	2,0	1,6	1,1	0,9	0,8	2,1	1,6	1,2	1,0	0,9	2,1	1,7	1,3	1,1	0,9
0,7	2,1	1,7	1,2	1,0	0,9	2,2	1,7	1,3	1,1	1,0	2,2	1,8	1,4	1,2	1,0
0,8	2,2	1,8	1,3	1,1	1,0	2,3	1,8	1,4	1,2	1,1	2,3	1,9	1,5	1,3	1,1
0,9	2,3	1,9	1,4	1,2	1,1	2,4	1,9	1,5	1,3	1,2	2,4	2,0	1,6	1,4	1,2
1,0	2,4	2,0	1,5	1,3	1,2	2,5	2,0	1,6	1,4	1,3	2,5	2,1	1,7	1,5	1,3
1,1	2,5	2,1	1,7	1,5	1,4	2,6	2,2	1,7	1,6	1,4	2,7	2,2	1,8	1,6	1,5
1,2	2,6	2,2	1,8	1,6	1,5	2,7	2,3	1,8	1,7	1,5	2,8	2,3	1,9	1,7	1,6
1,3	2,7	2,3	1,9	1,7	1,6	2,8	2,4	1,9	1,8	1,6	2,9	2,4	2,0	1,8	1,7
1,4	2,8	2,4	2,0	1,8	1,7	2,9	2,5	2,0	1,9	1,7	3,0	2,5	2,1	1,9	1,8
1,5	2,9	2,5	2,1	1,9	1,8	3,0	2,6	2,1	2,0	1,8	3,1	2,6	2,2	2,0	1,9

При выполнении учебных расчетов необходимо выбрать по таблице 28 наименьший номинальный диаметр КГТ для узкого места для рассчитанных диаметров монтажных отверстий  $d$ .

## 6.6. Расчет расстояния между элементами проводящего рисунка

Расстояние между соседними элементами проводящего рисунка устанавливают в зависимости от электрических, конструктивных и технологических требований.

Наименьшее номинальное расстояние между элементами проводящего рисунка (между двумя проводниками):

$$S = S_{\min D} + \Delta t_{в.о} + T_1 / 2 \quad (21)$$

Здесь  $T_1$  — позиционный допуск расположения печатных проводников, который учитывается только при  $n > 0$ ;  $n$  — количество проводников в узком месте (см. табл. 31);  $t_{в.о}$  — верхнее предельное отклонение ширины проводника (см. табл. 31);  $S_{\min D}$  — минимально допустимое расстояние между соседними элементами проводящего рисунка; для обеспечения заданной электрической прочности изоляции расстояние между двумя соседними проводниками выбирают в зависимости от приложенного напряжения и условий эксплуатации по табл. 32 и 33

Наименьшее номинальное расстояние между центрами двух не металлизированных отверстий диаметром до 1,5 мм без КП:

$$L_{\text{ном}}=(D_{01}+D_{02})/2+tn+S(n-1)+T_1 \quad (22)$$

где  $D_{01}$  и  $D_{02}$  — диаметры зон вокруг отверстий, свободных от печатных проводников.

Диаметр зоны рассчитывают по формуле

$$D_0=d+\Delta d_{\text{в.о}}+2q+2k+T_d \quad (23)$$

Здесь  $q$  — ширина скола, просветления (ореола) вокруг отверстия (см.табл. 23);

$k$  — наименьшее расстояние от ореола до соседнего элемента проводящего рисунка (см. разд. 7.3);

$T_d$  — определяют по табл. 25

Наименьшее номинальное расстояние для размещения двух контактных площадок номинального диаметра в узком месте для ОПП, ДПП, МПП и ГПК в зависимости от размеров и классов точности ПП выбирают по табл. 29

Таблица 29 Наименьшее номинальное расстояние для размещения двух контактных площадок номинального диаметра в узком месте

Диаметр отверстия, мм	Размер ПП по большей стороне														
	До 180 мм					Свыше 180 мм до 360 мм					Свыше 360 мм				
	Класс точности														
ОПП, ДПП, МПП (внутренний слой), ГПК с отверстиями без металлизации															
0,5...0,5	2,55	1,85	1,25	0,95	0,80	2,65	1,95	1,25	1,05	0,90	2,75	2,05	1,35	1,15	0,90
0,5...0,7	2,65	1,95	1,35	1,05	0,90	2,75	2,05	1,35	1,15	1,00	2,85	2,15	1,45	1,25	1,00
0,5...0,9	2,75	2,05	1,45	1,15	1,00	2,85	2,15	1,45	1,25	1,10	2,95	2,25	1,55	1,35	1,10
0,5...1,1	2,90	2,20	1,60	1,30	1,15	3,00	2,30	1,60	1,40	1,20	3,10	2,35	1,65	1,45	1,20
0,5...1,3	3,00	2,30	1,70	1,40	1,25	3,10	2,40	1,70	1,50	1,30	3,20	2,45	1,75	1,55	1,30
0,5...1,5	3,10	2,40	1,80	1,50	1,35	3,20	2,50	1,80	1,60	1,40	3,30	2,55	1,85	1,65	1,40
0,7...0,9	2,85	2,20	1,55	1,25	1,10	2,95	2,25	1,55	1,35	1,20	3,05	2,35	1,65	1,45	1,20
0,7...1,5	3,20	2,50	1,90	1,60	1,45	3,30	2,60	1,90	1,70	1,50	3,40	2,65	1,95	1,75	1,50
0,9...0,9	2,95	2,25	1,65	1,35	1,20	3,05	2,35	1,65	1,45	1,30	3,15	2,45	1,75	1,55	1,30
0,9...1,5	3,30	2,60	2,00	1,70	1,55	3,40	2,65	2,00	1,80	1,60	3,50	2,75	2,05	1,85	1,60
1,0...1,0	3,05	1,35	1,75	1,45	1,30	3,15	2,45	1,75	1,55	1,40	3,25	2,55	1,85	1,65	1,40
1,1...1,1	3,25	2,55	1,95	1,65	1,50	3,35	2,65	1,95	1,75	1,50	3,45	2,65	1,95	1,75	1,50
1,1...1,3	3,35	2,65	2,06	1,75	1,60	3,45	2,75	2,06	1,85	1,60	3,55	2,75	2,05	1,85	1,60
1,3...1,3	3,45	2,75	2,15	1,85	1,70	3,55	2,85	2,15	1,85	1,70	3,65	2,85	2,16	1,95	1,70
1,3...1,5	3,55	2,85	2,25	1,95	1,80	3,65	2,95	2,25	2,05	1,80	3,75	2,95	2,25	2,05	1,80
1,5...1,5	5,65	2,95	2,35	2,05	1,90	3,75	3,05	2,35	2,15	1,90	3,85	3,05	2,35	2,15	1,90
ДПП, МПП (наружный слой), ГПК с металлизированными отверстиями															
0,5...0,5	2,65	1,95	1,25	0,95	0,80	2,75	1,95	1,35	1,05	0,90	2,75	2,05	1,45	1,15	0,90
0,5...0,7	2,75	2,05	1,35	1,05	0,90	2,85	2,05	1,45	1,15	1,00	2,85	2,15	1,55	1,25	1,00
0,5...0,9	2,85	2,15	1,45	1,15	1,00	2,95	2,15	1,55	1,25	1,10	2,95	2,25	1,65	1,35	1,10
0,5...1,1	2,95	2,25	2,55	1,25	1,10	3,05	2,25	1,65	1,35	1,20	3,05	2,35	1,75	1,45	1,20
0,5...1,3	3,05	2,35	2,65	1,35	1,20	3,15	2,35	1,75	1,45	1,30	3,15	2,45	1,85	1,55	1,30
0,5...1,5	3,15	2,45	2,75	1,45	1,30	3,25	2,45	1,85	1,55	1,40	3,25	2,55	1,95	1,65	1,40
0,7...0,9	2,95	2,25	1,55	1,25	1,10	3,05	2,25	1,65	1,35	1,20	3,05	2,35	1,75	1,45	1,20
0,7...1,5	3,25	2,55	1,90	1,60	1,45	3,30	2,60	1,95	1,70	1,50	3,40	2,65	2,05	1,75	1,55
0,9...0,9	3,05	2,35	1,65	1,35	1,20	3,15	2,35	1,75	1,45	1,30	3,15	2,45	1,85	1,55	1,30
0,9...1,5	3,35	2,75	2,00	1,70	1,55	3,45	2,70	2,05	1,80	1,60	3,50	2,75	2,15	1,85	1,65
1,0...1,0	3,15	2,45	1,75	1,45	1,30	3,25	2,45	1,85	1,55	1,40	3,25	2,55	1,95	1,65	1,40
1,1...1,1	3,25	3,55	1,95	1,65	1,50	3,35	2,65	1,95	1,75	1,50	3,45	2,65	2,05	1,75	1,60
1,1...1,3	2,35	2,65	2,05	1,75	1,60	3,45	2,75	2,05	1,85	1,60	3,55	2,75	2,15	1,85	1,70
1,3...1,3	2,45	2,75	2,15	1,85	1,70	3,55	2,85	2,15	1,95	1,70	3,65	2,85	2,25	1,95	1,80
1,3...1,5	2,55	2,85	2,25	1,95	1,80	3,65	2,95	2,25	2,05	1,80	3,75	2,95	2,35	2,05	1,90
1,5...1,5	3,65	2,95	2,35	2,05	1,90	3,75	3,05	2,35	2,15	1,90	3,85	3,05	2,45	2,15	2,00

Наименьшее номинальное расстояние для размещения печатного проводника номинальной ширины между двумя контактными площадками в узком месте для ОГТП, ДПП, МПП и ГПК в зависимости от размеров и классов точности ПП выбирают по табл. 30

Таблица 30. Наименьшее номинальное расстояние для размещения печатного проводника номинальной ширины между двумя контактными площадками в узком месте

Диаметр отверстия, мм	Размер ПП по большей стороне														
	До 180 мм					Свыше 180 мм до 360 мм					Свыше 360 мм				
	Класс точности														
ОПП, ДПП, МПП (внутренний слой), ГПК с отверстиями без металлизации															
0,5...0,5	4,25	2,85	1,80	1,28	1,02	4,35	2,95	1,80	1,38	1,12	4,45	3,05	1,90	1,48	1,12
0,5...0,7	4,35	2,95	1,80	1,38	1,12	4,45	3,05	1,90	1,48	1,22	4,55	3,15	2,00	1,58	1,22
0,5...0,9	4,45	3,05	1,90	1,48	1,22	4,55	3,15	2,00	1,58	1,32	4,65	3,25	2,10	1,68	1,32
0,5...1,1	4,60	4,20	2,15	1,65	1,37	4,70	3,30	2,15	1,73	1,42	4,80	3,35	2,20	1,78	1,42
0,5...1,3	4,70	4,30	2,25	1,73	1,47	4,80	3,40	2,25	1,83	1,52	4,90	3,45	2,30	1,88	1,52
0,5...1,5	4,80	4,40	2,35	1,83	1,57	4,90	3,50	2,35	1,93	1,62	5,00	3,55	2,40	1,98	1,62
0,7...0,9	4,55	3,15	2,10	1,58	1,32	4,65	3,25	2,10	1,68	1,42	4,75	3,35	2,20	1,78	1,42
0,7...1,5	4,90	3,50	2,45	1,93	1,67	5,00	3,60	2,45	2,03	1,72	5,10	3,65	2,50	2,08	1,72
0,9...0,9	4,65	3,25	2,20	1,68	1,42	4,75	3,35	2,20	1,78	1,52	4,85	3,45	2,30	1,88	1,52
0,9...1,5	5,00	4,60	2,55	2,03	1,77	5,10	3,70	2,55	2,13	1,82	5,20	3,75	2,60	2,18	1,82
1,0...1,0	4,75	3,35	2,30	1,78	1,52	4,85	3,45	2,30	1,88	1,62	4,95	3,55	2,40	1,98	1,62
1,1...1,1	4,95	3,55	2,50	1,98	1,72	5,05	3,65	2,50	2,08	1,73	5,15	3,65	2,50	2,08	1,72
1,1...1,3	5,05	3,65	2,60	2,08	1,82	5,15	3,75	2,60	2,18	1,82	5,25	3,75	2,60	2,18	1,82
1,3...1,3	5,15	3,75	2,60	2,18	1,92	5,25	3,85	2,70	2,28	1,92	5,35	3,85	2,70	2,28	1,92
1,3...1,5	5,25	3,85	2,80	2,28	2,02	5,35	3,95	2,80	2,38	2,02	5,45	3,95	2,80	2,38	2,02
1,5...1,5	5,35	3,95	2,90	2,38	2,12	5,45	4,05	2,90	2,48	2,12	5,55	5,05	2,90	2,48	2,12
ДПП, МПП (наружный слой), ГПК с металлизированными отверстиями															
0,5...0,5	4,35	2,95	1,80	1,28	1,02	4,45	2,95	1,90	1,38	1,12	4,45	3,05	2,00	1,48	1,12
0,5...0,7	4,45	3,05	1,90	1,38	1,12	4,55	3,05	2,00	1,48	1,22	4,55	3,15	2,10	1,58	1,22
0,5...0,9	4,55	3,15	2,00	1,48	1,22	4,65	3,15	2,10	1,58	1,32	4,65	3,25	2,20	1,68	1,32
0,5...1,1	4,65	3,25	2,15	1,63	1,37	4,75	3,30	2,20	1,73	1,42	4,80	3,35	2,30	1,78	1,47
0,5...1,3	4,75	3,35	2,25	1,73	1,47	4,85	3,40	2,30	1,83	1,52	4,90	3,45	2,40	1,88	1,57
0,5...1,5	4,85	3,45	2,35	1,83	1,57	4,95	3,50	2,40	1,93	1,62	5,00	3,55	2,50	1,98	1,67
0,7...0,9	4,65	3,25	2,10	1,58	1,32	4,75	3,25	2,20	1,68	1,42	4,75	3,35	2,30	1,78	1,42
0,7...1,5	4,95	3,55	2,45	1,93	1,67	5,05	3,60	2,50	2,03	1,72	5,10	3,65	2,60	2,08	1,77
0,9...0,9	4,75	3,35	2,20	1,68	1,42	4,85	3,35	2,30	1,78	1,52	4,85	3,45	2,50	1,88	1,52
0,9...1,5	5,05	3,65	2,55	2,03	1,77	5,15	3,70	2,60	2,13	1,82	5,20	3,75	2,70	2,18	1,87
1,0...1,0	4,85	3,45	2,30	1,78	1,52	2,95	3,45	2,40	1,88	1,62	4,95	3,55	2,50	1,98	1,62
1,1...1,1	4,95	3,55	2,50	1,98	1,72	5,05	3,65	2,50	2,08	1,72	5,15	3,65	2,60	2,08	1,82
1,1...1,3	5,05	3,64	2,60	2,08	1,82	5,15	3,75	2,60	2,18	1,82	5,25	3,75	2,70	2,18	1,92
1,3...1,3	5,15	3,75	2,70	2,18	1,92	5,25	3,85	2,70	2,28	1,91	5,35	3,85	2,80	2,28	2,02
1,3...1,5	5,25	3,85	2,80	2,28	2,02	5,35	3,95	2,80	2,38	2,02	5,45	3,95	2,90	2,38	2,12
1,5...1,5	5,35	3,95	2,90	2,38	2,32	5,45	4,05	2,90	2,48	2,12	5,55	4,05	3,00	2,48	2,22

Наименьшее номинальное расстояние для прокладки n печатных проводников между двумя отверстиями с контактными площадками диаметров D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub> рассчитывают по следующей формуле:

$$L_{\text{ном}} = (D_{01} + D_{02}) / 2 + tn + S(n+1) + T_1 \quad (24)$$

Проведя расчет элементов проводящего рисунка и разместив их с учетом обеспечения электрических параметров ФУ, окончательно выбирают метод и ТП изготовления ПП.

Таблица 31. Наименьшие номинальные значения основных параметров для классов точности ПП

Условные обозначения элементов печатного монтажа	Класс точности ПП				
	1	2	3	4	5
t, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b, мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
$\gamma=d/H$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20
$\Delta t$ , мм (без покрытия)	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0; -0,03
$\Delta t$ , мм (с покрытием)	+0,25; -0,20	+0,15; -0,10	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
$T_l$ , мм - ОПП, ДПП, МПП (наружный слой)	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02

Таблица 32 Линейные размеры ПП

Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	
20	30	60	90	100	120	140	150	
	40		100		130		200	
30	40		140	110	150	150	150	
			160		170		170	
40	60	75	75	120	120		180	
45	75		90		140		200	
	80		170		150	160	170	
50	60	80	130		120		160	200
	80		140			170	170	180
	100	90	90			180		200
	150		120			200		280
60	60		150	130	200	200	360	
	80		170					

Таблица 33 Значения рабочего напряжения в зависимости от расстояния между элементами рисунка, расположенными в соседних слоях

Расстояние между элементами рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В	
	Фольгированный гетинакс	Фольгированный стеклотекстолит
От 0,1 до 0,2 включительно	-	25
» 0,2 » 0,3 »		50
» 0,3 » 0,4 »	75	100
» 0,4 » 0,5 »	150	200
» 0,5 » 0,75 »	250	350
» 0,75 » 1,5 »	350	500
» 1,5 » 2,5 »	500	650

## 7. Комплект документов.

Типовой технологический процесс разрабатывается на основе ОСТ 107.460092.004.01–79 “Платы печатные. Общие технические условия”, с доработкой следующих операций:

020 – Получение заготовки.

Выбирается один из следующих методов:

-Получение заготовки на роликовых ножницах.

-Получение заготовок на дисковой пиле.

-Получение заготовок на гильотинных ножницах.

-Получение заготовок штамповкой с пробивкой базовых и технологических отверстий.

Выбор метода производится в зависимости от толщины печатной платы, особенностей выбранного технологического процесса и технологического оборудования имеющегося на предприятии. Описание методов приведены в литературе [2].

Заготовку отрезают с технологическим припусками по контуру на одну или несколько плат. Технологические припуски имеют размеры от 10 до 30 мм с каждой стороны. Технологические припуски могут быть с двух или четырех сторон. На технологических припусках располагаются технологические отверстия которые используются для механического закрепления заготовок на подвесках при гальваническом, химическом меднении.

030 – Определить количество отверстий для сверления для этого необходимо

-подсчитать количество переходных отверстий и определить их диаметр;

-подсчитать количество монтажных отверстий и определить их диаметр;

-подсчитать количество крепежных отверстий и определить их диаметр;

Диаметры монтажных и переходных отверстий должны соответствовать ГОСТ 10317-79. 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,1; 1,2; 1,3; 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 мм, диаметр монтажного отверстия должен быть больше вывода элемента от 0,15 до 0,25 мм.

Монтажные отверстия- отверстия для установки ЭРЭ. Переходные отверстия – отверстия для электрической связи между слоями или сторонам ПП. Крепежные отверстия предусматриваются для крепления на плате габаритных элементов, таких как трансформаторы, мощные транзисторы и т.д.

150 – Механическая обработка

Указывается количество и диаметр крепежных отверстий.

Производят обрезку технологических припусков и указывают натуральные размеры печатной платы.



Методические указания для студентов по выполнению курсового проекта составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО по специальности 09.02.01 Компьютерные системы и комплексы.

Автор:

Преподаватель

  
(подпись)

Бунова О.С.

Методические указания для студентов по выполнению курсового проекта рассмотрены и одобрены на заседании цикловой комиссии механо-технологических и электронно-вычислительных дисциплин «30» 06 2017 г., протокол № 11

Председатель цикловой комиссии

  
(подпись)

И.В. Гурылева