
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

ВИДЫ, НАЗНАЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

- 1. *Введение.*
- 2. *Назначение и виды ПП: гибкие и жесткие, односторонние, двусторонние, многослойные, рельефные.*
- 3. *Особенности многослойных ПП (МПП), их классификация.*
- 4. *Класс точности ПП.*
- 5. *Критерии выбора размеров элементов конструкции печатной схемы.*
- 6. *Трассировка проводников.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Этапы развития электронной техники



1-е поколение

- блоки с металлическим шасси и панелями,
 - электровакуумные приборы, реле, резисторы и т.д.,
 - проводной монтаж,
 - громоздкость конструкции,
 - большое количество проводов.
-

2-е поколение

- транзисторы,
- несущие конструкции монтажа одно- и двусторонние печатные платы.

Переход на печатный монтаж стал важнейшим этапом в развитии конструирования и технологии электронной аппаратуры.

3-е поколение

- интегральные схемы (ИС),
 - многослойных печатных плат (МПП), к
 - высокая плотность монтажа ИС за счет специализации слоев в структуре МПП (короткий путь передачи сигналов, малые временные задержки в линиях связи)
-

4 и 5 поколение

- большие (БИС) и сверхбольшие (СБИС) интегральные схемы,
 - еще более высокими требованиями к плотности монтажа,
 - прецизионные ПП (трассировка 3-проводников между сквозными отверстиями),
 - крупноформатные (600-700 мм) ПП, многослойные ПП (24 слоя)
-

Закон Гордона Мура

- *число транзисторов, которое можно включить в состав интегральной схемы, удваивается примерно каждые два года.*
-

Закон Мура в автомобильной и авиационной промышленности

- «Semiconductor Industry & Business Survey»:
«...если бы эти отрасли развивались такими же темпами, как производство полупроводников на протяжении последних 30 лет, то сегодня автомобиль «Роллс-Ройс» стоил бы 2 доллара 75 центов и был бы способен преодолеть расстояние в полторы тысячи километров на одном литре бензина, а самолет «Боинг-767», при цене в 500 долларов, мог бы облететь вокруг земного шара за 20 минут, истратив лишь канистру керосина...»

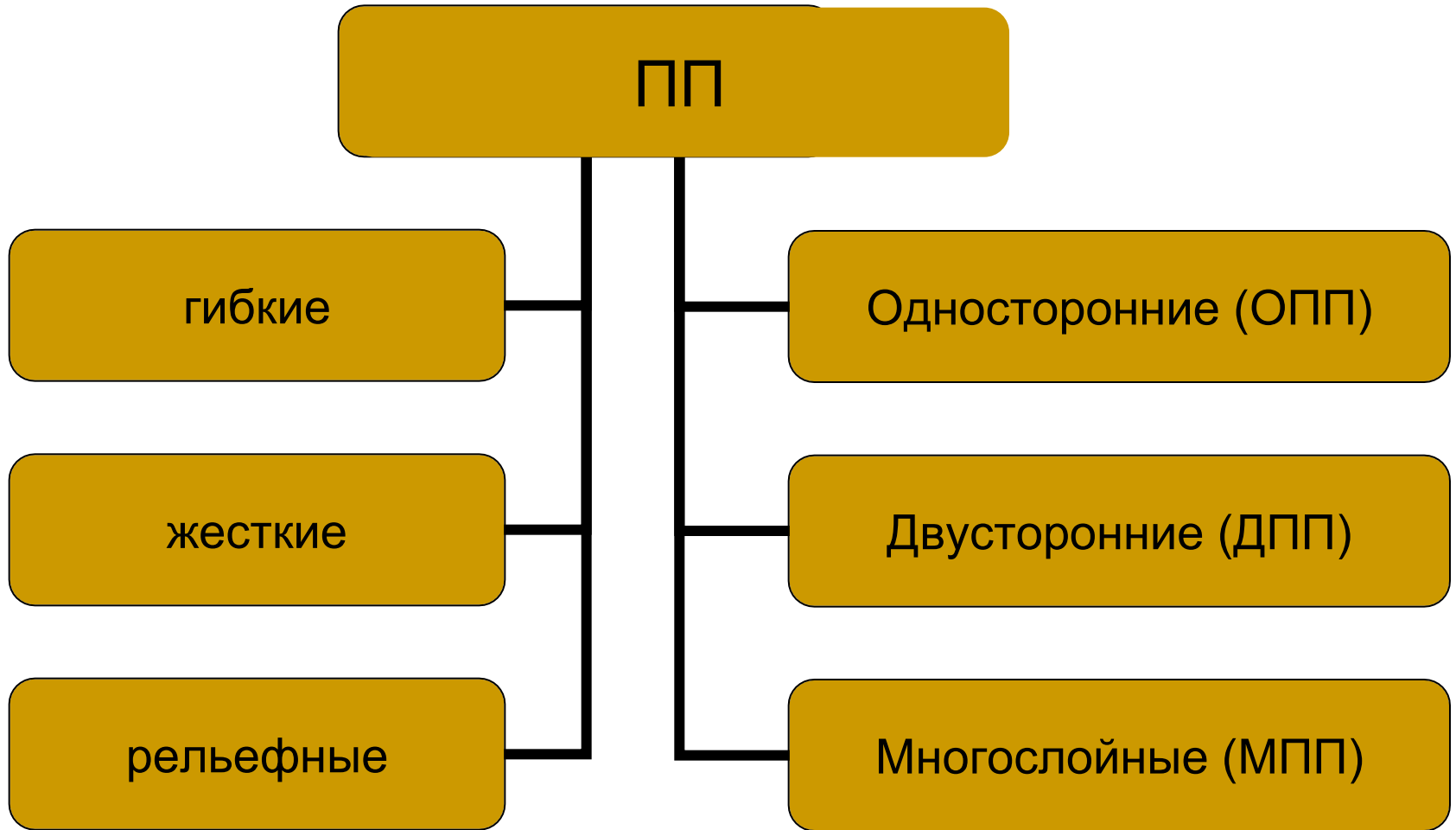
2. ВИДЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

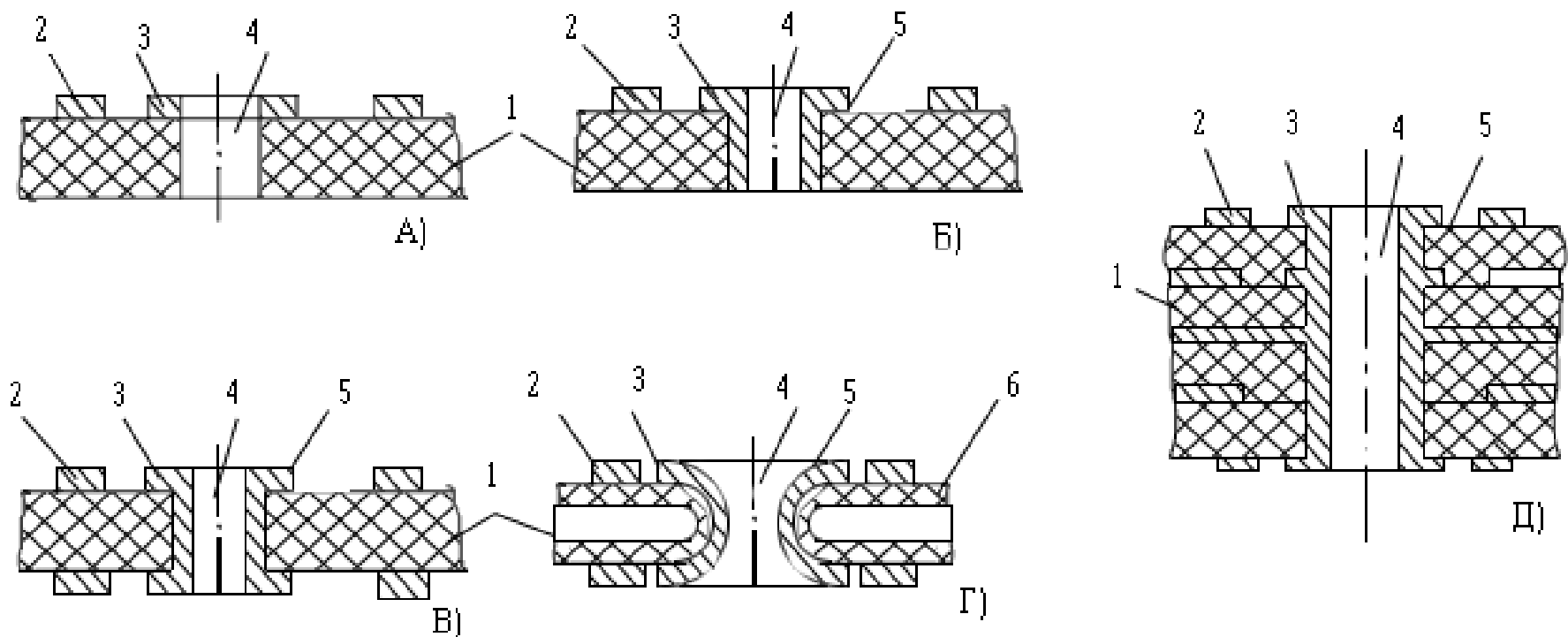
- **Печатная плата (ПП)** – представляет собой плоское изоляционное основание, на одной или обеих сторонах которого расположены токопроводящие полосы металла (проводники) в соответствии с электрической схемой. Они служат для монтажа радиоэлементов с последующей пайкой.

- Применение печатных плат обеспечивает:
 - ❑ **снижения веса и габаритов аппаратуры,**
 - ❑ **улучшения условий отвода тепла,**
 - ❑ **снижения металлоемкости,**
 - ❑ **повышение эксплуатационных характеристик аппаратуры.**

- К печатным платам предъявляется ряд **требований**:
 - ❑ **по точности расположения проводящего рисунка,**
 - ❑ **по величине сопротивления проводящего рисунка,**
 - ❑ **по величине сопротивления изоляции диэлектрика,**
 - ❑ **механической прочности, вибростойкости, паяемости.**

Виды печатных плат



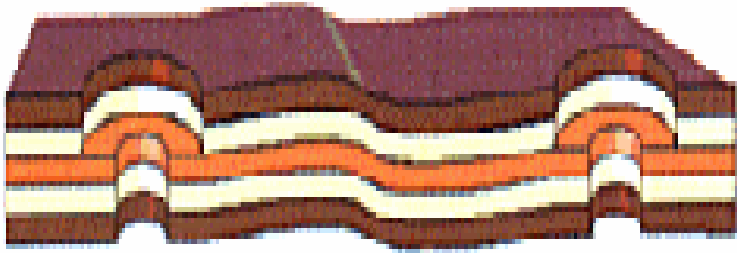


- Рис.1.1 Сечения печатных плат: 1-основание диэлектрическое или металлическое; 2 -печатный проводник; 3 - контактная площадка; 4 - монтажное отверстие; 5 - металлизация; 6 –диэлектрик, А,Б – односторонние ПП, В,Г – двусторонние ПП, Д – многослойные ПП.

2.1 Гибкие и гибко-жесткие

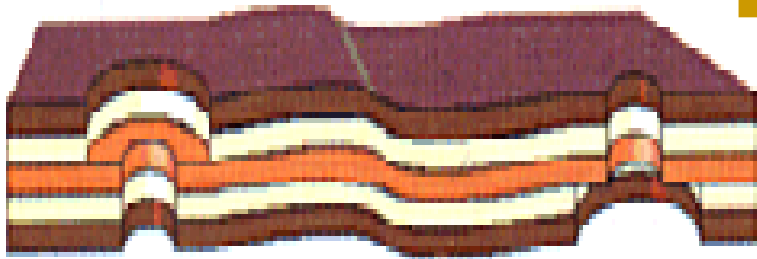
печатные платы

- Использование гибких диэлектрических материалов позволяет:
 - уменьшить размеры и веса конструкции,
 - повысить эффективности сборки,
 - повысить электрические характеристики,
 - повысить теплоотдачу,
 - повысить надежность.
- Применение:
 - автомобили,
 - бытовая техника,
 - медицина,
 - оборонная и аэрокосмическая техника,
 - компьютеры,
 - системы промышленного контроля.
- ГПП изготавливаются на полиимидной или лавсановой пленке, могут легко деформироваться после формирования проводящего рисунка. Большая часть конструкций ГПП аналогична конструкциям печатных плат на жесткой основе.



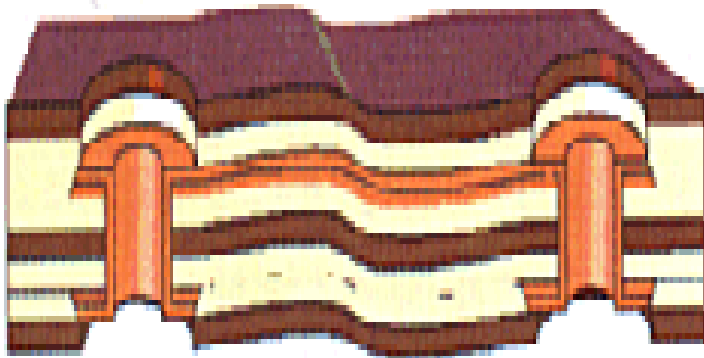
■ ***Односторонние ГПП***

- наиболее распространены
- наилучшая динамическая гибкость
- контактные площадки с одной стороны
- материал проводящей фольги - Cu.



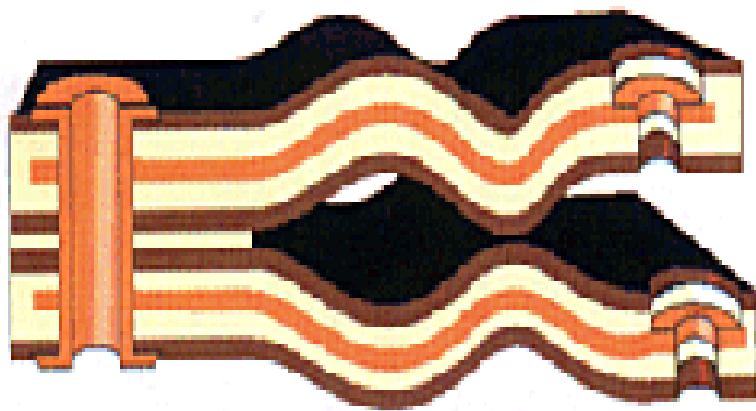
■ ***Односторонние ГПП с двухсторонним доступом***

- один проводящий слой
- контактные площадки к проводящему слою - с обеих сторон платы.



■ **Двухсторонние ГПП**

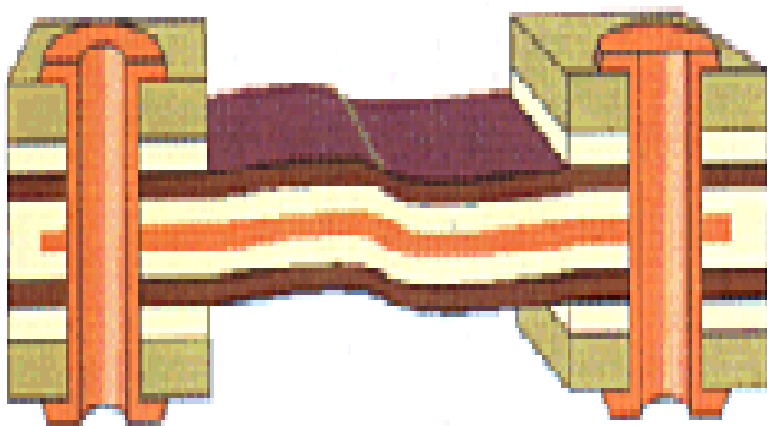
- 2 проводящих слоя,
- слои могут быть соединены сквозными металлизированными переходами
- обеспечивают высокую плотность монтажа
- применяются в электронных устройствах с контролируемым полным сопротивлением (импедансом) плат.



■ **Многослойные ГПП**

- 3 и > проводящих слоев, соединенных металлизированными отверстиями, которые обеспечивают межслойное соединение.
- высокая плотность монтажа, поскольку не требуется обеспечивать большие значения соотношений «высота/диаметр отверстия»
- применение для сборки на них многокристалльных ИС

■ **Жестко-гибкие ПП**



- гибридные конструкции (содержат жесткие и гибкие основания, скрепленные между собой и электрически соединенные металлизированными отверстиями)
- применяются в изделиях оборонной техники и в промышленной электронике.

■ **ГПП с местным ужесточением (укреплением)**



- размещение внутри гибкой основы жестких металлических деталей
- получают многоэтапным процессом фотолитографии и травления

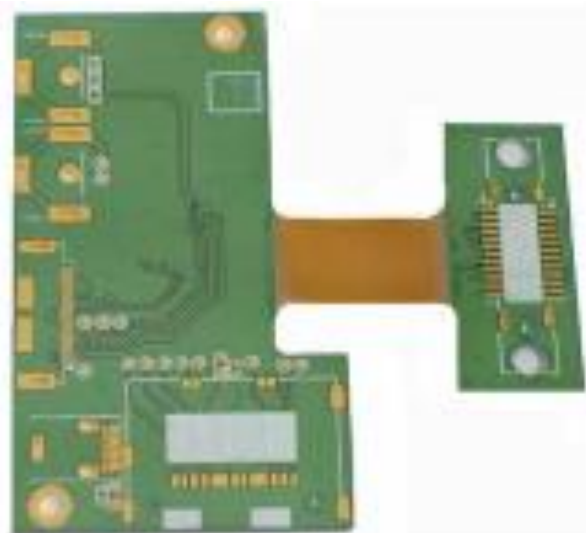


Рис. 1. Гибко-жесткая печатная плата из 2 частей

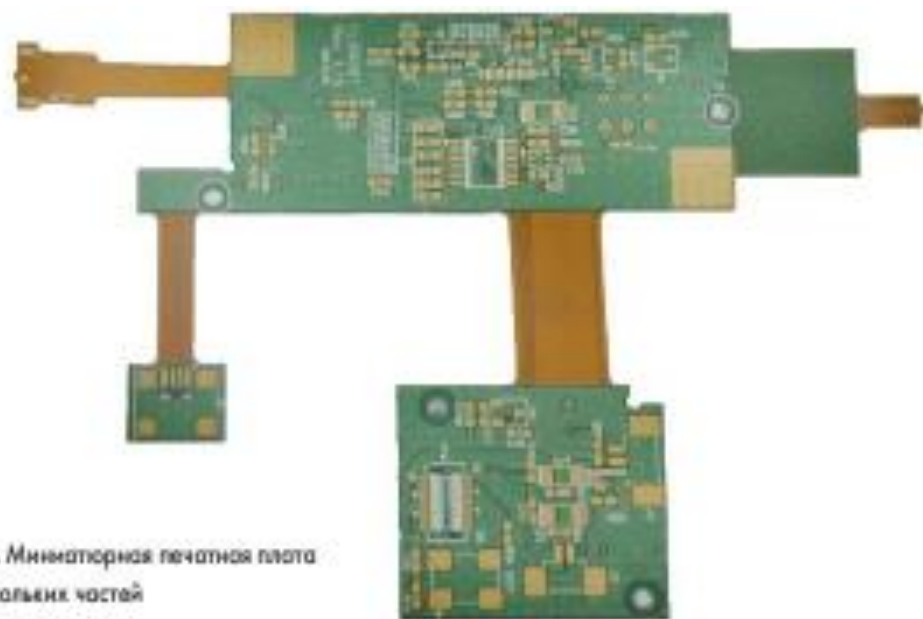


Рис. 2. Миниаторная печатная плата из нескольких частей

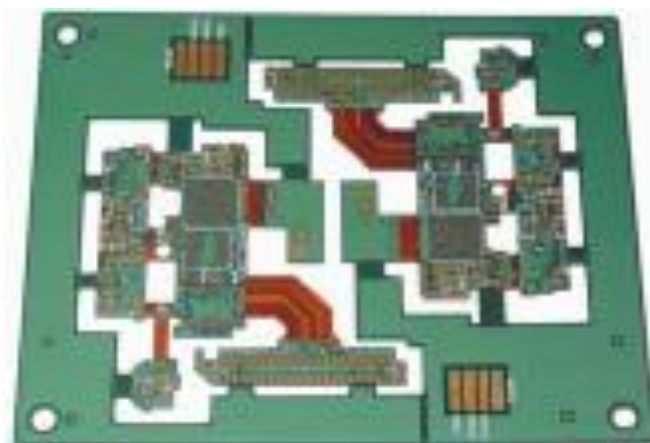


Рис. 3. Миниаторная гибко-жесткая плата на панели для монтажа

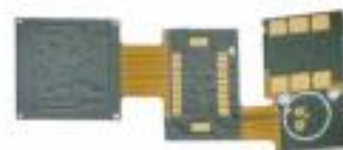


Рис. 5. Печатные платы для встроенной фотокамеры

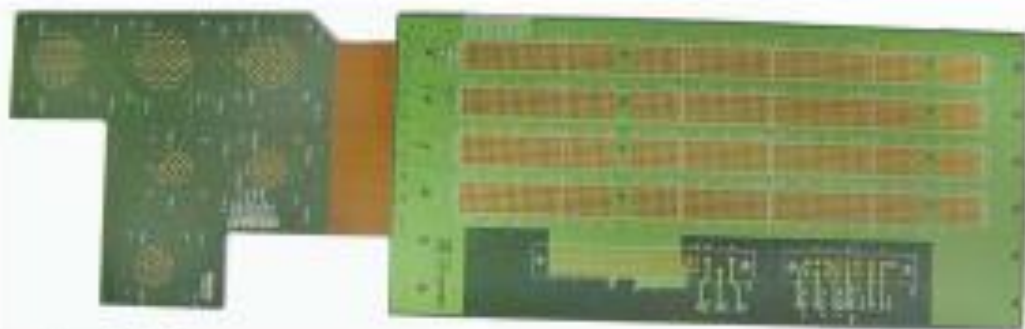


Рис. 6. 16-слойная ГЖПП

		Упрочняющая паста/пудра
		Клеящий слой 3M9460
	Покрывается в массе	Полиимидное покрытие 12,5 мкм
		Адгезив 12,5 мкм
1. TOP	Медь 17,5 мкм	Медь 17,5 мкм
	Адгезив 12,5 мкм	Адгезив 12,5 мкм
	Полиимид 12,5 мкм	Полиимид 12,5 мкм
	Адгезив	воздушная прослойка
	Адгезив	Адгезив
	Полиимидное покрытие 12,5 мкм	Полиимидное покрытие 12,5 мкм
2. INT1	Адгезив 12,5 мкм	Адгезив 12,5 мкм
	Медь 17,5 мкм	Медь 17,5 мкм
	Адгезив 12,5 мкм	Адгезив 12,5 мкм
	Полиимид 12,5 мкм	Полиимид 12,5 мкм
	Адгезив	воздушная прослойка
	Адгезив	Адгезив
	Полиимид 12,5 мкм	Полиимид 12,5 мкм
3. BOT	Адгезив 12,5 мкм	Адгезив 12,5 мкм
	Медь 17,5 мкм	Медь 17,5 мкм
	Адгезив 12,5 мкм	Адгезив 12,5 мкм
	Полиимидное покрытие 12,5 мкм	Покрывается в массе
	Клеящий слой 3M9460	
	Упрочняющая паста/пудра	

Рис. 7. Структура гибкой 3-слойной платы с воздушными прослойками

			Толщина:
1. TOP	Маска 0,025 мм	Маска 0,025 мм	0,025 мм
	Медь 35 мкм + металлизация	Медь 35 мкм + металлизация	0,05 мм
	Ядро FR4 0,4 мм	Ядро FR4 0,4 мм	0,4 мм
	Препрег 1080 0,063 мм	Препрег 1080 0,063 мм	0,063 мм
	Препрег 1080 0,063 мм	Препрег 1080 0,063 мм	0,063 мм
		Полиимидное покрытие 12,5 мкм	0,0125 мм
		Адгезив 12,5 мкм	0,0125 мм
2. INT1	Медь 17,5 мкм	Медь 17,5 мкм	0,0175 мм
	Адгезив 12,5 мкм	Адгезив 12,5 мкм	0,0125 мм
	Полиимид 12,5 мкм	Полиимид 12,5 мкм	0,0125 мм
	Адгезив 12,5 мкм	Адгезив 12,5 мкм	0,0125 мм
3. INT2	Медь 17,5 мкм	Медь 17,5 мкм	0,0175 мм
		Адгезив 12,5 мкм	0,0125 мм
		Полиимидное покрытие 12,5 мкм	0,0125 мм
	Препрег 1080 0,063 мм	Препрег 1080 0,063 мм	0,063 мм
	Препрег 1080 0,063 мм	Препрег 1080 0,063 мм	0,063 мм
	Ядро FR4 0,4 мм	Ядро FR4 0,4 мм	0,4 мм
4. BOT	Медь 35 мкм + металлизация	Медь 35 мкм + металлизация	0,05 мм
	Маска 0,025 мм	Маска 0,025 мм	0,025 мм
			Итого: 1,3245 мм

Рис. 8. Структура 4-слойной ГЖПП

Преимущества гибких печатных плат

- динамическая гибкость
- уменьшение размера конструкции
- уменьшение веса (50-70% при замене проводного монтажа, до 90% при замене жестких плат)
- улучшение эффективности сборки
- уменьшение стоимости сборки (уменьшение числа операций)
- увеличение выхода годных при сборке
- улучшение надежности (уменьшение числа уровней соединений)
- улучшение электрических свойств (унифицированные материалы, волновое сопротивление, уменьшение индуктивности)
- улучшение рассеивания тепла (плоские проводники, рассеивание тепла на обе стороны)
- возможность трехмерной конструкции упаковки
- совместимость с поверхностным монтажом компонентов (совместимость по коэффициенту расширения)
- упрощение контроля (визуального и электрического).

Применение гибких печатных плат

- автомобили (панели, системы контроля...)
- бытовая техника (35 мм камеры, видеокамеры, калькуляторы...)
- медицина (слуховые аппараты, сердечные стимуляторы...)
- вооружение и космос (спутники, панели, радарные системы, приборы ночного видения...)
- компьютеры (печатающие головки, управление дисками, кабели ...)
- промышленный контроль (коммутирующие приборы, нагреватели...)
- инструменты (рентгеновское оборудование, счетчики частиц)
- разное (оружие, торпеды, электронное экранирование, радиосвязь...)

2.2 Жесткие печатные платы

Односторонние печатные платы

- используются для одностороннего монтажа в гладкие (неметаллизированные) отверстия
- используются в любительских или макетных конструкциях
- электрический монтаж на одном слое
- для трассировки пересекающихся цепей используются перемычки (они представляют собой элементы конструкции, поэтому показываются на чертежах, записываются в спецификации и т.д.)
- номенклатура перемычек должна быть минимальной
- обеспечивают самую большую точность выполнения проводящего рисунка и совмещения его с отверстиями
- являются наиболее дешевым классом печатных плат
- низкая надежность ПП и механическая прочность крепления элементов
- чтобы избежать отслоения проводников все элементы монтируются без зазоров между корпусом элемента и ПП

В предыдущем десятилетии в США ОПП составляли около 70% объема выпуска плат в количественном исчислении, однако, лишь около 10% в стоимостном. В Великобритании такие платы составляют около 25% от объема всего производства.

Односторонние печатные платы

Маршрут изготовления односторонних плат

- ❑ сверление
- ❑ Фотолитография
- ❑ травление медной фольги
- ❑ защита поверхности и подготовку к пайке
- ❑ разделение заготовок

Стоимость ОПП составляет 0,1 - 0,2 от стоимости ДПП, это делает их вполне конкурентными (бытовая электроника).

Для современных электронных устройств, ОПП требуют контурного фрезерования, нанесения защитных маскирующих покрытий, их сборка ведется с посадкой кристаллов непосредственно на плату или поверхностным монтажом

Односторонние печатные платы

■ Типовые параметры плат:

- ❑ Максимальные размеры заготовки - 400 мм x 330 мм
- ❑ Минимальный диаметр отверстия - 0,6 мм
- ❑ Минимальная ширина проводника - 0,15 мм
- ❑ Минимальный зазор - 0,15 мм
- ❑ Толщина фольги - 35 мкм
- ❑ Толщина платы - 0,4 - 1,6 мм

Альтернативой фотохимическому способу изготовления ОПП является фрезерование проводящего слоя в медной фольге на двухкоординатных фрезерных станках с ЧПУ. Этот метод наиболее эффективен при изготовлении прототипов плат, он позволяет разработчику получить опытный образец за 1,5 - 2 часа в условиях конструкторского бюро.

Двусторонние печатные платы

■ **Платы без металлизации**

- ❑ по многим параметрам соответствуют ОПП
- ❑ повышается трассировочная плотность и плотность компоновки элементов (по сравнению с ОПП)
- ❑ электрические переходы между слоями - заклепки, проволочные перемычки или пайка выводов элементов с двух сторон ПП.
- ❑ сложный монтаж
- ❑ высокая стоимость
- ❑ используются в любительских и макетных устройствах.

■ **Платы с металлизацией**

- ❑ высокая трассировочную способность
- ❑ высокая плотность монтажа
- ❑ хорошая механическая прочность крепления
- ❑ допускают монтаж элементов на поверхности
- ❑ являются наиболее распространенными в производстве радиоэлектронных устройств.

Двусторонние печатные платы

Доля ДПП от объема выпуска плат:

- в Великобритании до 47 %
- в РФ - 65 - 75%.

ДПП - компромисс между их относительно малой стоимостью и достаточно высокими возможностями. Технологический процесс изготовления ДПП, также как ОПП, является частью более общего процесса изготовления МПП. Однако для двухсторонних плат не требуется применять прессования слоев, значительно проще выполняется очистка отверстий после сверления.

Для большинства ДПП за рубежом проектные нормы "проводник / зазор" составляют:

- 0,25 / 0,25 мм (40% от объема выпуска)
- 0,2 / 0,2 мм (18%)
- 0,15 / 0,15 мм (18%).

Двусторонние печатные платы

- *Типовые параметры двухсторонних плат:*
 - ❑ Максимальные размеры заготовки - 300x250...500x500 мм
 - ❑ Минимальный диаметр отверстия - 0,4...0,6 мм
 - ❑ Минимальная ширина проводника - 0,15 мм
 - ❑ Минимальный зазор - 0,15 мм
 - ❑ Толщина фольги - 18..35 мкм
 - ❑ Толщина платы - 0,4 - 2,0 мм

ДПП :

- ❑ можно использовать для изготовления широкого круга современных изделий
- ❑ пригодны для монтажа в отверстия
- ❑ пригодны для поверхностного монтажа.
- ❑ на проводники может наноситься Au покрытие
- ❑ для металлизации отверстий может использоваться Ag.

Многослойные печатные платы

МПП составляют две трети мирового производства печатных плат в ценовом исчислении, хотя в количественном выражении уступают одно- и двухсторонним платам.

Основные преимущества МПП:

- высокая плотность монтажа;
- однотипность и воспроизводимость электрического взаимодействия между проводниками, принадлежащими различным цепям системы (возможность учета паразитных связей и наводок, применение экранирующих слоев);
- удобство размещения монтажа в однородной диэлектрической среде;
- повышенная устойчивость к климатическим воздействиям;
- повышенная вибростойкость;
- улучшенная теплоотдача;
- уменьшение количества контактов;
- повышенная надежность.

Многослойные печатные платы

Недостатки многослойных печатных плат:

- более жесткие допуски на размеры по сравнению с обычными печатными платами;
 - большая трудоемкость проектирования МПП;
 - необходимость специального технологического оборудования;
 - длительный технологический цикл и сложный процесс изготовления МПП;
 - необходимость тщательного контроля практически всех операций, начиная с вычерчивания оригиналов и кончая упаковкой готовой платы для передачи ее в монтажный цех;
 - высокая стоимость;
 - низкая ремонтпригодность.
-

Многослойные печатные платы

МПП включают дополнительные слои с определенным *функциональным назначением*:

- ❑ наружные монтажные – для монтажа электронных компонентов
- ❑ сигнальные слои – топологическая схема сигнальных межсоединений
- ❑ экранные слои (земля и питание) выполняются большими полигонами с минимальным омическим и индукционным сопротивлением
- ❑ тепловыводящие и тепловыравнивающие слои

Многослойные печатные платы

- Для коммутации между слоями МПП применяются межслойные переходы и микропереходы.
 - **Межслойные переходы** могут выполняться в виде сквозных отверстий, соединяющих внешние слои между собой и с внутренними слоями, применяются также **глухие** и **скрытые переходы**.
 - **Глухой переход** - соединительный металлизированный канал, видимый только с верхней или нижней стороны платы.
 - **Скрытые переходы** - для соединения между собой внутренних слоев платы. Позволяют упростить разводку плат, например, 12-слойную конструкцию МПП можно свести к эквивалентной 8-слойной. коммутации.
-

Многослойные печатные платы

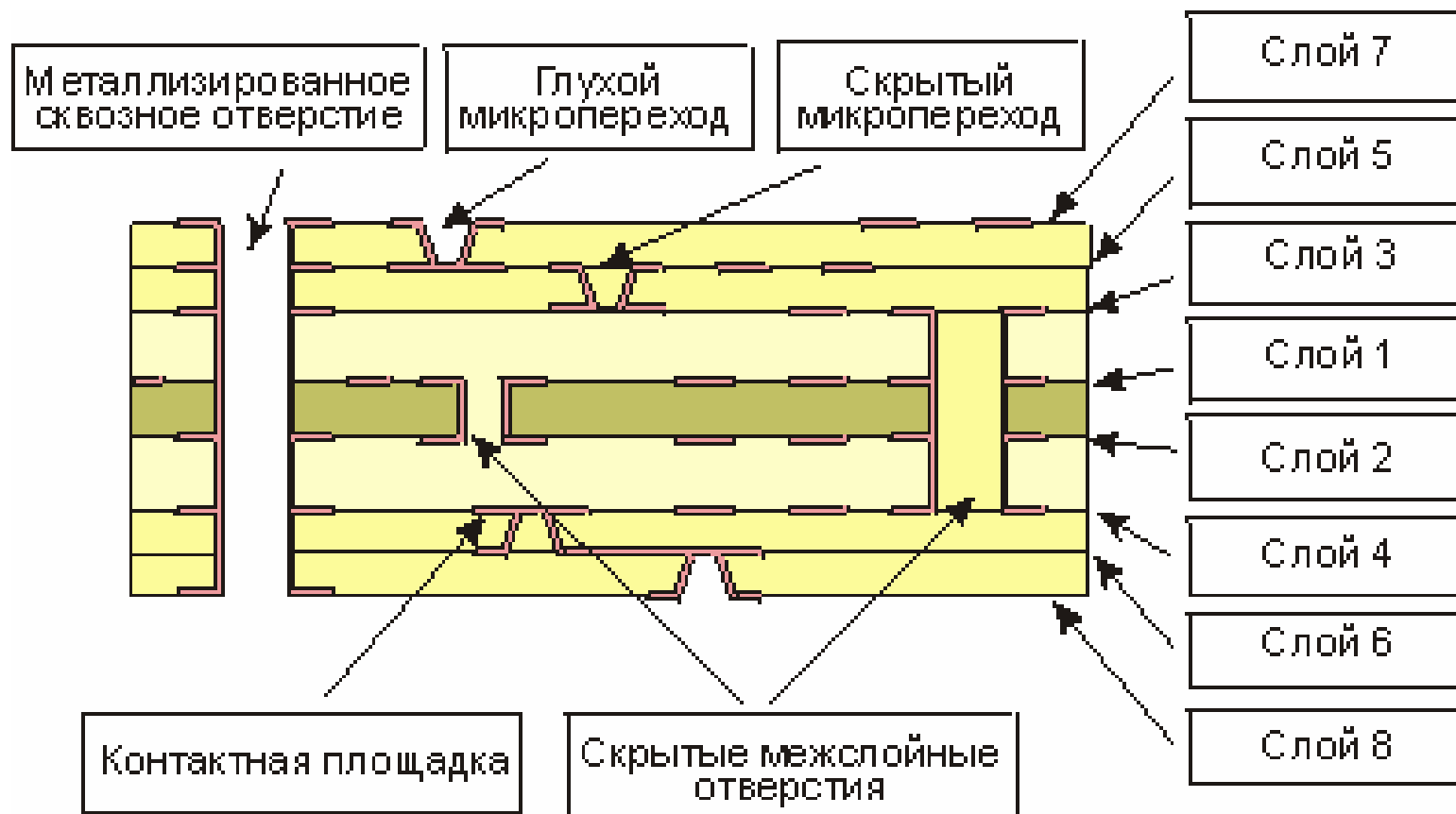


Рис. 1.2. Схема современной многослойной печатной платы

Многослойные печатные платы

- Для изготовления МПП производится соединение между собой нескольких слоев диэлектрика, со сформированными на них печатными схемами, для чего используются склеивающие прокладки - *препреги*. Иначе, **препрег** - слой стеклоткани, пропитанный недополимеризованной смолой, которая окончательно полимеризуется на стадии прессования при изготовлении МПП. Поэтому толщина МПП растет непропорционально быстро с ростом числа сигнальных слоев.
- В связи с этим необходимо учитывать большое соотношение толщины платы к диаметру сквозных отверстий. Например, для МПП с диаметром отверстий 0,4 мм и толщиной 4 мм это соотношение равно 10:1, что является весьма жестким параметром для процесса сквозной металлизации отверстий.

Многослойные печатные платы

МАТЕРИАЛ	ТОЛЩИНА
Медная фольга	0,017
Препрег 2113(2)	0,19 +/- 0,02
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 7628(2)	0,36 +/- 0,03
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 7628(2)	0,36 +/- 0,03
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 2113(2)	0,19 +/- 0,02
Медная фольга	0,017

Рис.1.3. Структура 8-слойной печатной платы 3.25 +/- 0,03

Многослойные печатные платы

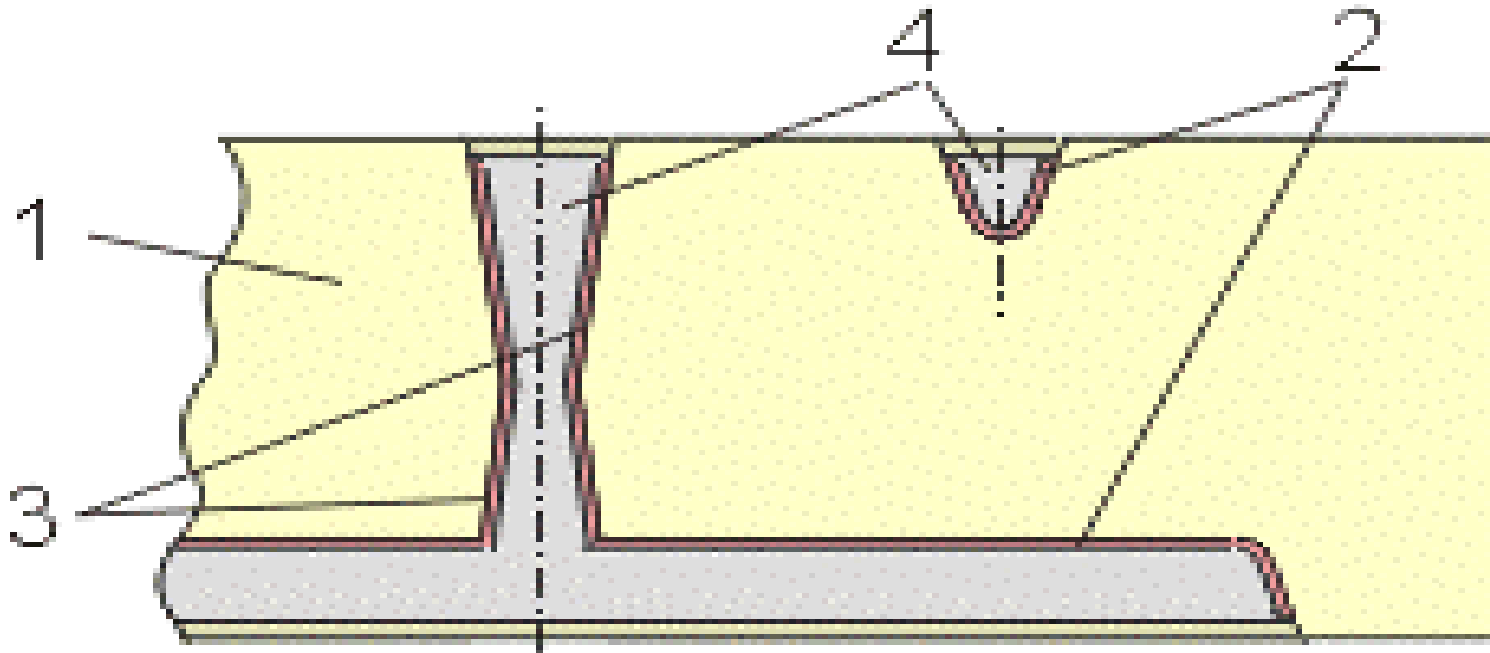
Повышение плотности компоновки

Увеличение количества слоев

Рост количества межсоединений:

- увеличение плотности трасс за счет уменьшения шага трассировки и ширины проводников
- межслойные переходы в шаге трасс (в размерах тонких проводников)
- многоуровневые межсоединения в многослойных структурах (сквозных, скрытых, глухих)

Рельефные ПП



- Рис.1.4. Конструкция рельефной печатной платы:
 - 1 – диэлектрическое основание;
 - 2 – медные проводники;
 - 3 – металлизированные отверстия;
 - 4 – рельеф платы, заполненный припоем.

Рельефные ПП

Элементы проводящего рисунка могут быть следующих видов:

- прямолинейные проводники на первом и втором слоях;
- переходные металлизированные отверстия для электрического соединения элементов рисунка на проводящих слоях;
- сквозные монтажные металлизированные отверстия для монтажа штырьевых выводов электронных компонентов;
- металлизированные ламели для монтажа планарных выводов электронных компонентов;
- глухие монтажные металлизированные отверстия для монтажа планарных выводов электронных компонентов, формованных для пайки встык.

Рельефные ПП

Свойства рельефных ПП

- проводники прямолинейны и параллельны осям X и Y
- диаметр переходных металлизированных отверстий на поверхности диэлектрического основания не превышает ширины проводника
- контактные площадки вокруг переходных отверстий отсутствуют (обеспечивается возможность установки переходов в шаге трассировки без ограничений)
- трассировка РП проводится в строго ортогональной системе (проведение горизонтальных проводников на одном проводящем слое, а вертикальных проводников - на другом)
- большие трассировочные возможности по сравнению с другими системами
- большое число переходов
- переходы повышают надежность платы.

Рельефные ПП

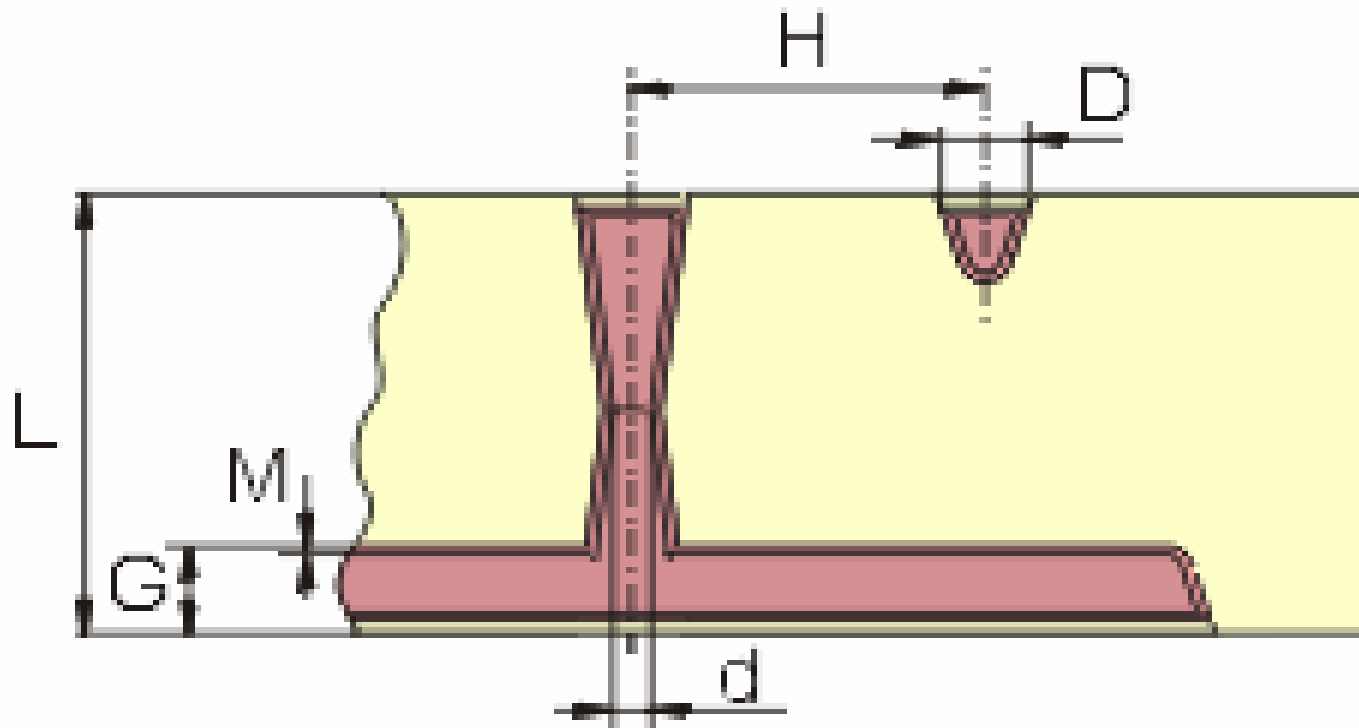


Рис.1.5. Основные параметры рельефной платы:

L – толщина платы, G – глубина канавки, D – диаметр канавки; d – минимальный диаметр отверстия; H – шаг трассировки.

Рельефные ПП

Основной параметр конструкции РПП -
минимальный шаг трассировки $\min H$

Переменный шаг трассировки

- повышает трассировочные возможности за счет симметричного прохождения трасс через большинство монтажных точек
- позволяет повысить технологичность путем смещения центров переходных отверстий от краев монтажных точек.

Особенность РПП

- малая толщина по сравнению с ПП
 - хорошую теплопроводность
 - сечение меди в канавках обеспечивает погонное сопротивление 3-3,5 Ом/м
 - предельный ток по проводнику 300-400 мА. Эти параметры следует принимать во внимание при проектировании цепей питания, а так же сильноточных сигнальных цепей.
-

Рельефные ПП

- *Таблица 1.1.* Типовые значения конструктивных параметров рельефных плат для минимального шага трассировки

Min H, мм	L, мм	G, мм	D, мм	d, мм	M, мм
0,62	1,5	0,3	0,3	0,15	0,04
0,5	1,0	0,25	0,25	0,15	0,04
0,4	0,8	0,25	0,2	0,12	0,035
0,32	0,6	0,15	0,16	0,1	0,03

Рельефные ПП

Сравнение технологических характеристик РПП и МПП

Трассировочная способность

- Плотность размещения элементов на РП эквивалентна 6-8 слоям МПП. Например, между выводами стандартного DIP корпуса можно проводить до 5 проводников. Высокая трассировочная способность объясняется тем, что переходные отверстия могут быть расположены в шаге проводников.

Электрические характеристики

- Поперечное сечение проводника РП имеет форму трапеции - по постоянному току его сопротивление в 1,5 раза меньше, чем у плоских проводников. Характеристики по переменному току у РП и МПП существенно не отличаются.

Механические характеристики

- РП - принципиально тонкая плата (0,8 мм). Для установки массивных элементов или для плат большого размера требуется механическая арматура. РП очень устойчивы к изгибу (прогибы до 40-50%).

Изготовление ламелей

- РП - тонкие платы - прямое изготовление ламелей для разъемов типа ISA-PC не обеспечит достаточно надежного контакта. Для обеспечения надежного соединения в районе ламелей получают удвоенную толщину (1,5 мм).

Стойкость к воздействию внешних факторов

- РП ничем не уступают по стойкости к воздействию внешних факторов традиционным платам. Металлизация РП выполняется из химически однородной меди - проблема контакта в области переходного отверстия отсутствует.

Рельефные ПП

Сравнение стоимостных характеристик РПП и МПП

Серийность

- Изготовление РП не предполагает какой-либо особенной подготовки производства (фотошаблоны, матрицы). Время изготовления платы средней степени сложности составляет 48 часов. Стоимость РПП заметно ниже стоимости многослойных плат для малых серий до 100 - 1000 шт. Однако при увеличении количества стоимость снижается не столь существенно как для многослойных или двусторонних плат. Поэтому изготовление партий РПП более 10000 должно быть тщательно экономически обосновано.

Стоимостные характеристики

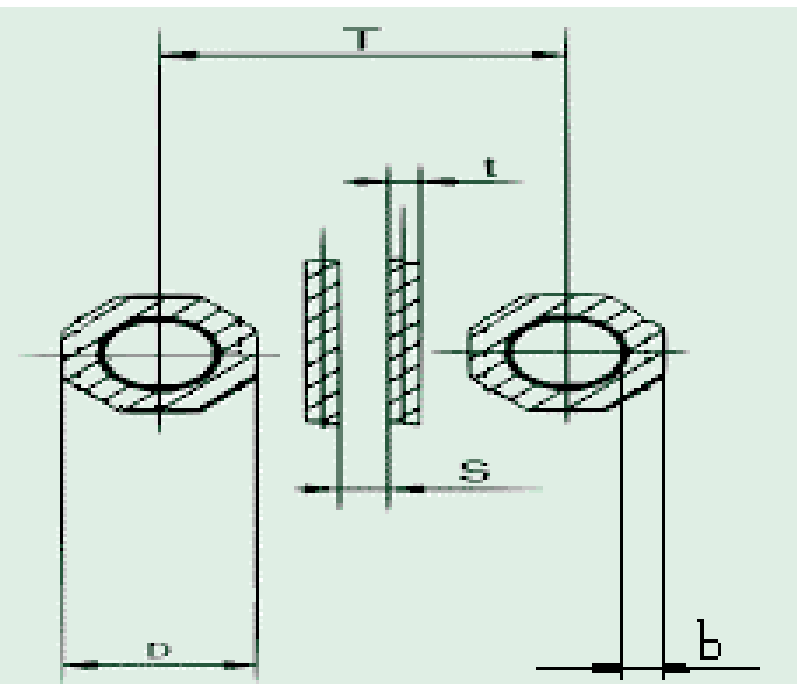
При сравнении восьмислойной МПП с РП по средним показателям стоимости получается уменьшение:

- для методы фрезерования - приблизительно в 16 раз;
- для метода прессования - приблизительно в 36 раз;
- для метода литья - приблизительно в 100 раз.

3. КЛАСС ТОЧНОСТИ ПП

■ Точность изготовления ПП

- зависит от комплекса технологических характеристик
- определяет основные параметры элементов ПП:
 - \min ширина проводников
 - \min зазор между элементами проводящего рисунка
 - др. параметры.



- **Рис.1.6** Схема элементов печатного монтажа, определяющих КТ:
- t – ширина печатного проводника ;
- S – расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка;
- b - гарантированный поясок;
- T – шаг металлизированных отверстий;
- D – диаметр металлизированного отверстия с контактной площадкой
- f – отношение номинального значения диаметра \min металлизированного отверстия, к толщине печатной платы

- ПО ГОСТ 23751-86 - *5 классов точности.*

Параметры	КТ				
	1	2	3	4	5
t, mm	0.75	0.45	0.25	0.15	0.1
S, mm	0.75	0.45	0.25	0.15	0.1
b, mm	0.3	0.2	0.1	0.05	0.025
f	0.4	0.4	0.33	0.25	0.2

В КД на ПП - указание на КТ

КТ определяется уровнем технологического оснащения производства.

Выбор КТ всегда связан с конкретным производством.

■ **ПП 1-го и 2-го классов**

- ❑ осуществляется на рядовом оборудовании
- ❑ ПП с невысокими (и даже с низкими) конструктивными параметрами
- ❑ предназначены для дешевых устройств
- ❑ малая плотность монтажа
- ❑ любительский и макетный уровень
- ❑ единичное или мелкосерийное производство

■ **ПП 3-го класса**

- ❑ наиболее распространенные
- ❑ обеспечивают высокую плотность трассировки и монтажа
- ❑ для производства требуется рядовое, хотя и специализированное, оборудование.

■ **ПП 4-го класса**

- ❑ высокоточное оборудование
- ❑ требования к материалам, оборудованию и помещениям ниже, чем для 5 класса.

■ **ПП 5-го класса**

- ❑ уникальное высокоточное оборудование
- ❑ специальные (дорогие) материалы
- ❑ безусадочной фотопленки
- ❑ создание в производственных помещениях «чистой зоны» с термостатированием.

■ ПП небольшого размера могут выполняться по 5 классу на оборудовании, обеспечивающем получение ПП 4 класса.

■ Прецизионные ПП

- ❑ *высокий уровень надежности при непрерывном режиме работы*
- ❑ *изделия для обеспечения жизнедеятельности людей*
- ❑ *изделия военного назначения*
- ❑ *высокий уровень контроля, испытаний, приемки*
- ❑ *ширина проводников и зазоров от 125 до 40-50 мкм*

Прецизионные ПП

Высокоплотные
(High density printed circuit
или high density interconnections – HDI)
без микропереходов

Высокоплотные
с микропереходами

За рубежом другая классификация ПП по уровню точности.

Связывает уровень производства с параметрами ПП и степенью интеграции элементной базы.

Регламентируются:

- конструктивные параметры
- шаг трассировки, что фактически

4. КИТЕРИЙ ВЫБОРА РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ПП

Виды и размеры отверстий в ПП

Толщина металлизации отверстий

- Главный элемент конструкции ПП – отверстия:
 - *гладкие*
 - *металлизированные*
- по назначению —
 - *монтажные*
 - *переходные*

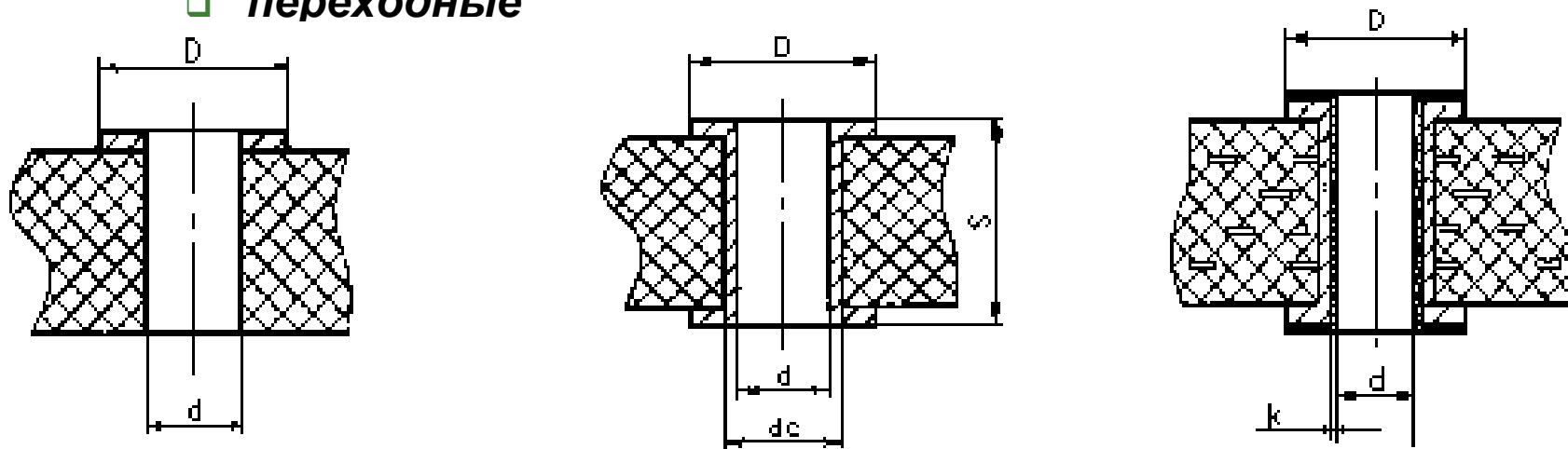


Рис. 1.7. Основные варианты конструкций отверстий печатных плат:
а) – однослойная ПП; б) - двухслойная ПП; в) многослойная ПП.

Виды и размеры отверстий в ПП

- **Главный параметр отверстия — диаметр (d).**

У **неметаллизированных** отверстий d совпадает с диаметром сверления (d_c). ($0.1 < \max < 0.3 \text{ mm}$)

Для **металлизированных** отверстий d отличается от d_c на двойную толщину металлизации ($0.1 < \max < 0.5 \text{ mm}$)

КТ	d, мм	S, мм	
		1.5	2.0
1, 2	0.40	0.6	0.8
3	0.33	0.5	0.7
4	0.25	0.4	0.5
5	0.20	0.3	0.4

В КД указывается d в готовой плате (контролируемый размер), а d_c отсутствует.

Min d металлизированных отверстий определяется соотношением d/S , зависит от класса точности (ГОСТ 23751-86)

Размеры отверстий, приведенные в таблице, пригодны только для металлизированных межслойных переходов многослойных плат

Виды и размеры отверстий в ПП

- d отверстий ПП - из ряда по ГОСТ 10317-79

- Размеры вывода для распайки:

$$d = d_v + \theta + 0,1$$

- d — диаметр отверстия;
 - d_v — диаметр или диагональ вывода;
 - θ — модуль (абсолютное значение) нижнего значения допуска на отверстие.
- Допуск отверстий - по ГОСТ 23751-86

Виды и размеры отверстий в ПП

d	Металлизация отверстия	КТ		
		1 и 2	3 и 4	5
До 1,0 мм	без металлизации	+/- 0.1	+/- 0.05	+/- 0.025
	с металлизацией без оплавления	+0.05	-0.1	-0.075
		-0.15		
	с металлизацией и оплавлением	+0.05	-0.13	-0.13
		-0.18		
		без металлизации	+/-0.15	+/-0.1
с металлизацией				

Виды и размеры отверстий в ПП

Диаметр сверления металлизированного отверстия не задается в чертеже и определяется технологией ПП.

Важно для МПП!!! Данный диаметр определяет зазор между стволом металлизированного отверстия и транзитным проводником, проходящим рядом с отверстием по внутреннему слою. При конструировании ПП необходимо учитывать толщину гальванического покрытия.

Расчет номинального диаметра сверла

$$D_{св} = D_n + 0,8(\Delta 1 + \Delta 2) + 2\delta,$$

$D_{св}$ – номинальный диаметр сверла;

D_n – номинальный диаметр металлизированного отверстия;

$\Delta 1$ - предельные отклонения диаметра, зависящие от станка < 0,1 мм для $d < 0,8$ мм и 0,12 мм для $0,8 < d < 3,0$ мм;

$\Delta 2$ –отклонения, обусловленные деформацией материала, возникающие после выхода сверла вследствие усилий сжатия, $\Delta 2 = 0,03 \div 0,05$ мм;

δ - толщина металлического покрытия.

Диаметры сверл различаются между собой на величину, кратную 0,1.
Результаты следует округлять.

Толщина металлизации отверстий

Требования к металлизированным отверстиям

- ❑ устойчивость к термомеханическим нагрузкам при эксплуатации
- ❑ смачивание припоем всей поверхности отверстия при пайке.

Толщина слоя Cu

По ГОСТ 23752-79

- ❑ среднее значение Cu металлизации в отверстиях **25 мкм**
- ❑ min **20 мкм**
- ❑ в очагах повышенной концентрации напряжений - **30-40 мкм**

Слой Cu 25 мкм достаточен для заполнения отверстия припоем.

Толщина слоя припоя

- ❑ не менее 10 и не более 20 мкм.
- ❑ для металлорезиста - 6 мкм, учитывая погрешности техпроцесса -10.
- ❑ наиболее оптимальная толщина ≈ 15 мкм

Т.о. $dc = d + (0,08 \div 0,1) \text{ мм}$

Толщина металлизации отверстий

Диаметры переходных отверстий – min допустимые для конкретной толщины ПП.

Технологические ограничения:

min d определяется d сверла или возможностями оборудования.

Для МПП не ограниченных по слоистости и толщине

Трассировочная способность МПП ↑ при ↑ числа слоев, т.е. при ↑ толщины платы.

> толстые платы (ГОСТ 23.751-86) требуют ↑ d для обеспечения металлизации, => ↓ число проводников на каждом слое, и => ↓ трассировочные способности платы.

Явное противоречие!!! Разрешается нахождением некоторого оптимального варианта, который обеспечивает max трассировочную способность платы.

Расчет оптимальных значений d отверстий:

$d = 0,5m - 0,48$ (для 3-го класса),

$d = 0,5m - 0,33$ (для 4-го класса),

$d = 0,5m - 0,225$ (для 5-го класса),

d — диаметр металлизированного отверстия;

m — шаг между соседними металлизированными отверстиями

Параметры МПП с максимальной трассировочной способностью

Толщина металлизации отверстий

МПП с тах трассировочной способностью

КТ	Шаг трасс (мм)	Ширина провод (мм)	Размер контакт. Пощ. (расч.)	Шаг отв. Т (мм)	Диаметр отверстий		Размер контакт. площадки для отв. (мм)	Размер контактной площадки (оптим.)
					Расч.	Окр.		
3	0,625	0,25	0,875 или 1,5	2	0,52	0,5	1,1	1,5
				2,5	0,77	0,8	1,4	
4	0,5	0,15	0,65; 1.15 или 1,65	2	0,67	0,7	1,1	1,15
				2,5	0,92	1	1,4	1,65
5	0,3125	0,1	1,0375; 1,35 или 1,66	2	0,775	0,8	1,1	1,1
				2,5	1,025	1	1,3	1,35

Размер проводников и зазоров

Основные параметры проводников и зазоров (ГОСТ 23751-86) = f(КТ ПП)

Min ширина проводников и величина зазоров - основные факторы трассировочной способности ПП.

- Для цепей с большой токовой нагрузкой и высоким потенциалом
 - исключение опасного перегрева проводников
 - зазоры должны выдерживать соответствующее напряжение

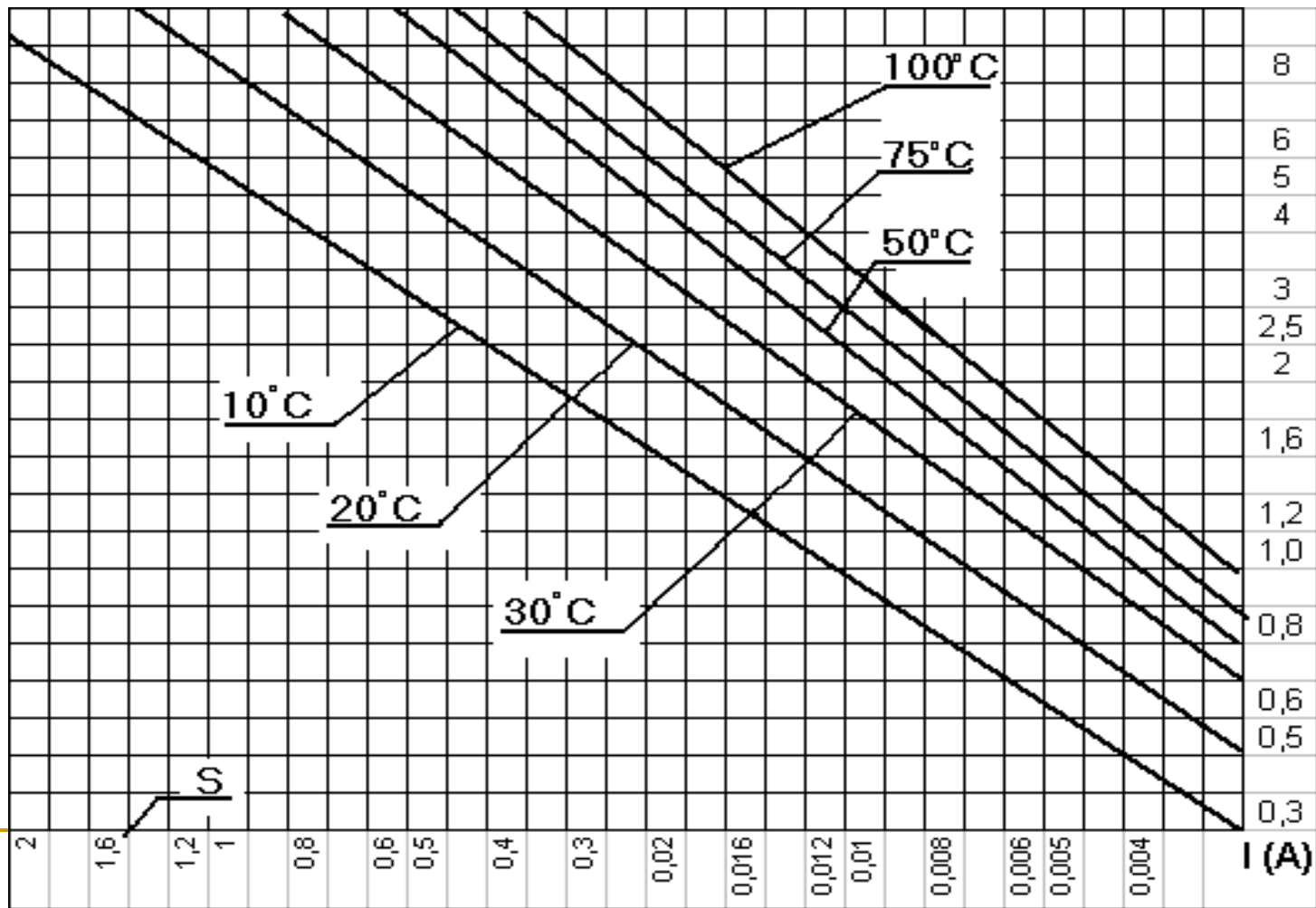
По ГОСТ 23751-86 допустимая токовая нагрузка - 100 - 250 А/мм² в течение 3 с.

Max допустимое \uparrow T проводника = (max рабочая T материала основания платы) - (T окружающей среды).

Обычно < 20°C

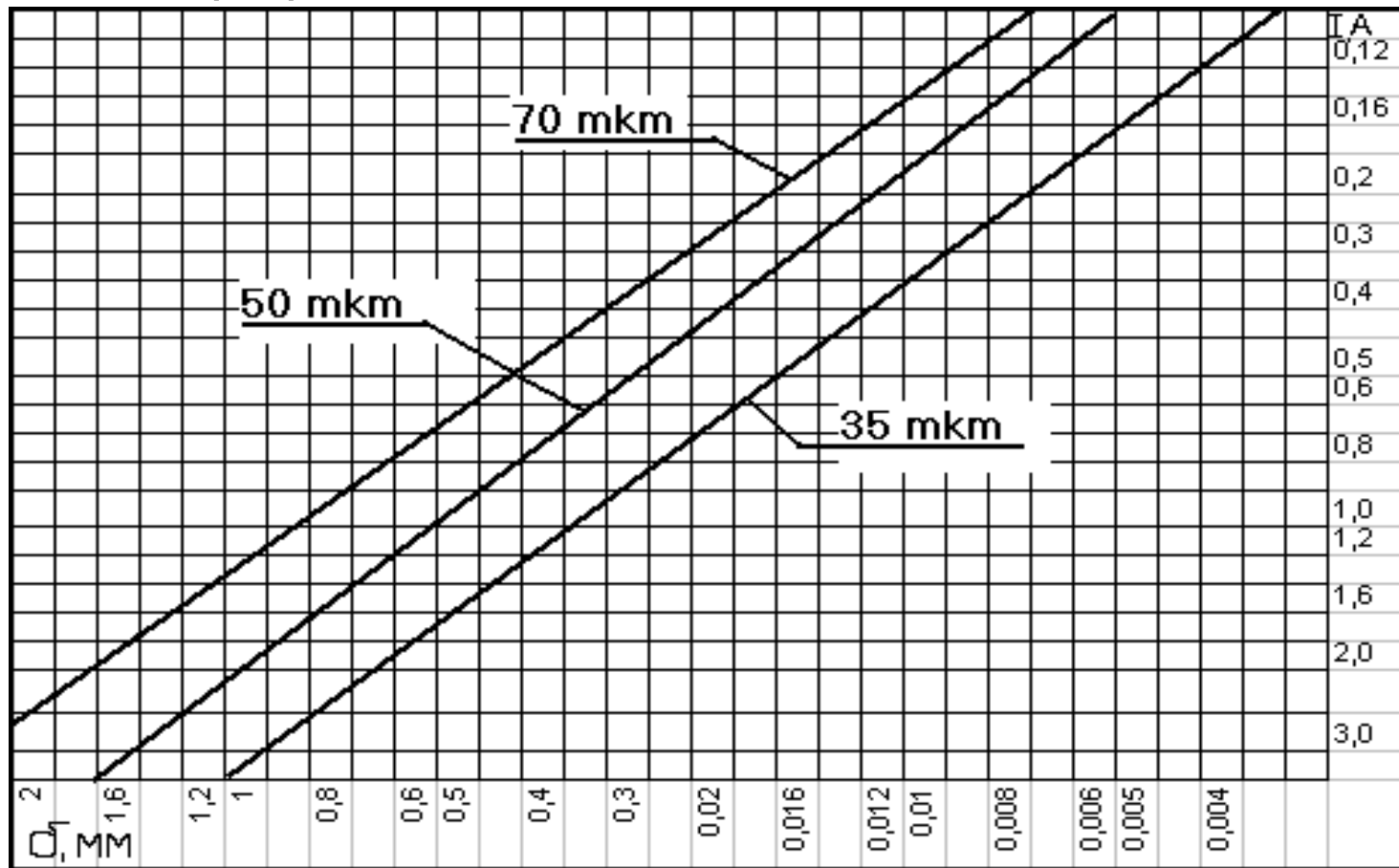
Размер проводников и зазоров

- Температура нагрева проводника в зависимости от площади поперечного сечения проводника и тока



Размер проводников и зазоров

- Зависимость токовой нагрузки на проводнике от поперечного сечения при различной толщине меди



Для оценки: проводник толщиной 35 мкм и шириной 1 мм при перегреве в 20°C пропускает ток в 3 А.

Размер проводников и зазоров

Величину допустимой токовой нагрузки, полученную по номограмме, следует скорректировать:

- ❑ для печатных проводников, расположенных на расстоянии больше своей ширины, увеличить на 15%;
- ❑ для печатных проводников на платах, выполненных по полуаддитивной технологии, уменьшить на 25%;
- ❑ для печатных проводников на платах, выполненных по аддитивной технологии, уменьшить вдвое.

Размер проводников и зазоров

В слаботочной и низковольтной аппаратуре ширина проводников и зазоры выбираются min для технологии и конструкции изделия.

Зависимость размера проводника и зазора от КТ ПП

КТ	Ширина проводника, мм			Min зазор, мм
	Ном. знач.	Min значение		
		без покр.	с покр.	
1	0,75	0,6	0,55	0,75
2	0,45	0,35	0,35	0,45
3	0,25	0,2	0,15	0,25
4	0,15	0,12	0,1	0,15
5	0,1	0,07	0,07	0,1

5. ТРАССИРОВКА ПРОВОДНИКОВ

Трассировка проводников

Размеры печатных проводников, зазоры между ними и величина допусков влияют на *шаг трассировки*.

На ПП WB ∇ *шаг трассировки*.

Для макс трассировочной способности необходимо его согласовать с шагом металлизированных отверстий T.

Фрагменты ПП с нанесенной сеткой трассировки:

T - шаг металлизированных отверстий;

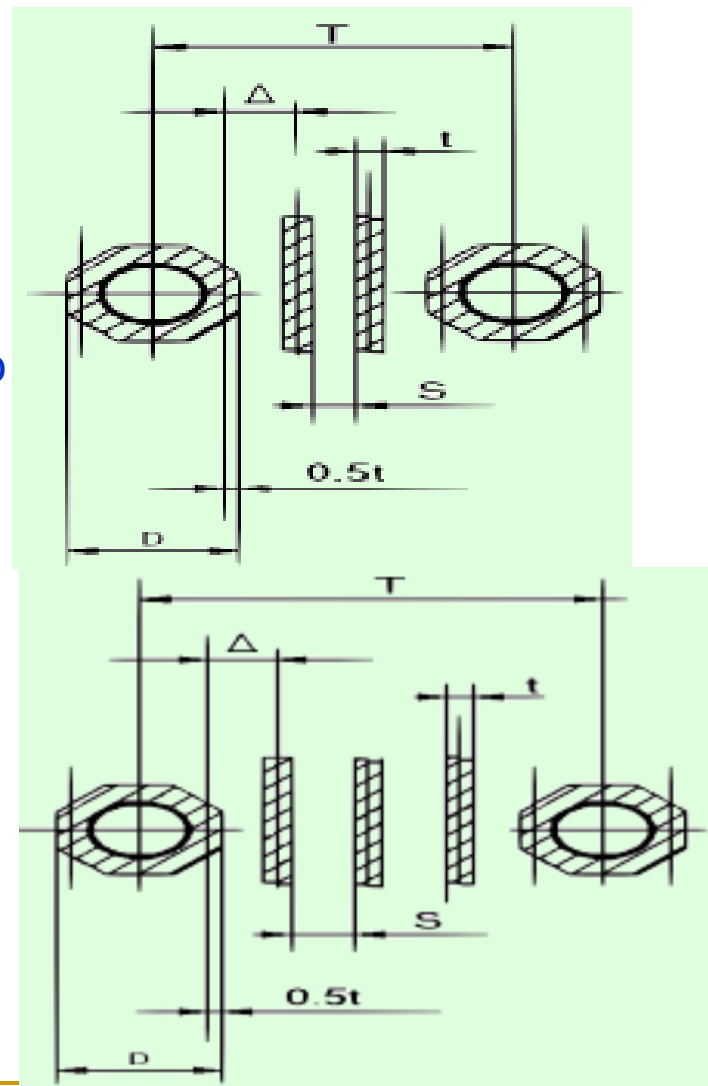
t – ширина проводника;

S – величина зазора;

D – диаметр отверстия,

Δ - шаг трассировки проводников.

Все параметры проводников, зазоров и контактных площадок связаны между собой и с шагом металлизированных отверстий



Трассировка проводников

Шаг трассировки выбирается кратным шагу отверстий.

Шаг между отверстиями ДБ = целому числу шагов трассировки проводников.

Если на ПП элементы с метрическим и дюймовым шагами выводов необходимо:

- ориентироваться на шаг большинства элементов
- взять за основу шаг отверстий у элементов в центральной части ПП (в этой области необходимо обеспечить наибольшую трассировочную способность).

Трассировка проводников

Минимальные расчетные значения и соответствующие шаги трассировки, в которых учитывается кратность шага металлизированных отверстий.

Класс точности	1	2	3	4	5
Проводники без покрытия	$0,75 \pm 0,15$	$0,45 \pm 0,1$	$0,25 \pm 0,05$	$0,15 \pm 0,03$	$0,1 \pm 0,03$
Проводники с покрытием	$0,75$ (+0,25; -0,2)	$0,45$ (+0,15 ;-0,1)	$0,25 \pm 0,1$	$0,15 \pm 0,05$	$0,1 \pm 0,03$
Минимальный зазор	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Расчетный шаг трассировки	1,65	1,0	0,55	0,35	0,23
Рекомендуемый шаг трассировки	2,5 2,54	1,25 1,27	0,625 0,635	0,5	0,3175 0,31175

Трассировка проводников

Характер проводящего рисунка определяет технологичность конструкции и надежность ППП.

Требования для конструирования печатного рисунка

- Отсутствие острых углов при трассировке.
 - *Образуют карман (остается защитный резист, неполное травление, скопление напылов и сосулук при пайке).*
 - *Отслаивание при пайке.*
 - *↑ градиент электрического поля при ↑ потенциале проводника => опасность электрического пробоя.*
- **Равномерное распределения гальванопокрытия**
- **предотвращение зарастания**
- **предотвращение подгара одиночных элементов рисунка**

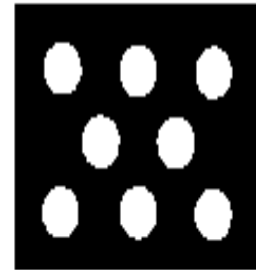
Необходимо!!! Сбалансировать площади рисунков на 2 сторонах ПП и выровнять их распределение по поверхности рабочего поля ПП.

Введения избыточных (не функционирующих) металлических поверхностей чтобы добиться равномерной плотности рисунка по всей плате.

Трассировка проводников

Заполнение свободных площадей может производиться

- непрерывными линиями сетки,
- отдельными изолированными элементами печати.

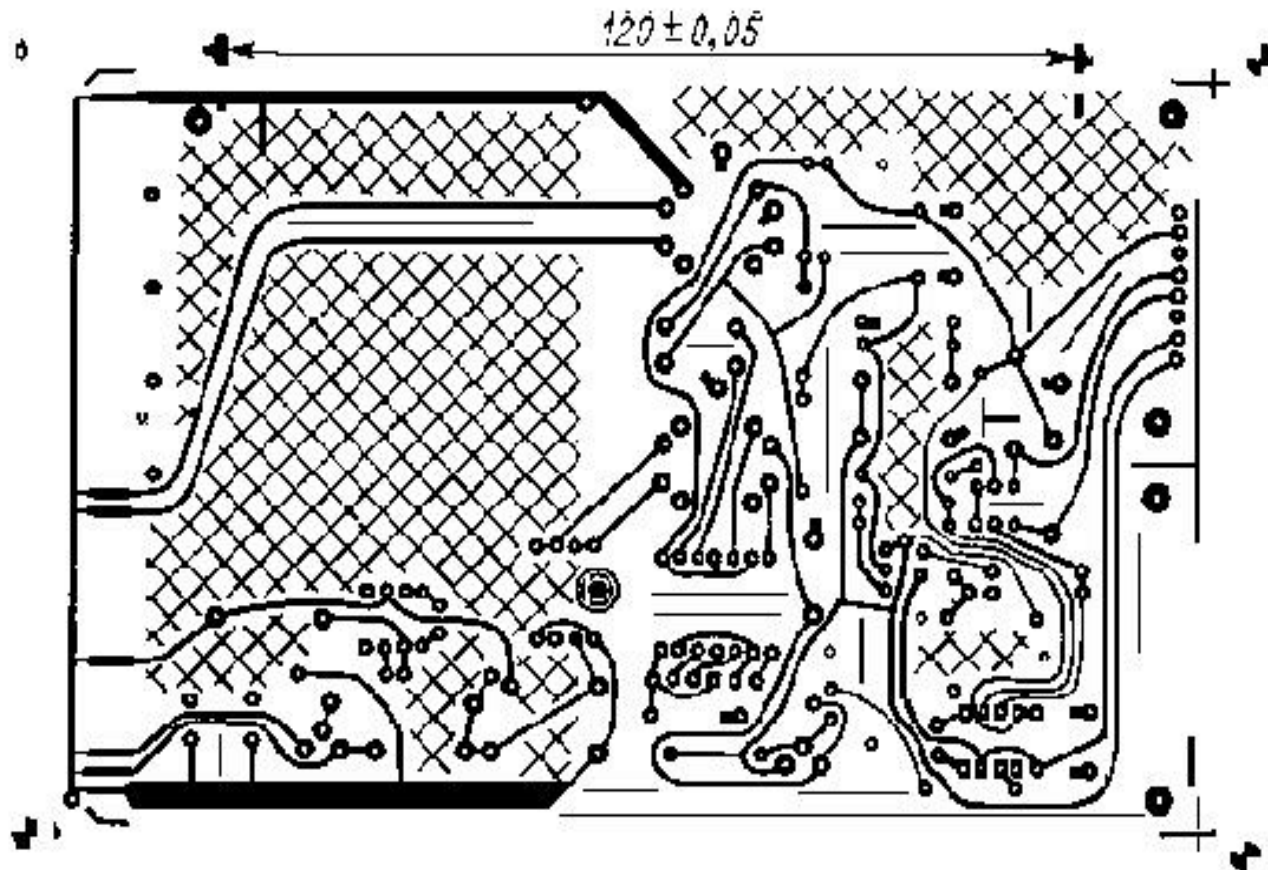


Типы заполнения
балансирующих участков.

Нарушение сплошности
больших поверхностей

*Имеется опасность
появления емкостных
связей*

Трассировка проводников



Пример сбалансированного рисунка печатной схемы

ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ....
