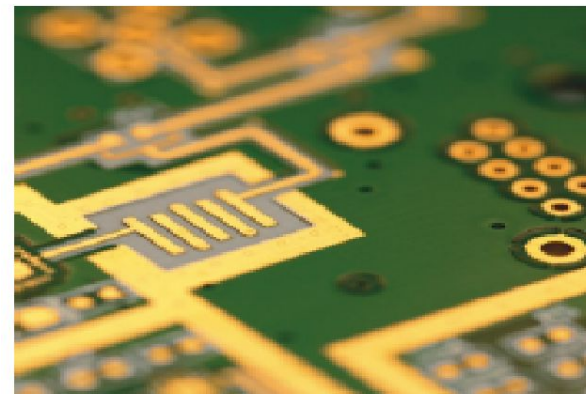
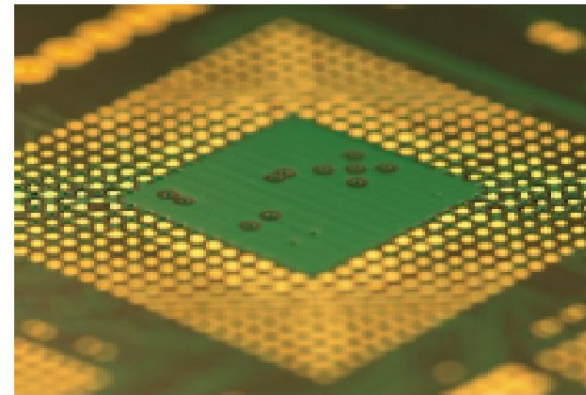
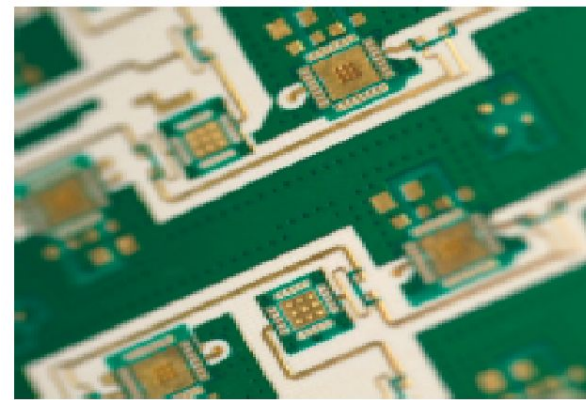


Печатные платы



Характерными тенденциями развития

РЭА являются:

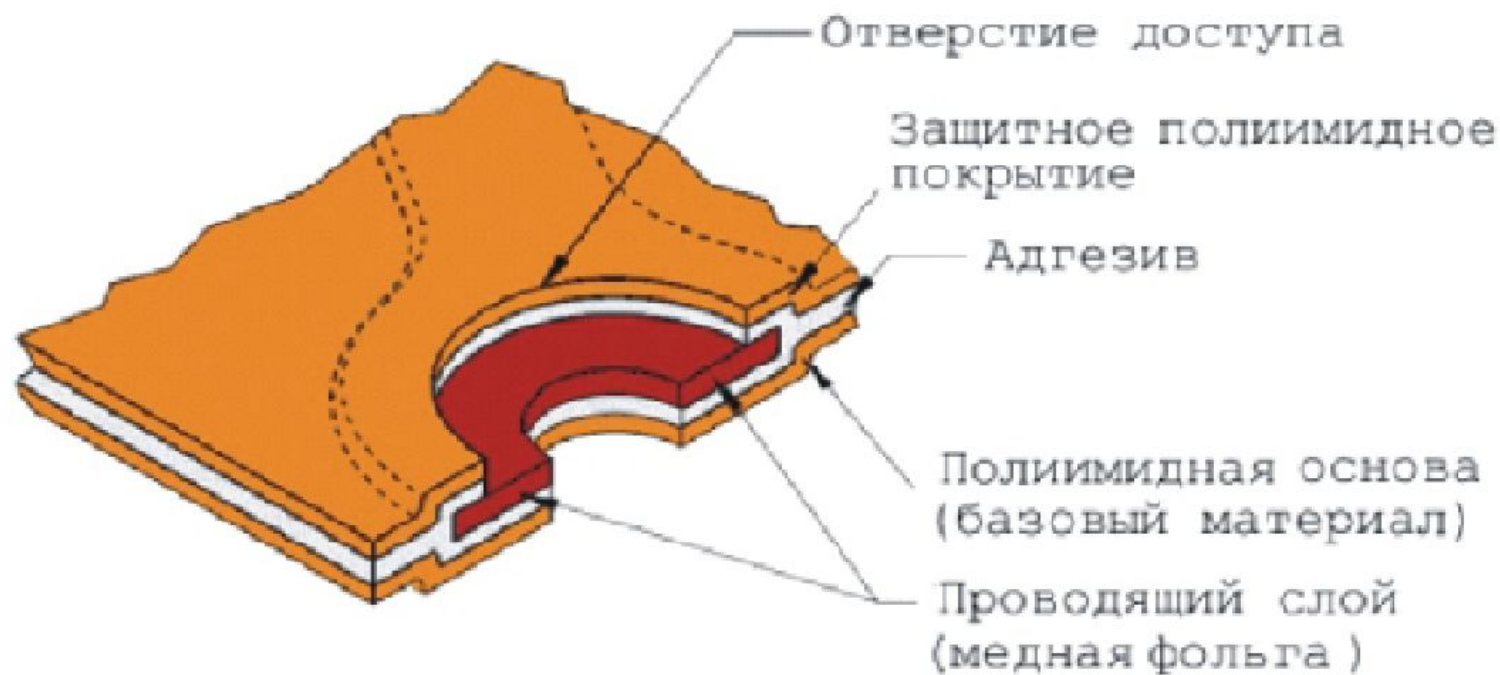
- ❖ **микроминиатюризация;**
- ❖ **увеличение тепловыделения
компонентов;**
- ❖ **увеличение доли цифро-аналоговых
устройств.**

Преимущества печатного монтажа по сравнению с объёмным

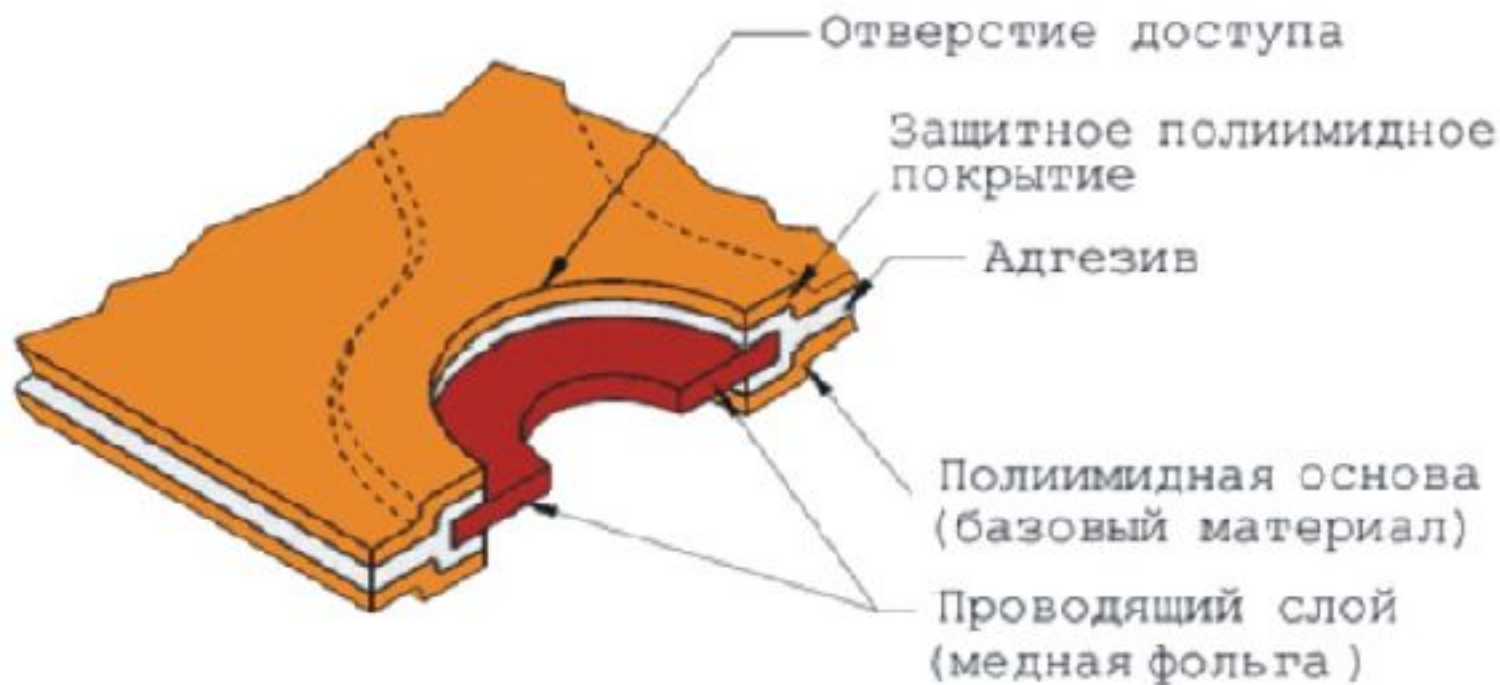
- Возможность автоматизации сборки аппаратуры
- Повторяемость параметров
- Поиск неисправностей проще
- Уменьшение массы РЭА
- Более высокая надёжность
- защита от внешних факторов
- Более низкая стоимость

Печатные платы

1. Односторонние (с проводящим рисунком на одной стороне)
2. Двусторонние (с проводящими рисунками на двух сторонах платы)
3. Многослойные (состоят из нескольких чередующихся слоёв диэлектрика и проводящего рисунка)
4. Гибкие (уменьшение веса, размера, возможность создания объёмных конструкций)



Односторонние гибкие печатные платы с односторонним доступом



Односторонние гибкие печатные платы с двухсторонним доступом

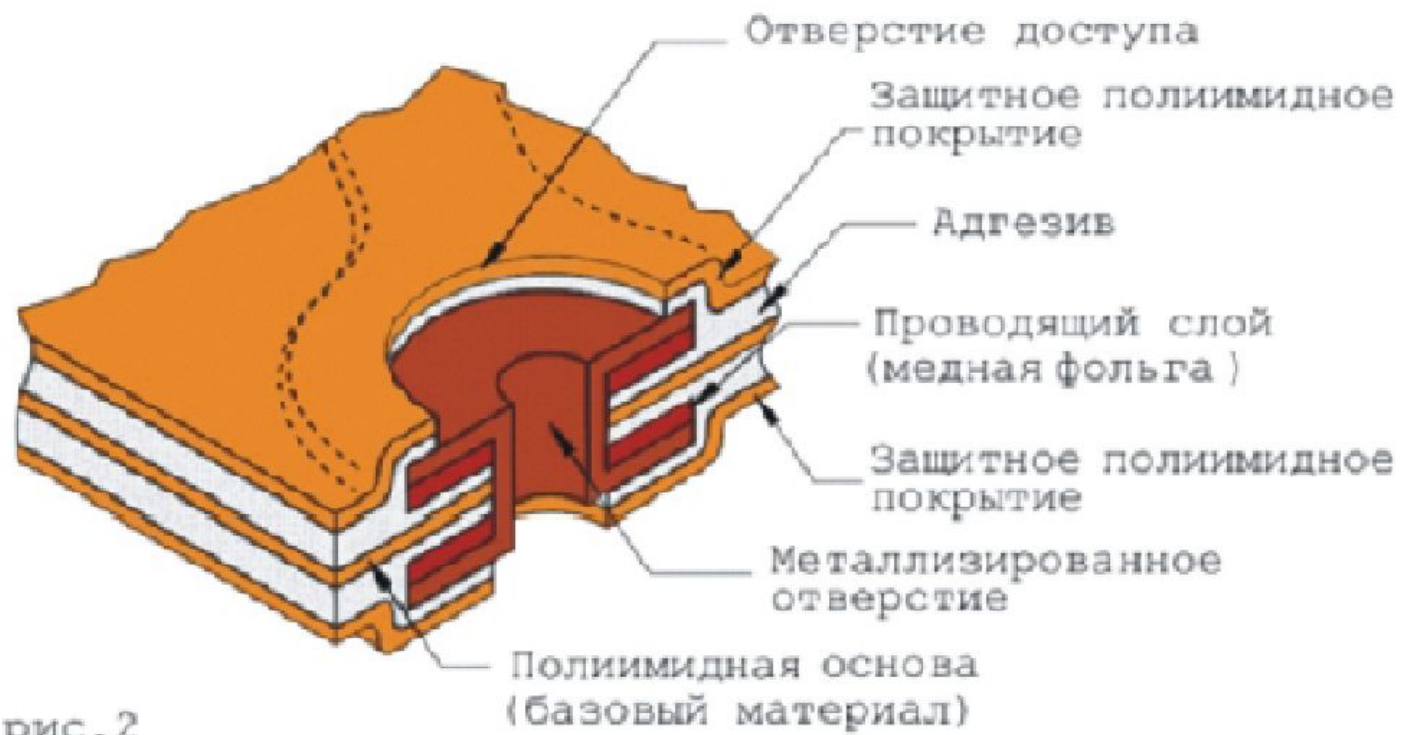
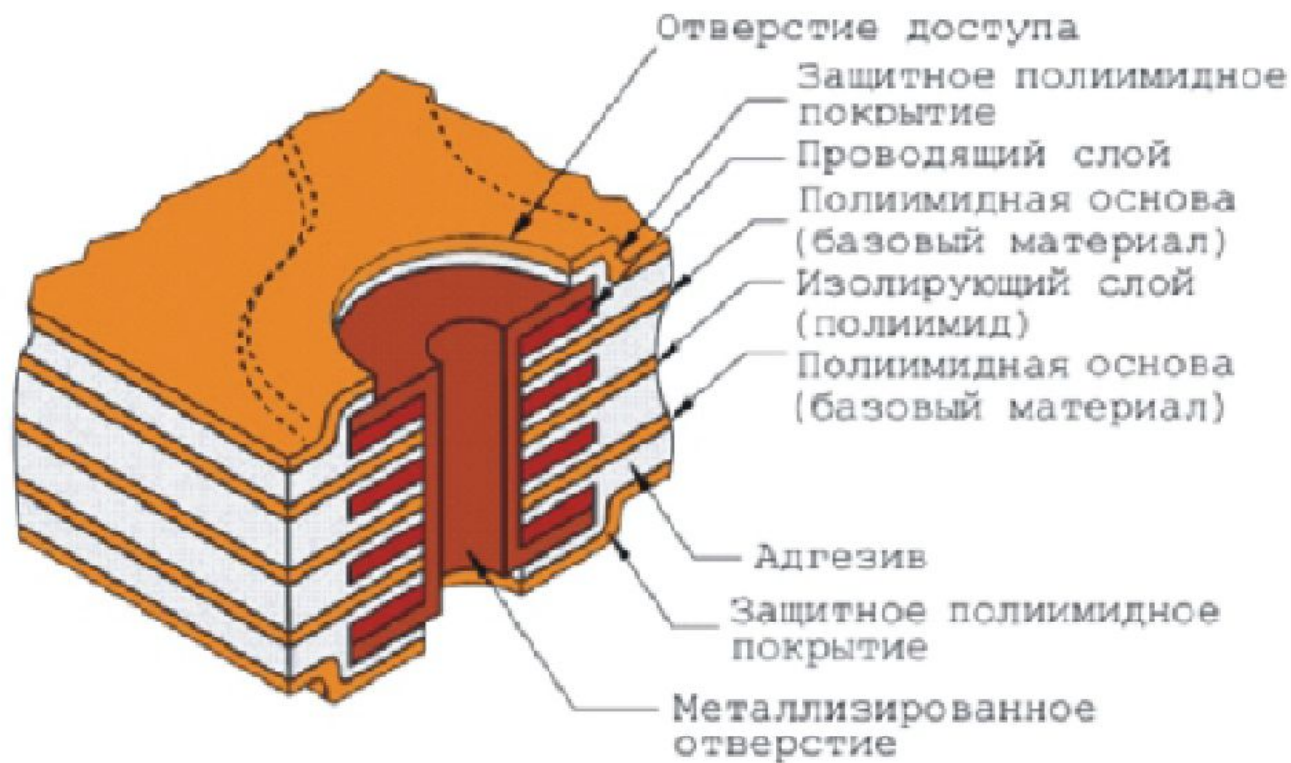


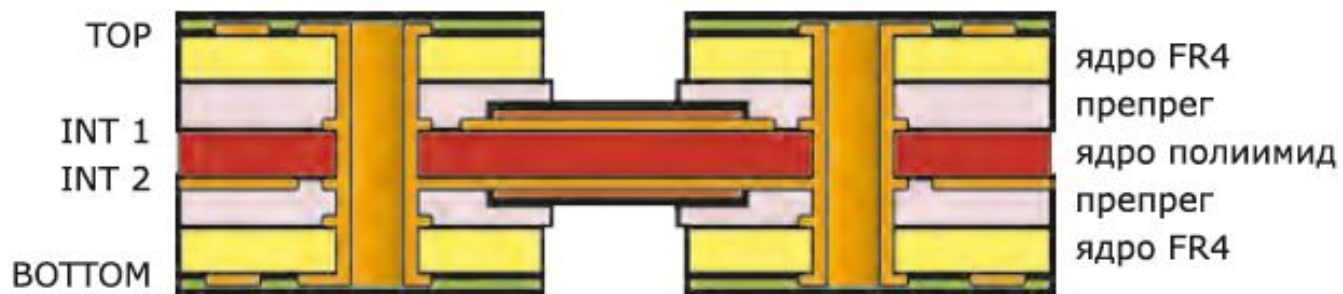
рис. 2

Двухсторонние гибкие печатные платы

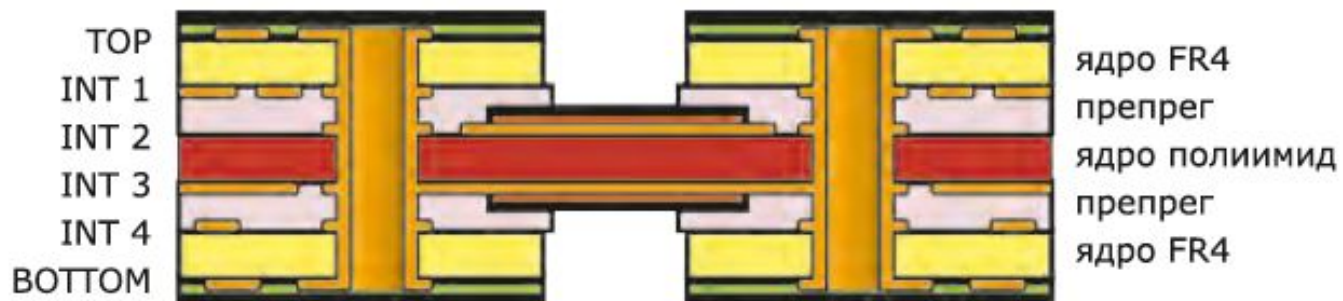


Многослойные гибкие печатные платы

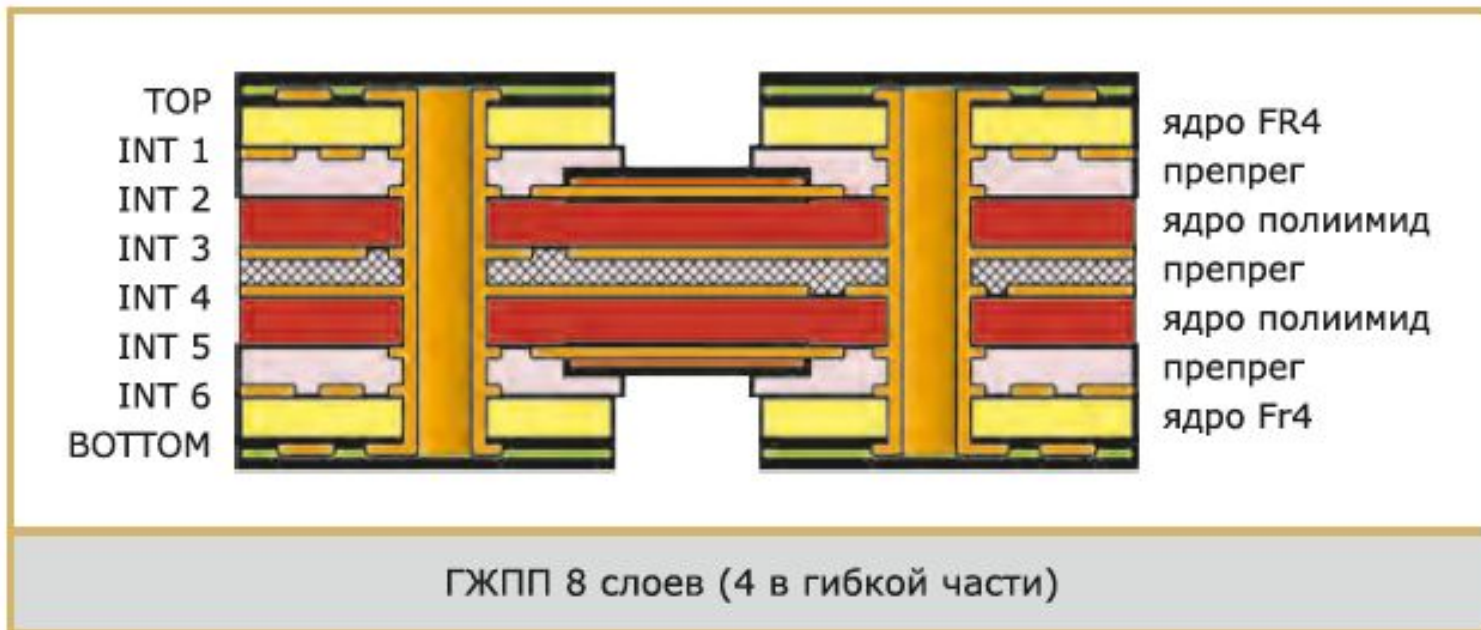
Типовые сборки гибко-жестких ПП с симметричной структурой:



ГЖПП 4 слоя (2 в гибкой части)



ГЖПП 6 слоев (2 в гибкой части)



-  - **ядро Fr4** (толщина 0,06 мм-2,93 мм)
-  - **ядро полиимид** (толщина: 12,5 мкм , 25 мкм, 50 мкм полиимид / 12,5 мкм-25 мкм адгезив)
-  - **защитная полиимидная пленка** (толщина: 12,5 мкм, 25 мкм полиимид / 13 мкм , 25 мкм адгезив)
-  - **препрег нетекучий** (1-2 слоя, толщина 0,1-0,2 мм)
-  - **акриловый/эпоксидный соединительный слой, препрег** (1 слой, толщина 25-125 мкм)
-  - **препрег FR4** (стандартный)

Классификация ПП по действующим в них сигналам

1. Цифровые платы (стеклотекстолит)
2. Аналоговые платы
 - 2.1. Силовые (стеклотекстолит, металл)
 - 2.2. Высокочастотные (препреги, спец. стеклотекстолит)
3. Цифро-аналоговые платы

Типовая двухсторонняя ПП

Категория	Компоненты, комментарии
FR-1	бумага, фенольная композиция: прессование и штамповка при комнатной температуре, высокий коэффициент гигроскопичности
FR-2	бумага, фенольная композиция: применимый для односторонних печатных плат бытовой техники, невысокий коэффициент гигроскопичности
FR-3	бумага, эпоксидная композиция: разработки с хорошими механическими и электрическими характеристиками
FR-4	стеклоткань, эпоксидная композиция: прекрасные механические и электрические свойства (промышленное оборудование)
FR-5	стеклоткань, эпоксидная композиция: высокая прочность при повышенных температурах, отсутствие воспламенения
G10	высокие изоляционные свойства, наиболее высокая прочность стеклоткани, низкий коэффициент гигроскопичности

Основой печатной платы является подложка из стеклотекстолита. **На поверхности стеклотекстолита находятся токопроводящий слой медной фольги.**

Типовая толщина проводника: **0,035 мм и 0,018 мм.**

Стеклотекстолит – диэлектрик, представляет собой спрессованные листы стеклоткани, пропитанные эпоксидной смолой. (**FR2, FR4**)

Защитная маска – слой прочного материала, предназначенного **для защиты проводников от попадания припоя и флюса** при пайке, а также от перегрева. Маска закрывает основную часть поверхности платы и оставляет открытыми только контактные площадки, которые будут использоваться при пайке компонентов на плату.

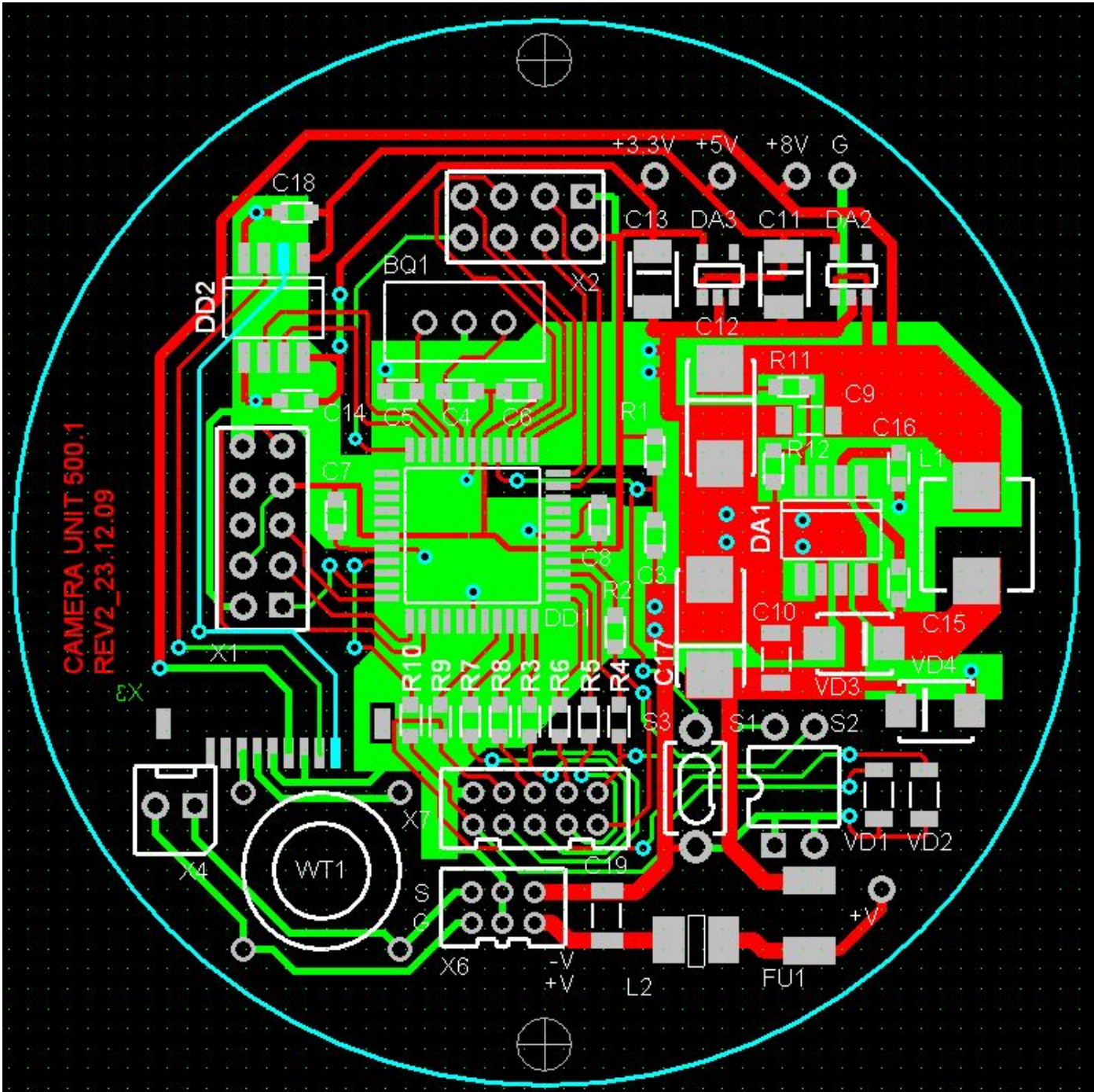
поверхность платы, разрешение при этом до 0,1 мм.

Применяется маркировка для:

- ✓ правильного монтажа компонентов на плату;
- ✓ отладки платы;
- ✓ повышения ремонтпригодности платы.

Маркировка несет следующую информацию:

**контур компонента, его сокращенное название,
позиционное обозначение, полярность,
первый**



Печатные платы с металлическим основанием

Для более эффективного отвода тепла от компонентов применяются ПП на материале с высокой теплопроводностью. Как правило это металлические пластины ламинированные через слой диэлектрика медной фольгой.

Основанием платы служит металлическая пластина. В зависимости от требуемых характеристик выбирается материал. Наиболее часто используются **алюминиевые сплавы**:

Также, в случаях, когда требуется очень высокая теплопроводность, в качестве металлического основания используется **медь** (теплопроводность меди 390 W/mK, недостаток – высокая стоимость) и **нержавеющая сталь** (когда требуется высокая коррозионная стойкость и механическая прочность). Обычно толщина металлического основания находится в пределах от 0,5 до 3 мм.

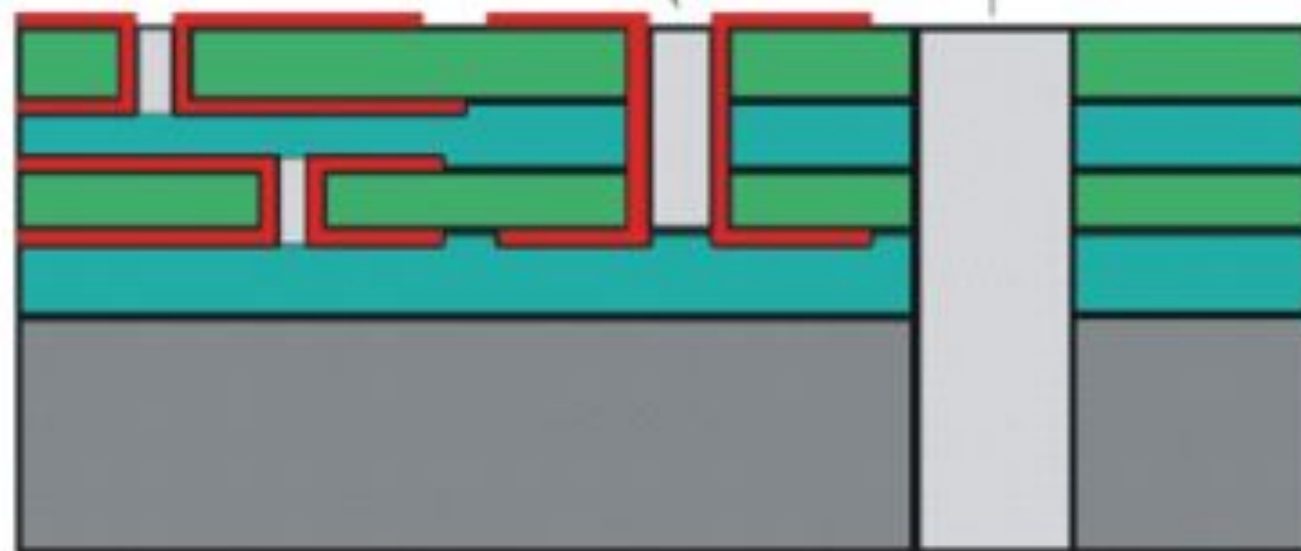
Проводники формируются обычными при производстве печатных плат способами: травлением или фрезерованием медной фольги. Толщина применяемой фольги – от 35 до 350 мкм.

Между металлическим основанием и медной фольгой находится слой диэлектрика толщиной 75-300мкм, наиболее часто используются диэлектрики толщиной 75, 100 и 150 мкм.

No	Тип	Толщина основы, мм	Толщина диэлектрика, мкм	Толщина меди, мкм	Теплопроводность основы, Вт/м К
АЛЮМИНИЙ					
1	T-111 (5052, Амг2.5)	0,8 - 3,0	50 - 150	35 - 350	140
2	T-111(6061, АД33)	0,8 - 3,0	50 - 150	35 - 350	168
3	T-111(1100 АД)	0,8 - 3,0	50 - 150	35 - 350	220
4	T-112 (5052, Амг2.5)	0,8 - 3,0	50 - 150	35 - 350	140
5	T-101 (5052, Амг2.5)	0,8 - 3,0	50 - 150	35 - 350	140
МЕДЬ					
6	T-511 (CU)	0,8 - 3,0	50 - 150	35 - 350	390
СТАЛЬ					
7	T-411 (Stainless steel)	0,8 - 3,0	50 - 150	35 - 350	40

Переходное отверстие

Крепежное отверстие



DS Ламинат T-Preg

Препрег T-Preg

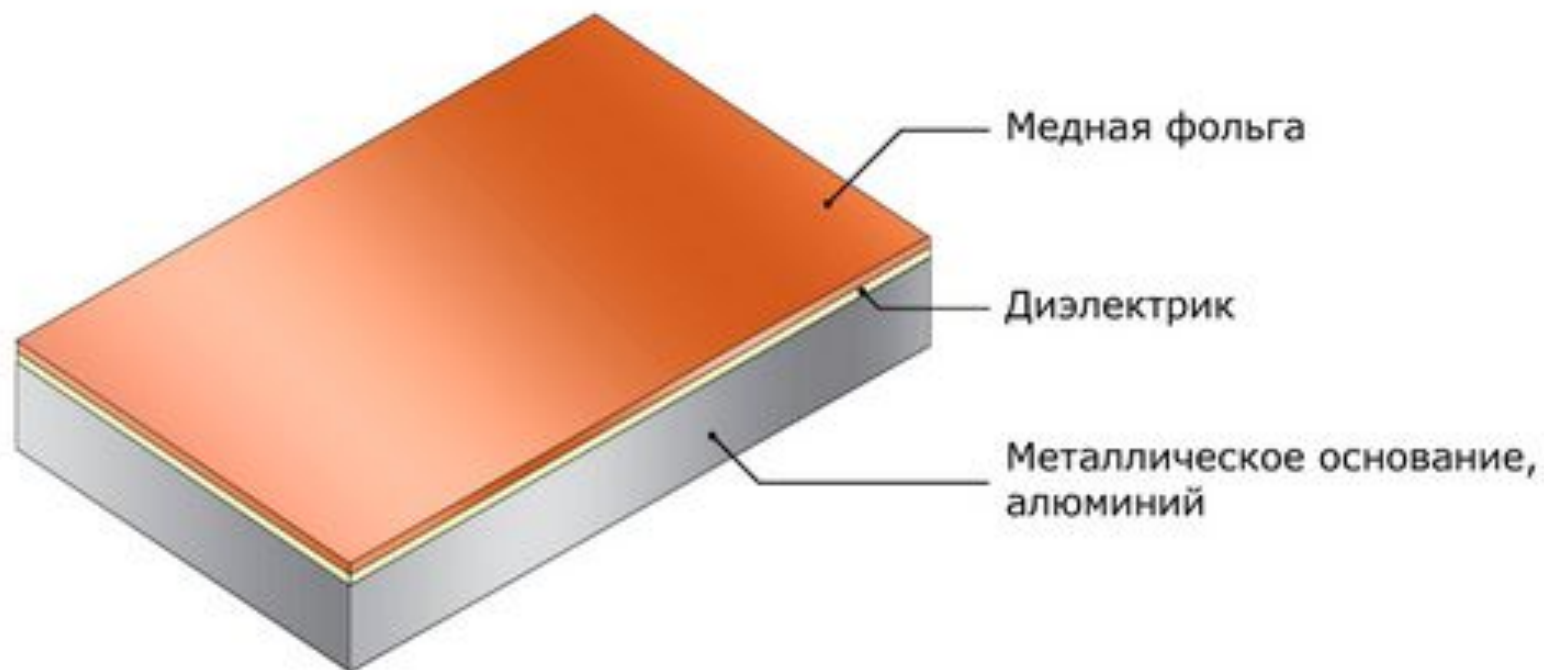
DS Ламинат T-Preg

Препрег T-Preg

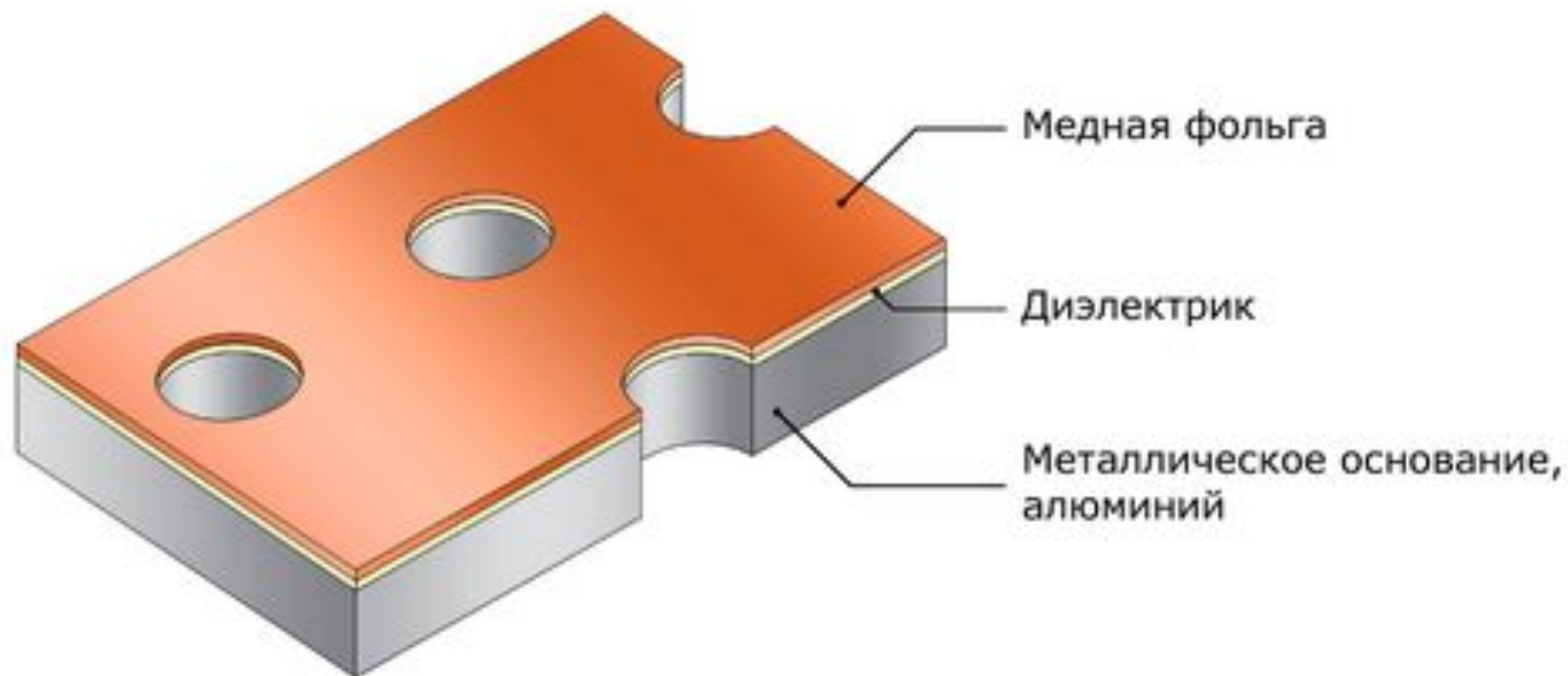
Основание - алюминий

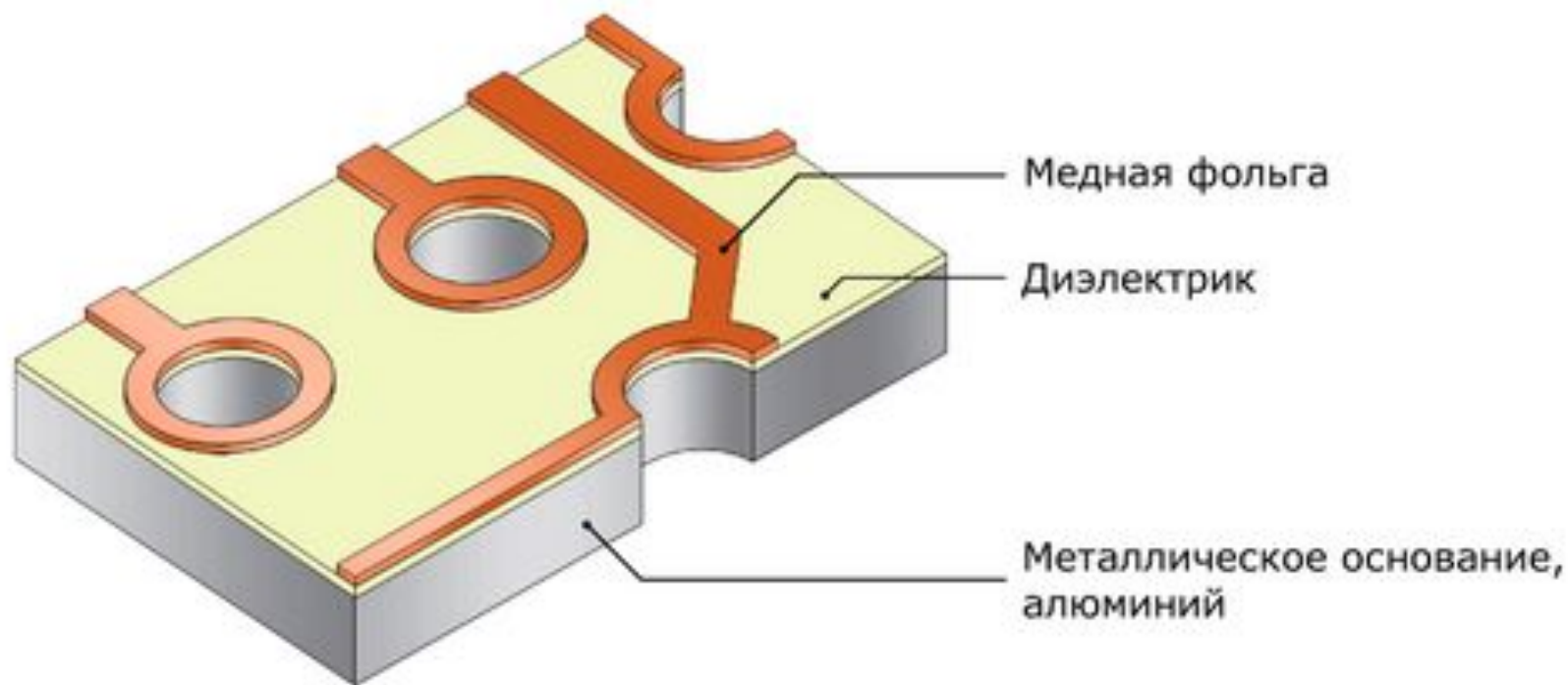
Структура многослойной ПП с металлическим основанием

Исходный материал

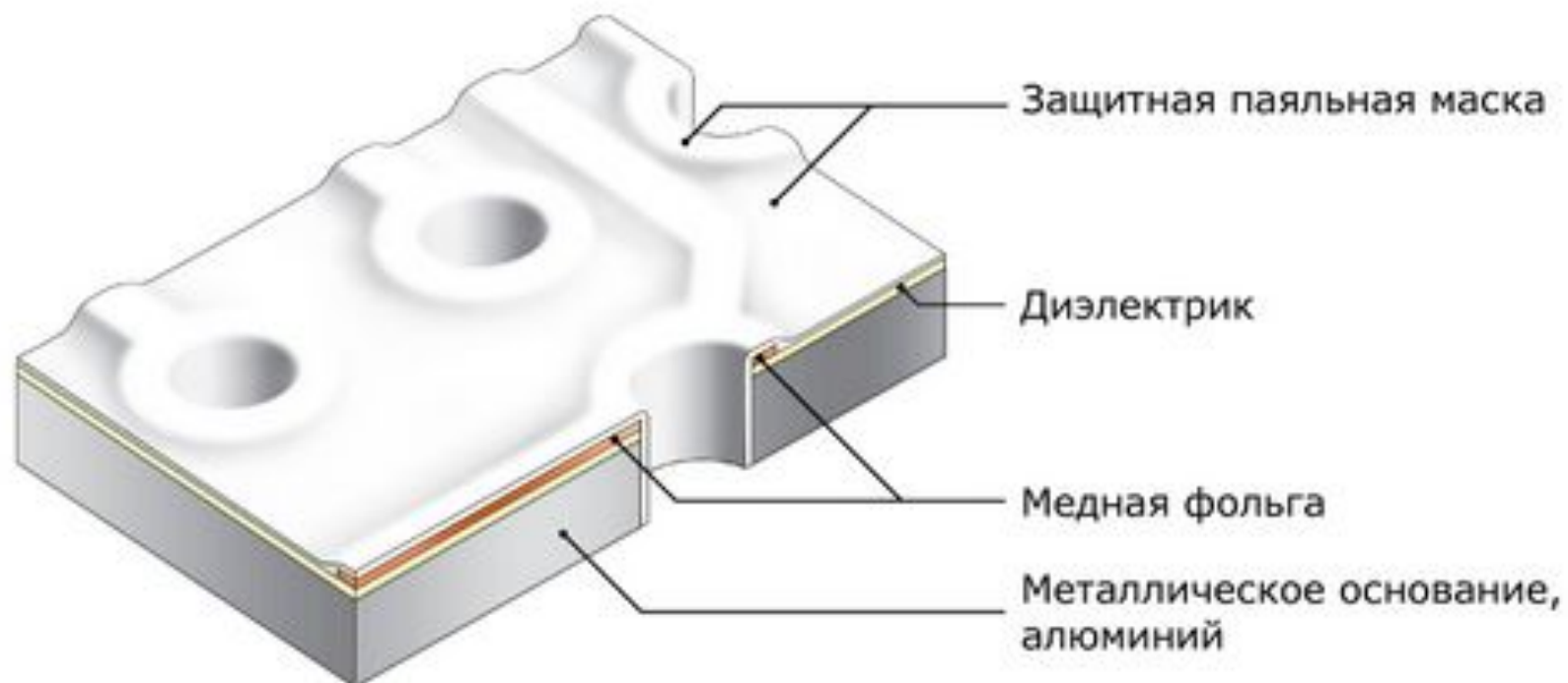


Сверление сквозных отверстий

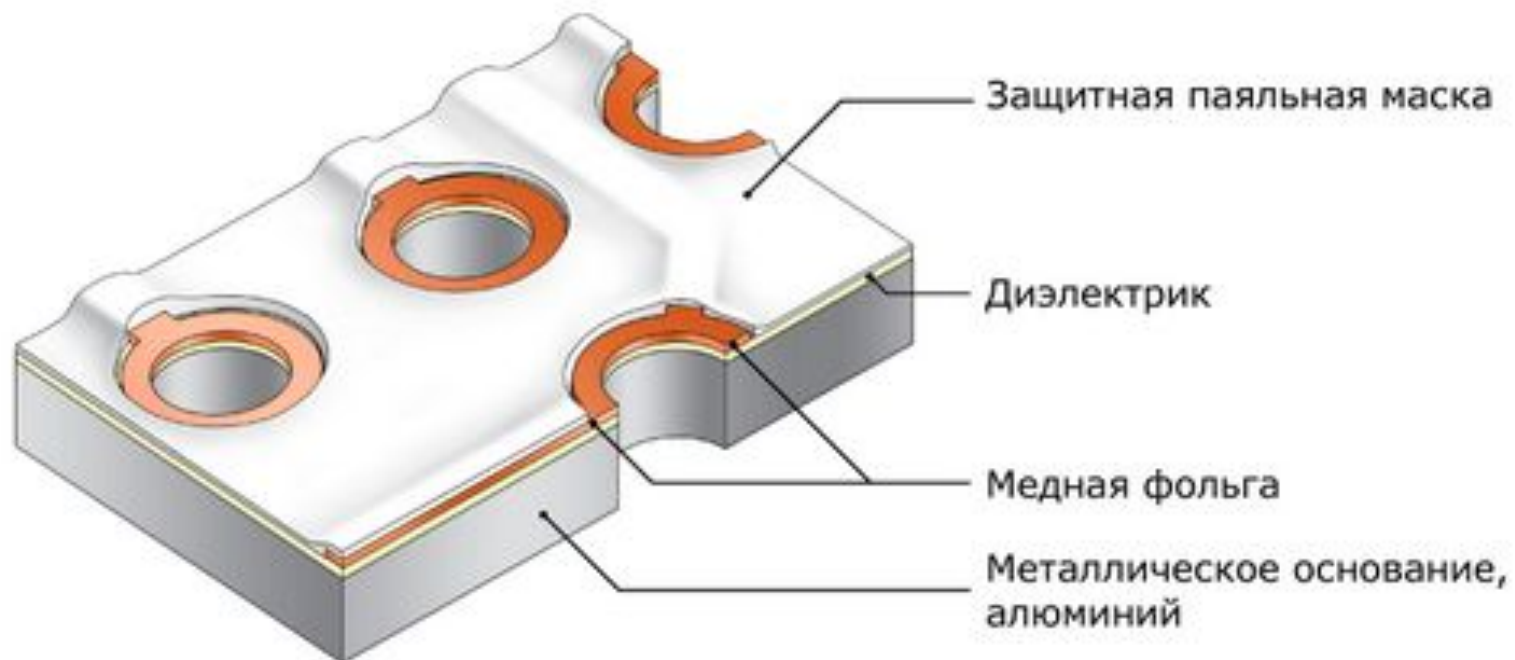




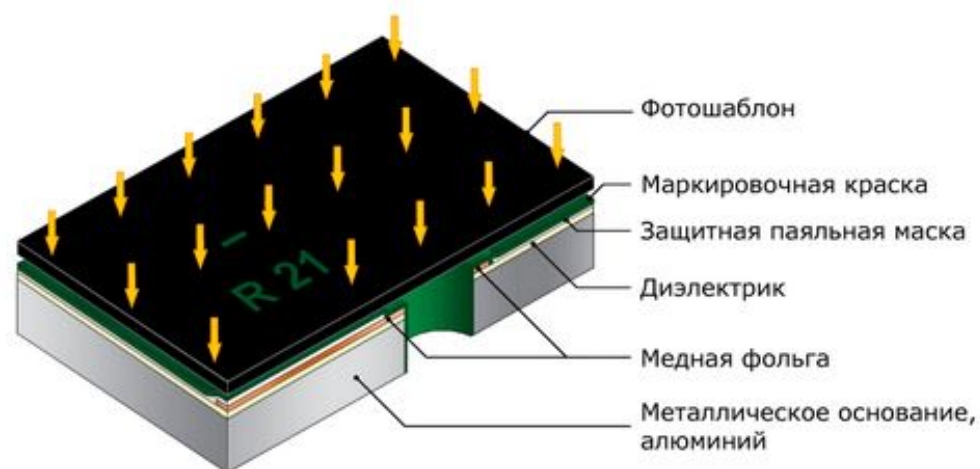
Нанесение защитной паяльной маски



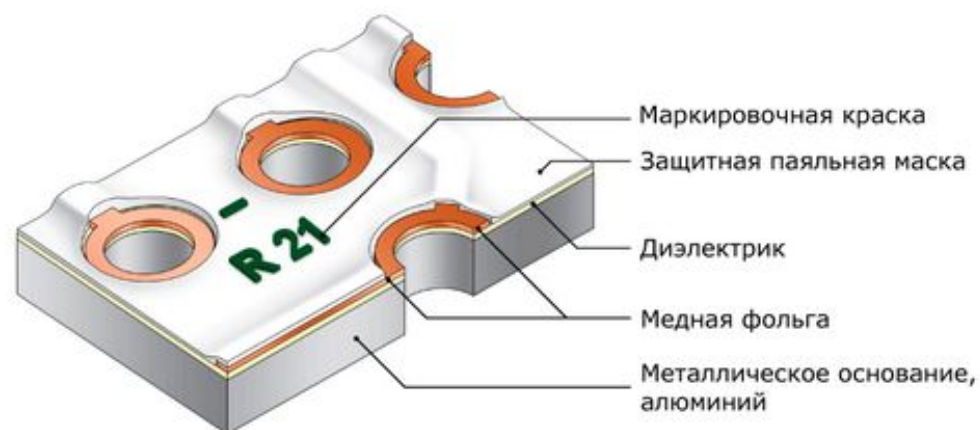
Проявление защитной паяльной маски



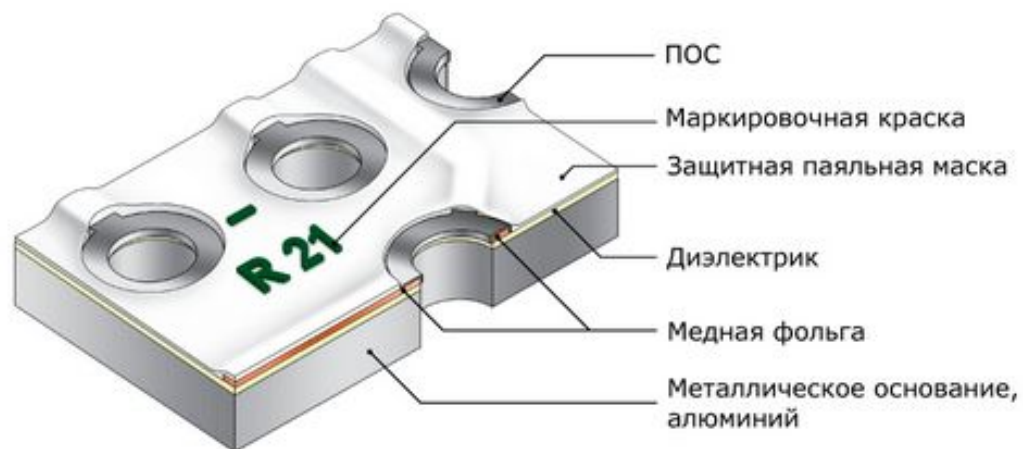
Маркировка наносится после проявления маски.



Через сетчатый трафарет наносится маркировка контуров, позиционных номеров, типов и номиналов компонентов.



Нанесение финишного покрытия HASL



На открытые от маски участки меди различными методами наносится [финишное покрытие](#) для обеспечения качественной пайки.

HASL (Hot Air Solder Leveling). Нанесение припоя путем окунания заготовки в расплавленный припой с последующим выравниванием горячим воздухом. Возможно применение (в разных установках) свинцового и бессвинцового (leadfree) припоя.

СВЧ-ПЛАТЫ

Для производства данного типа плат мы используем специализированные высокочастотные ламинаты и препреги:

- ФАФ-4Д
- Rogers RO4000 series (RO4003, RO4350, препрег RO4450)
- Arlon AD series, DiClad series, CuClad series, TC series, 25 series (25N, 25FR)
- Taconic TLX series, RF series, CER-10
- FR4, Hi Tg FR4 (для гибридных конструкций МПП).

Данные материалы представляют собой армированные стекловолокном политетрафтор-этиленовые, гидрокарбонатные/керамические термоактивные ламинаты с малым тангенсом диэлектрических потерь, диэлектрической проницаемостью от 2,3 до 10,2. Данные материалы широко используются для производства печатных плат, применяемых в устройствах с рабочими частотами от 500 МГц и выше.

МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ ПОВЫШЕННОЙ СЛОЖНОСТИ

Использование микросхем в корпусах BGA часто влечет за собой повышение сложности многослойных печатных плат: возрастает количество используемых слоев, возникает необходимость применения скрытых и «слепых» переходных отверстий.

При использовании компонентов с повышенным тепловыделением может оказаться необходимым использование дополнительных теплоотводящих слоев и торцевой металлизации.

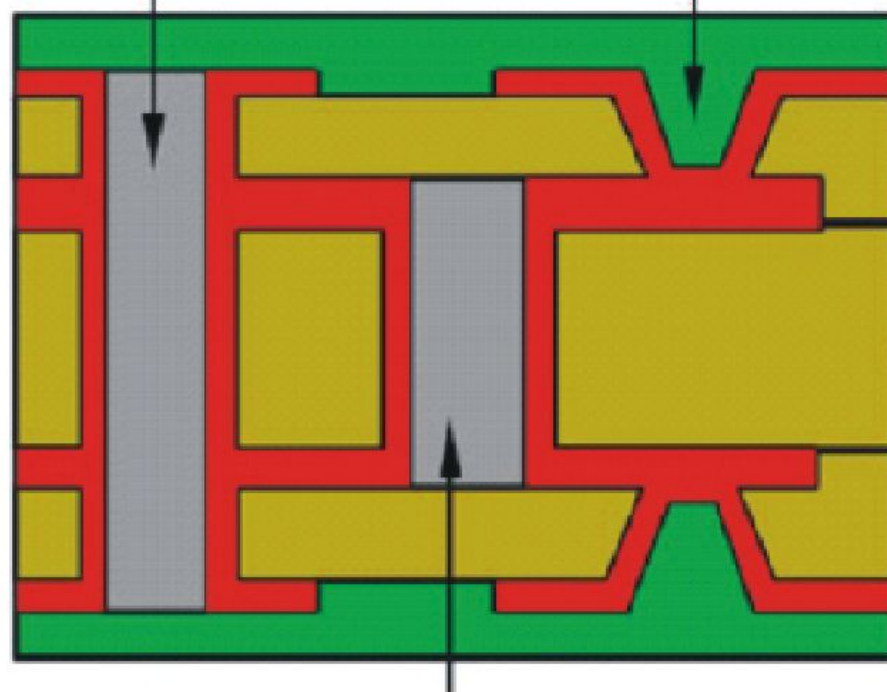
Современные технологии позволяют делать переходные отверстия со следующими параметрами:

- механическое сверление (диаметр отверстия/диаметр площадки): 150/350 мкм;
- лазерное сверление: 100/250 мкм;
- количество слоев до 40.

В качестве теплоотводящих слоев возможно использование медной фольги толщиной до 200 мкм (6 oz).

Сквозное ПО

Слепое ПО
(лазерное сверление)



Масочное покрытие

Проводящий слой
(медная фольга
+
осаждённая медь)

FR4

скрытое ПО

Структура четырехслойной МПП с использованием различных типов переходных отверстий

Условия работы печатной платы

- Действующие токи.
- Действующие напряжения.
- Частоты сигналов.
- Климатические (зависимости от температуры).

Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях ПП

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В
От 0,1 до 0,2 включительно	25
Свыше 0,2 до 0,3	50
0,3...0,4	100
0,4...0,5	200
0,5...0,75	350
0,75...1,5	500
1,5...2,5	650

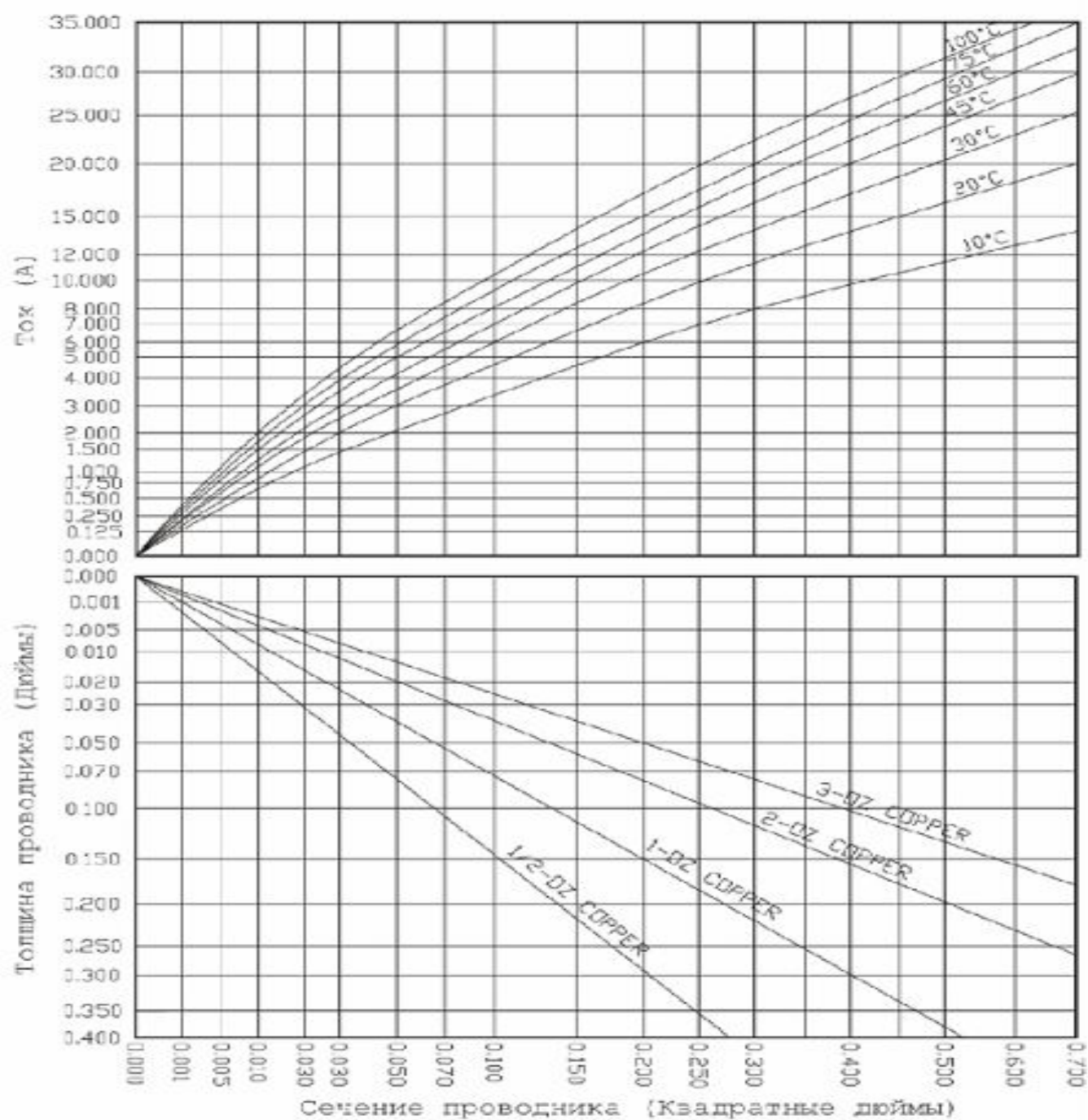
Допустимые рабочие напряжения между элементами проводящего рисунка, расположенными на наружном слое ПП

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В	
	Нормальные условия	Относительная влажность (93+/-3)% при температуре (40+/-2) °С в течение 48 часов
От 0,1 до 0,2 включительно	25	15
Свыше 0,2 до 0,3	50	30
0,3...0,4	150	100
0,4...0,5	300	200
0,7...1,2	400	300
1,2...2,0	600	360
2,0...3,5	830	430
3,5...5,0	1160	600
5,0...7,5	1500	830
7,5...10,0	2000	1160
10,0...15,0	2300	1600

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В	
	Пониженное атмосферное давление	
	53600 Па (400мм рт. ст)	666 Па (5мм рт. ст.)
От 0,1 до 0,2 включительно	20	10
Свыше 0,2 до 0,3	40	30
0,3...0,4	110	50
0,4...0,5	160	80
0,7...1,2	200	100
1,2...2,0	300	130
2,0...3,5	400	160
3,5...5,0	560	210
5,0...7,5	660	250
7,5...10,0	1000	300
10,0...15,0	1160	330

11. Максимально допустимый ток, А, печатных проводников

Размеры проводника			Температура окружающей среды, °С				
Ширина, мм	Толщина, мкм	· Поперечное сечение, мм ²	10	20	30	40	60
0,625	35	0,022	0,8	1,2	1,4	1,7	1,8
1,25	35	0,044	1,4	1,9	2,2	2,6	3
1,875	35	0,066	1,8	2,4	3	3,6	4,1
2,5	35	0,088	2,1	3	3,3	4,4	5,3
0,625	70	0,044	1,4	1,9	2,2	2,6	3
1,25	70	0,088	2,1	3	3,7	4,4	5,7
1,875	70	0,132	2,9	4	5	5,8	6,8
2,5	70	0,176	3,4	5	6,3	7,4	8



Выбор ширины и толщины проводников ПП в зависимости от силы тока: внешние слои

Расстояния между элементами печатного монтажа

Классы точности – все изготовленные платы должны соответствовать определенному классу точности, который определяется комплексом технологических средств или оборудования. Сейчас применяют платы 3-5 классов точности.

- **3-й класс точности** – толщина токопроводящей дорожки должна быть минимум **0,25мм**.
Расстояние между соседними дорожками (элементами печатного монтажа) **0,25мм**.
- **4-й класс точности** – толщина токопроводящей дорожки должна быть минимум **0,2мм**. Расстояние между соседними дорожками (элементами печатного монтажа) **0,2мм**.
- **5-й класс точности** – толщина токопроводящей дорожки должна быть минимум **0,15мм**.
Расстояние между соседними дорожками (элементами печатного монтажа) **0,15мм**.

Компоненты на печатных платах

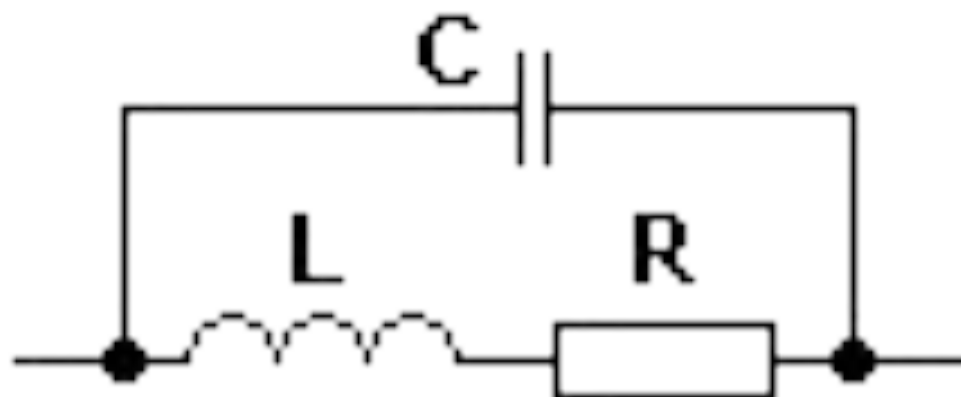


Рис.5. Эквивалентная схема резистора

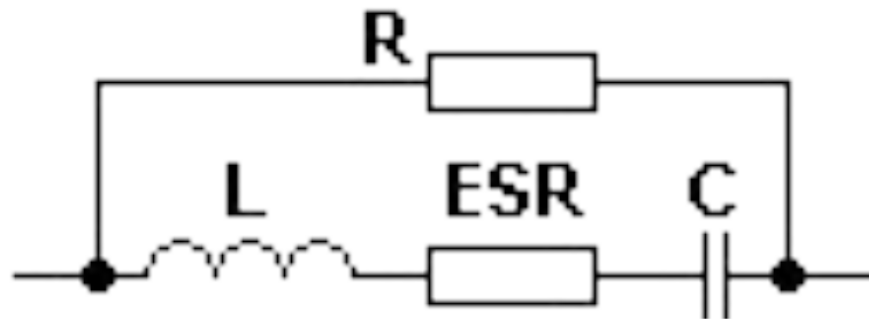


Рис.6. Эквивалентная схема конденсатора

Тип	Максимальная частота
алюминиевый электролитический	100 кГц
танталовый электролитический	1 МГц
слюдяной	500 МГц
керамический	1 ГГц

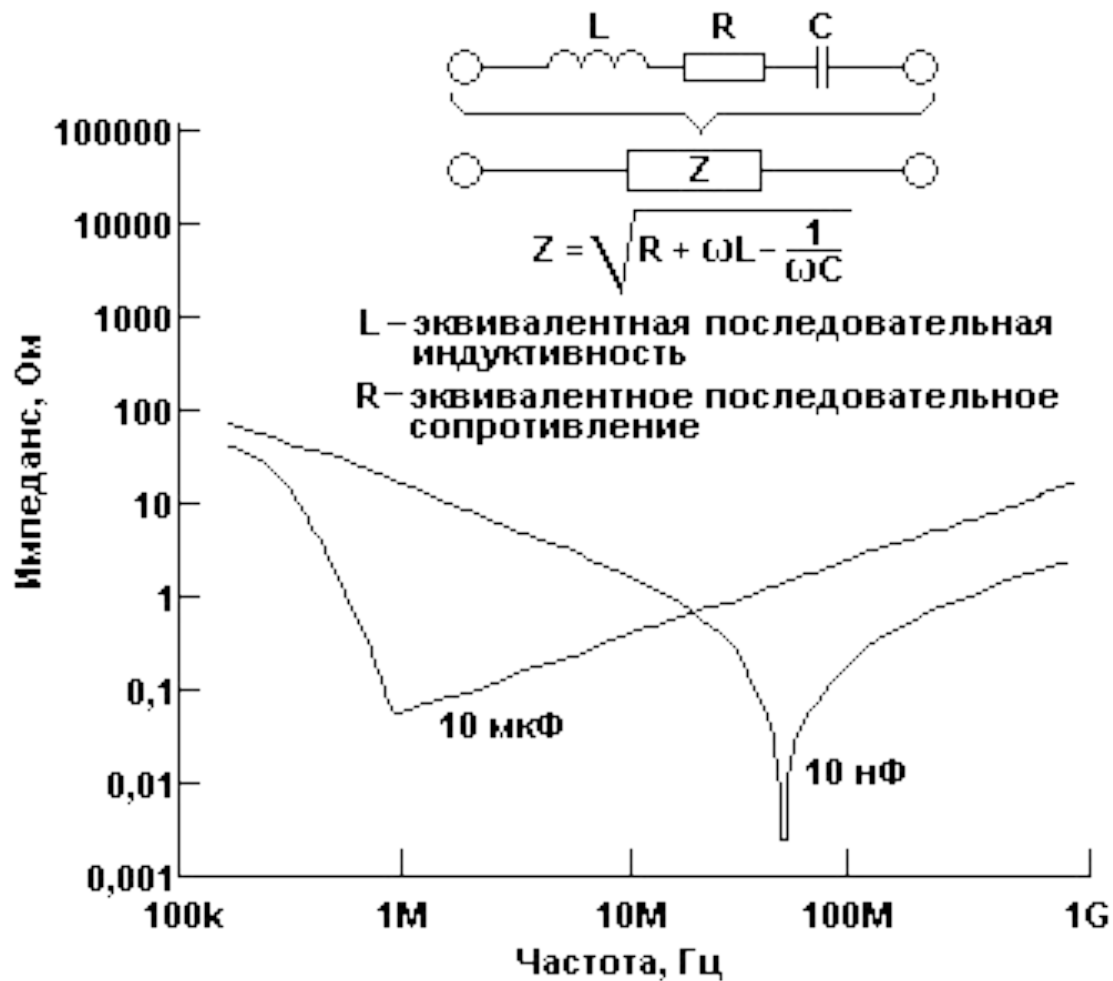


Рис.15. Собственный резонанс конденсатора

Важно понимать, что для эффективной работы конденсатора подавляемые им частоты должны находиться в более низком диапазоне, чем частота собственного резонанса. В противном случае характер реактивного сопротивления будет индуктивным, а конденсатор перестанет эффективно работать.

**Печатная плата - компонент схемы,
который вносит воздействия,
оказывающие влияния на работу
схемы.**

Индуктивность проводника печатной платы:

$$L(\text{нГн}) = 0,0002X \cdot \left[\ln \left(\frac{2X}{W+H} \right) + 0,2235 \left(\frac{W+H}{X} \right) + 0,5 \right], \text{ где}$$

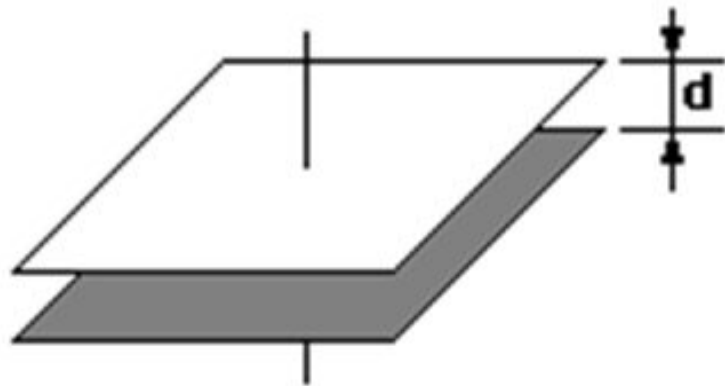
X – длина проводника

W – ширина проводника

H – толщина проводника

Проводники на печатной плате обладают значениями индуктивности от **6 нГн** до **12 нГн** на **1 см** длины. Например, **10-сантиметровый** проводник обладает сопротивлением **57 мОм** и индуктивностью **8 нГн** на **1 см**. На частоте **100 кГц** реактивное сопротивление становится равным **50 мОм**, а на более высоких частотах проводник будет представлять собой скорее индуктивность, чем активное сопротивление.

Межслойная емкость:



$$C = 0,0085 \times E_R \times \frac{A}{d}, \text{ где}$$

C - емкость, пФ

E_R - диэлектрическая постоянная

A - площадь перекрытия, мм²

d - расстояние между слоями

Рис.10. Расчет межслойной емкости

Диэлектрическая постоянная для FR-4 равна 4,5.

Например, печатная плата может обладать следующими параметрами:

- 4 слоя; сигнальный и слой полигона земли - смежные,
- межслойный интервал - 0,2 мм,
- ширина проводника - 0,75 мм,
- длина проводника - 7,5 мм.

В результате получается значение емкости между слоями **1,1 пФ**

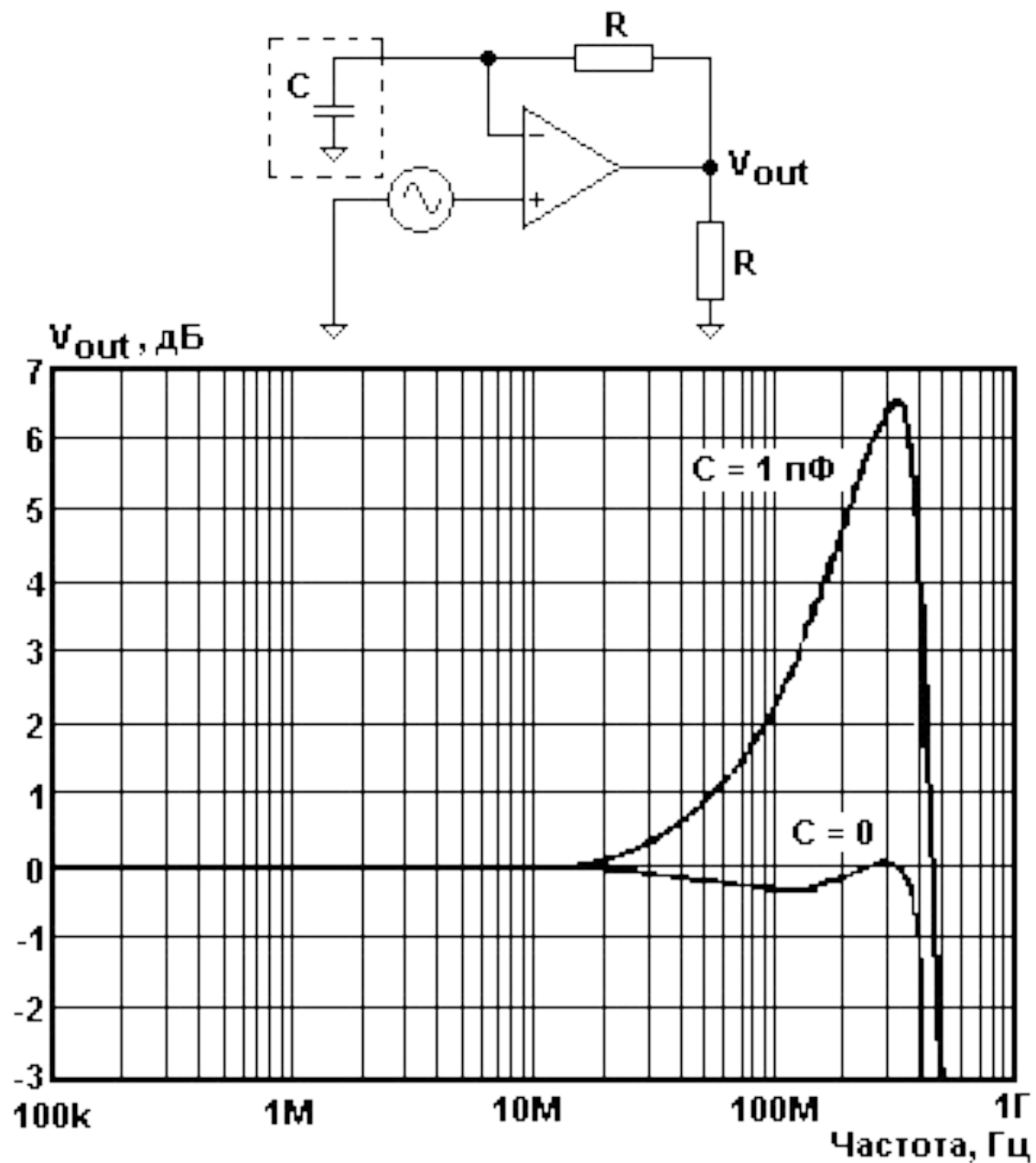


Рис.11. Эффект от емкости на инвертирующем входе операционного усилителя

$$L \approx \frac{h}{5} \times \left(1 + \ln \left(\frac{4h}{d} \right) \right) \text{ нГн}$$

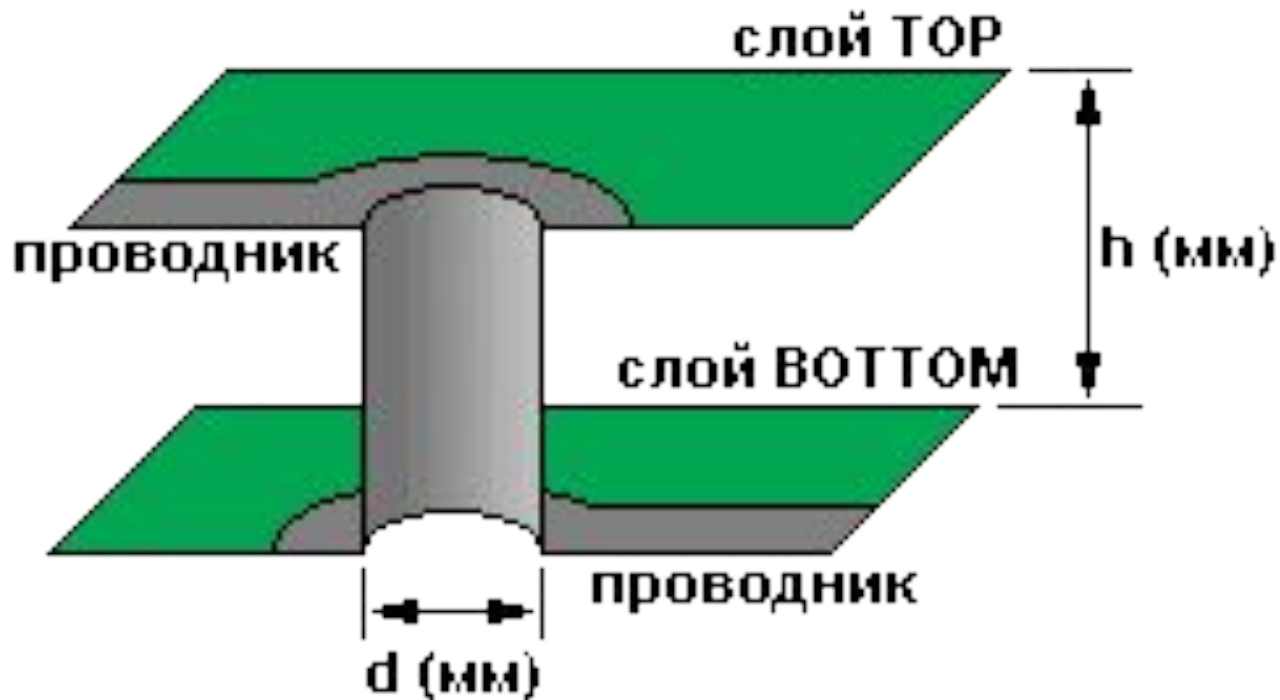


Рис.13. Индуктивность переходного отверстия

Вывод: нужно избегать большого числа переходных отверстий при разводке важных цепей.

Алгоритм разработки

- Классифицировать плату согласно ТЗ, уточнить недостающую информацию;
- Учёт конструкции корпуса устройства (высота, тепловые факторы,);
- Выбор типа конструкции (количество плат, их соединение между собой, типы плат)
- Выбор материала для печатной платы, структуры слоёв, толщины слоёв, наличия маски (критерии выбора).
- Создание контура печатной платы.

Алгоритм разработки

- Задание правил проектирования.
- Размещение компонентов на плате, крепёжных отверстий, зон для установки дополнительных устройств, зон запрета для размещения компонентов и трассировки.
- Трассировка печатной платы.
- Добавление дополнительных надписей и дополнительных элементов для этапа отладки и настройки.

Алгоритм разработки

- Проверка печатной платы на соответствие всем правилам проектирования и здравому смыслу.
- Создание КД (перечень элементов, сборочный чертёж и т.д.)
- Подготовка файла заказа печатной платы.
- Отладка работы печатной платы.

Автоматизированное конструирование

- Принцип сквозного проектирования
- Связь с другими САПР
- Средства глобального редактирования (библиотек, схем, плат)
- Создание КД в самой системе Altium Designer (генерация отчётов, СБ)
- Автоматизированная нумерация позиционных обозначений

Автоматизированное конструирование

- Автоматическое размещение компонентов
- Автоматическая трассировка
- Работа с полигонами
- Автоматическая прошивка переходными отверстиями (меньше путь тока, надёжнее связь между полигонами)
- Автоматическое экранирование дорожек

Критерии размещения компонентов

1. Группировка компонентов по **функциональным группам** (усилительный каскад на транзисторе, микросхема с обвязкой, фильтр).
2. Аналоговая часть схемы размещается вблизи разъёма питания.
3. Аналоговая и цифровая части схемы размещаются отдельно.

4. Размещение с учётом **минимизации длины линий** питания, земли, аналоговых ВЧ линий, линий возвратных токов.

5. Размещение компонентов с учётом **теплового режима**.

6. Размещение компонентов с учётом **электромагнитной совместимости** (взаимное расположения элементов с точки зрения минимизации электромагнитных помех)

7. оптимальное / рациональное размещение внешних выводов модулей;

8. Минимизация числа переходных отверстий.

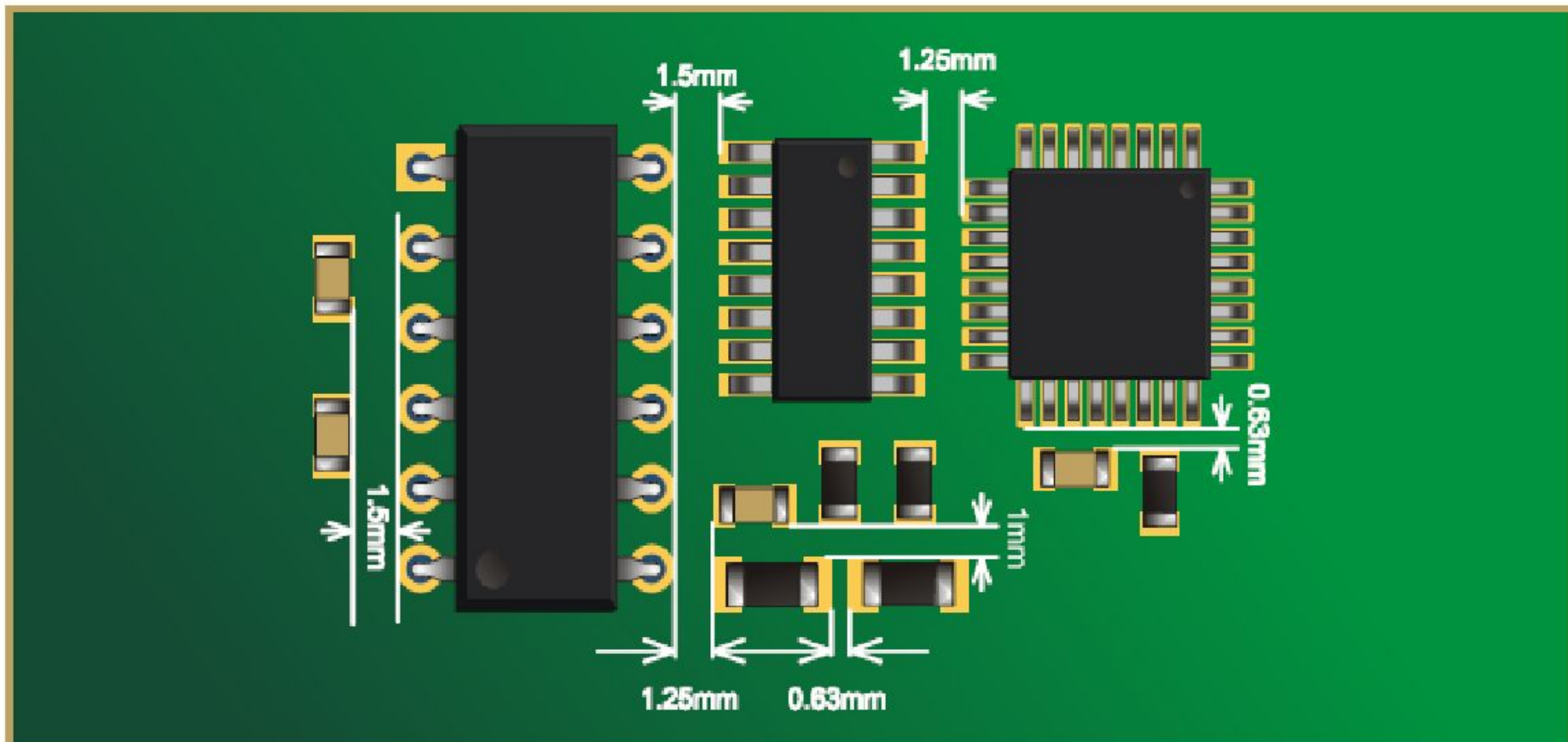


Рис.4. Пример хорошего размещения компонентов на плате

С одной стороны необходимо обеспечить минимальные расстояния между компонентами. Но слишком близкое размещение компонентов приводит к:

- снижению ремонтнопригодности;
- затруднению проверки паяных соединений.

Рекомендуемые зазоры – 0,6...0,8 мм между чип-компонентами;
1 мм – между чип-компонентами и крупными элементами платы;
1,2...1,5 мм – между микросхемами и крупными компонентами; и 1,5 мм
между SMD и выводными компонентами.



Расстояния между компонентами

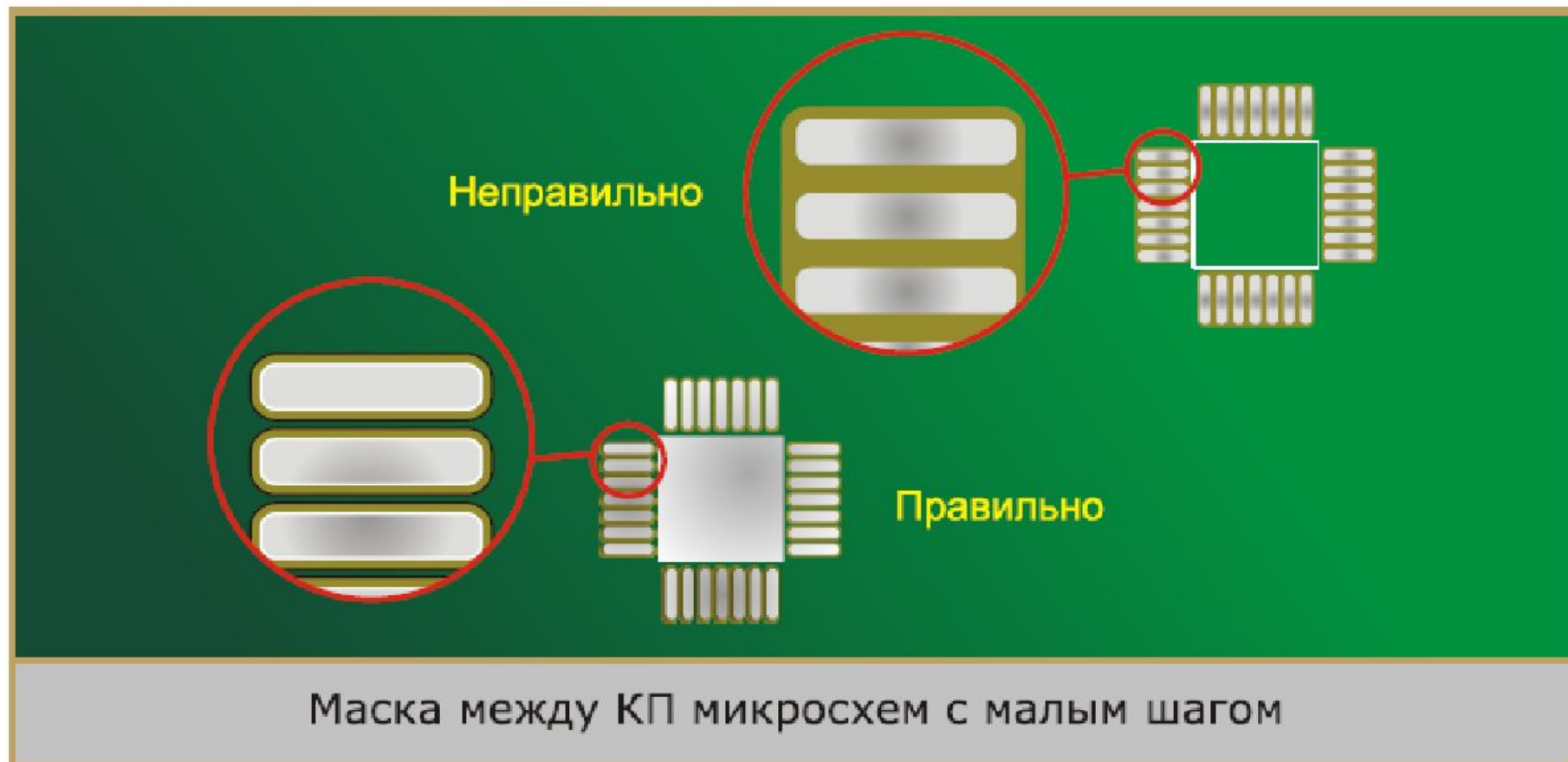
Трассировка печатной платы

КОНТАКТНЫЕ ПЛОЩАДКИ

Чтобы избежать перетекания припоя, произвольного смещения компонентов и других дефектов пайки, нельзя допускать расположения переходных отверстий на контактных площадках элементов или в непосредственной близости от них. Как уже говорилось, необходимо, чтобы контактные площадки компонентов были отделены от переходных отверстий, других контактных площадок и т.д. паяльной маской.



Подобное правило очень важно для микросхем с малым шагом выводов – их контактные площадки обязательно должны быть разделены маской. Сами переходные отверстия, расположенные в непосредственной близости от контактных площадок, желательно закрыть паяльной маской.



Элементы, расположенные внутри полигонов, должны быть отделены от них термобарьерами. Это позволит избежать неравномерного прогрева разных контактных площадок одного и того же компонента во время пайки и, как следствие, например, смещения этого компонента.



IPC-7351A

При унифицировании посадочных мест на плате для возможности установки на них компонентов в разных типах корпусов и их размерах, необходимо разделять их площадки соблюдая рекомендуемые зазоры, указанные выше. Это позволит избежать дефектов монтажа, связанных с неправильным количеством паяльной пасты и ее распределением.





Неправильно

Вариант решения

Посадочные места для выводных и планарных компонентов

1. Разводка линий питания звездой.
2. Разделение аналоговой и цифровой земли.



Рис.2. Разделение аналоговой и цифровой земли

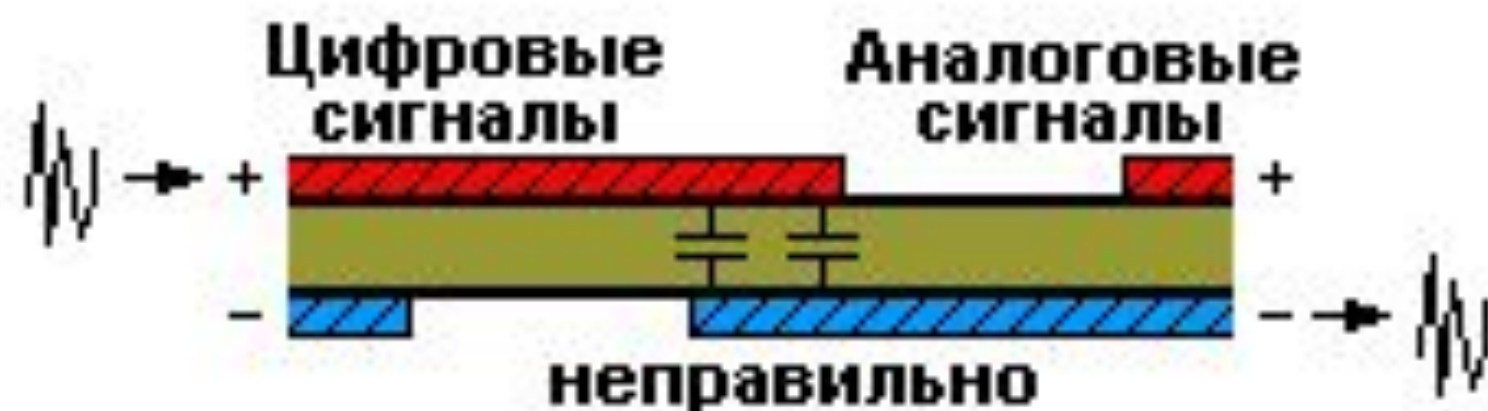


Рис.1. Размещение полигонов аналоговых и цифровых сигналов

Практический опыт

- Много переходных отверстий
- Контрольные точки (проверка пайки, отладка изделий)
- Проблемы с ключом разъемов (номера контактных площадок)
- Разные разъемы для разных подключаемых устройств (защита)
- Шелкография (позволяет избежать ошибок)
- Многослойные платы (двоякость, контроль пайки)
- Сложные контактные площадки
- Добавлять теплоотводы в виде винтов и полигонов

Спасибо за внимание