

## 1.1. ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

**Цель лекции:** *ознакомление с курсом, изучение видов коммутационных структур и их конструкторско-технологических особенностей, геометрии и электрических параметров структур, их применения в модулях электронной аппаратуры.*

### 1.1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУРАХ

Приборостроение — это отрасль науки и техники, занимающаяся исследованиями, проектированием и совершенствованием методов разработки, производства и применения интегрированных приборных систем. К разделам приборостроения относятся также высокоточное приборостроение, высокоточное машиностроение и биотехнологии с разрешающей способностью допусков размерных цепей объектов, составляющей десятки единиц нанометров. Коммутационные структуры, в свою очередь, обеспечивают электрическое соединение для коммутации и передачи сигналов между структурными элементами приборов.

**Коммутационные структуры** – специальным образом сформированные проводящие среды, предназначенные для коммутации и передачи сигналов между различными модулями и submodule модулями электронной аппаратуры (ЭА).

Коммутационные структуры используются на всех уровнях электронных модулей: соединения внутри интегральных микросхем (металлизация; рис. 1.1), соединения между различными изделиями электронной техники (ИЭТ) (печатные платы; рис. 1.2), соединения между блоками электронной аппаратуры (кабели, шлейфы; рис. 1.3) и др. Они бывают внутри- и межмодульными, внутри- и межъячеечными, внутри- и межблочными и т. п., что обуславливает их конструктивное исполнение.

Коммутационные структуры для ЭА должны обладать:

- минимальным активным и индуктивным сопротивлением;
- однородным по длине структуры волновым сопротивлением;
- минимальным полем вокруг линии при протекании по ней тока;
- способностью передавать сигналы в широком диапазоне частот, токов и напряжений.

Удовлетворить всем вышеперечисленным требованиям, используя какой-либо один тип коммутационных структур, не представляется возможным. Поэтому применяются разнообразные типы коммутационных структур (КС) в зависимости от функциональных особенностей как самих КС, так и аппаратуры.

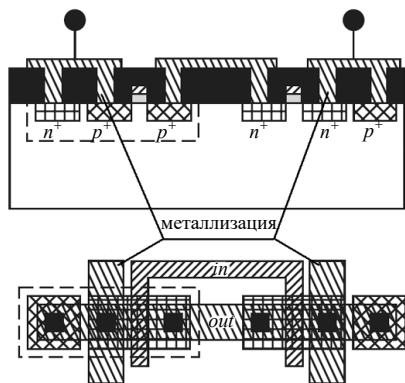


Рис. 1.1. Металлизация в интегральных микросхемах

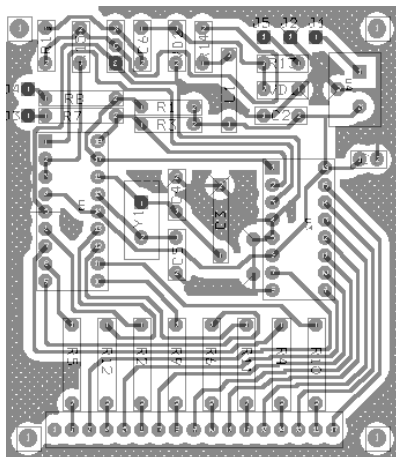


Рис. 1.2. Печатная плата

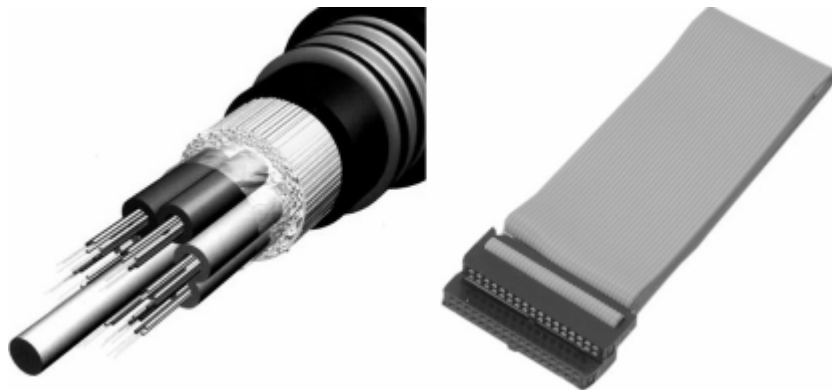
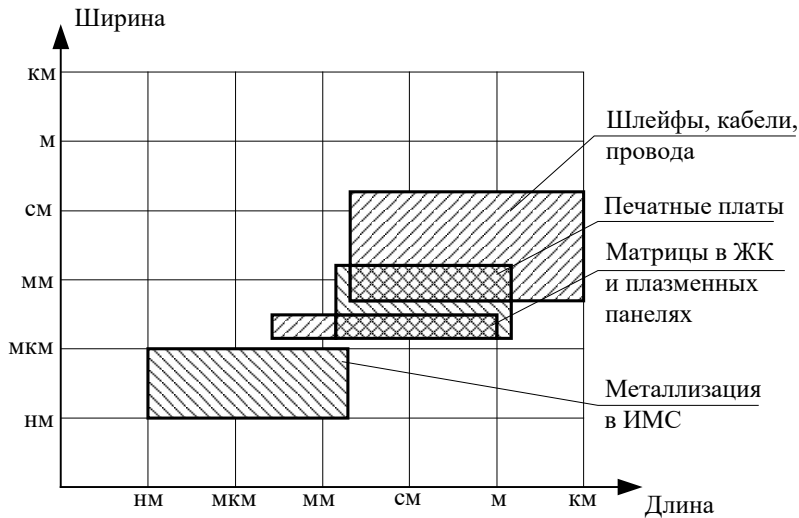


Рис. 1.3. Кабель (слева) и шлейф (справа)

Выбор конструктивно-технологического варианта исполнения соединений – важная и сложная задача, в значительной степени влияющая на качество проектируемой аппаратуры.

На рис. 1.4 представлены геометрические параметры некоторых видов коммутационных структур.



**Рис. 1.4.** Геометрические параметры некоторых видов коммутационных структур

В настоящее время увеличивающаяся сложность электронной аппаратуры и её миниатюризация ведет к смещению геометрических размеров коммутационных структур в микро- и нанообласти. Это требует постоянного увеличения разрешающей способности технологического оборудования, а также разработки новых видов технологий и модернизации уже существующих.

Несмотря на сложность перехода к наноразмерам их реализация открывает широкие перспективы в технологии коммутационных структур. Уменьшение размеров электрических связей приводит снижению затухания и искажения сигнала. Уменьшение ширины печатных проводников позволяет увеличить плотность монтажа и точность изготовления печатных плат.

Так, например, размеры минимального элемента в интегральных микросхемах уже достигли 7 нм, активно ведется разработка технологии производства печатных плат с шириной проводников 25 мкм.

В данном пособии рассматриваются основные виды коммутационных структур, технологии их производства и перспективы использования.

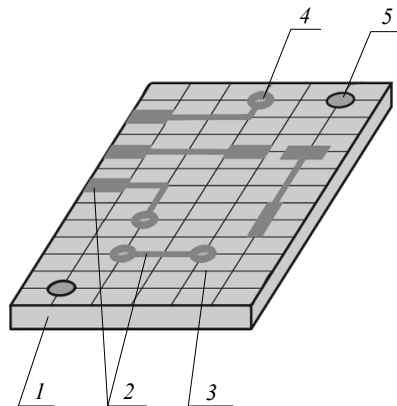
## 1.1.2. ГЕОМЕТРИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

**Печатный монтаж** – способ монтажа электронных модулей (ЭМ) аппаратуры, при котором электрические соединения выполнены с помощью печатных проводников. Проводники размещены на диэлектрическом основании и образуют проводящий рисунок. Основание конечных размеров с проводящим рисунком и необходимыми отверстиями является печатной платой (рис. 1.5).

Основной материал проводящего рисунка – медь в виде фольги или осажденного на диэлектрик слоя. В качестве материалов диэлектрического основания печатной платы (ПП) применяются: стеклотекстолиты различных марок, гетинакс, полиимид, лавсан, фторопласт, керамика.

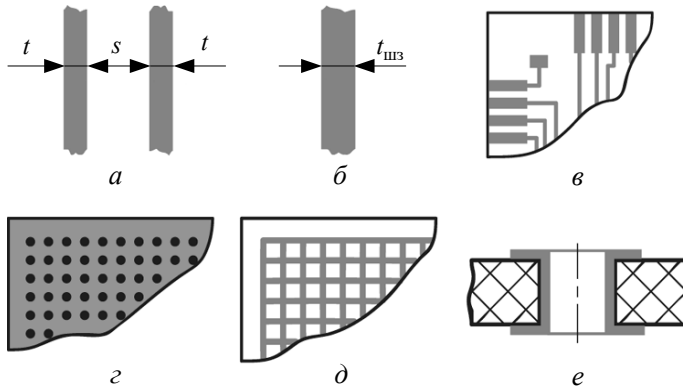
**Проводящий рисунок ПП** состоит из различных элементов:

- сигнальные проводники шириной  $t$ , видимой в плане (рис. 1.6, а);
- шины земли  $t_{шз}$  и питания  $t_{шп}$  (рис. 1.6, б);
- контактные площадки различных типов (рис. 1.6, в);
- экраны и экранные сетки (рис. 1.6, г, д);
- металлизированные отверстия (рис. 1.6, е).



**Рис. 1.5.** Схема печатной платы:

1 – основание ПП; 2 – проводящий рисунок; 3 – непроводящий рисунок;  
4 – металлизированное отверстие; 5 – конструктивное отверстие

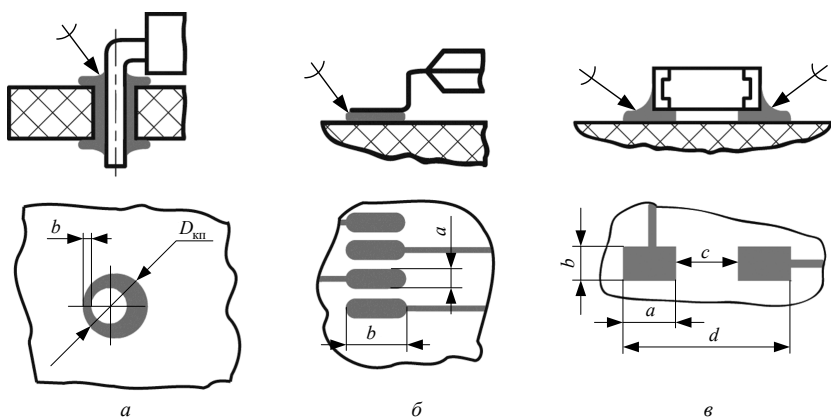


**Рис. 1.6.** Элементы проводящего рисунка ПП:  
*a* – сигнальные проводники; *б* – шина земли (питания); *в* – концевые печатные контакты (КПК) – печатный разъем; *г* – экран;  
*д* – экранная сетка; *е* – металлизированное отверстие

Ширина  $t$  сигнальных проводников определяется токовой нагрузкой, зависит от прочности сцепления меди с диэлектриком задается в соответствии с выбранным классом точности ПП. Расстояние  $S$  между параллельно проложенными проводниками задается равным их ширине. Параметр  $t/s$  – основной для заданного класса точности ПП. Ширина шин земли и питания больше ширины сигнальных проводников.

Все элементы проводящего рисунка ПП, лежащие в одной плоскости, образуют проводящий слой. Если ПП состоит из нескольких проводящих слоев, то их электрически соединяют с помощью металлизированных отверстий (рис. 1.6, *e*), с осажденным на их стенки слоем меди. Взаимовлияние печатных проводников (индуктивное, емкостное) компенсируют экранами, экранными слоями взаимноперпендикулярной прокладкой сигнальных цепей на различных слоях ПП.

**Контактные площадки (КП)** проводящего рисунка ПП предназначены для надежного электрического соединения выводов навесных компонентов, монтируемых на плате (рис. 1.7), с печатным монтажом.

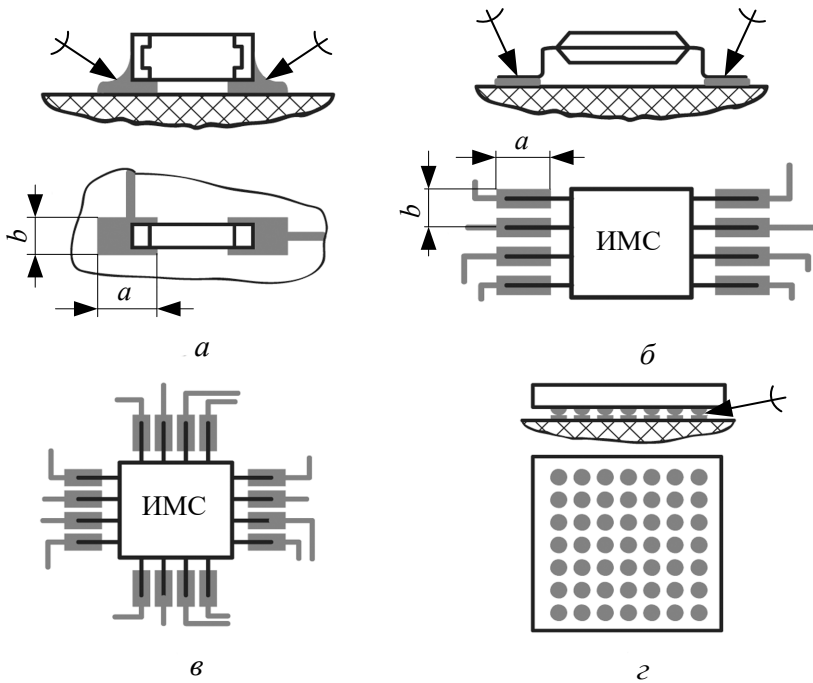


**Рис. 1.7.** Типы контактных площадок (КП) в проводящем рисунке ПП: *а* – в зоне монтажных или переходных отверстий; *б* – для соединения планарных выводов ИМС с печатным монтажом; *в* – для соединения компонентов, монтируемых на поверхности основания ПП (КМП) с печатным монтажом.

Круглые КП (рис. 1.7, *а*) должны быть соосны с монтажным отверстием под выводы компонентов, монтируемых в отверстие (КМО), а их диаметр  $D_{\text{кп}}$  должен обеспечивать качество галтелей припоя и целостность площадки ( $b$  – гарантированный поясok, определяемый классом точности ПП). Величина  $D_{\text{кп}}$  компенсирует погрешности несоосности отверстия и КП.

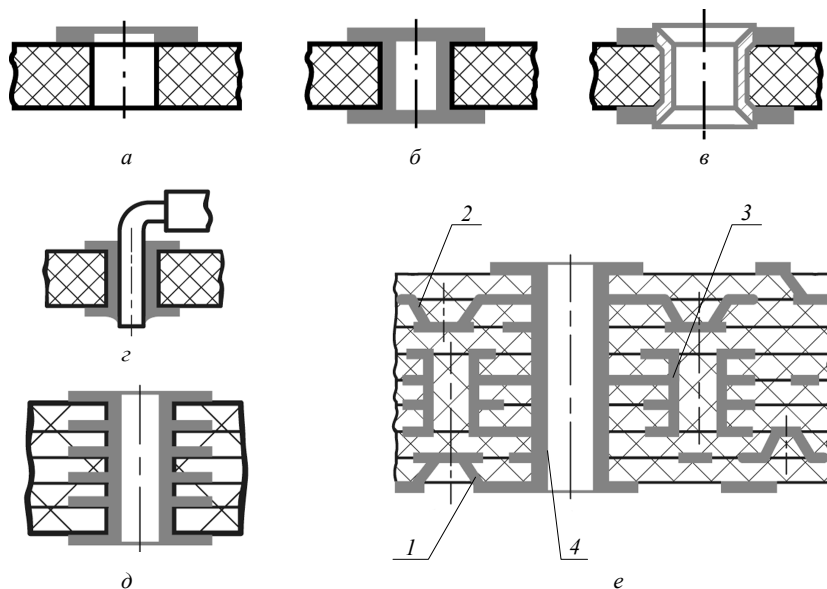
Геометрия планарных КП (рис. 1.7, *б, в*) определяется геометрией корпусов и выводов ИМС и других компонентов, монтируемых на поверхность основания ПП (КМП). Их размеры должны быть достаточны для образования качественных галтелей припоя по периметру планарного вывода или корпуса КМП.

По характеру размещения и геометрии КП в зоне проводящего рисунка можно предварительно судить о типе устанавливаемого на ПП компонента (рис. 1.8).



**Рис. 1.8.** Характер расположения КП проводящего рисунка:  
*a* – для монтажа чип-компонентов; *б* – для монтажа ИМС с двусторонним расположением планарных выводов; *в* – для монтажа ИМС с четырехсторонним расположением планарных выводов; *г* – для монтажа ИМС с матричным расположением шариковых выводов

**Металлизированные монтажные и переходные отверстия** (рис. 1.9) также являются элементом проводящего рисунка, который выполнен в объеме основания путем осаждения меди на стенки отверстий. При этом необходим надежный электрический переход от плоской к цилиндрической части проводящего рисунка. Надежность соединения снижается в многослойных печатных платах (МПП). Отсюда необходимость в высоком качестве стенок просверленных отверстий и в подготовке их под осаждение меди.



**Рис. 1.9.** Виды основных отверстий ПП:

- a* – неметаллизированное монтажное в ОПП; *б* – металлизированное переходное в ДПП; *в* – пистонированное переходное в ДПП;  
*г* – металлизированное монтажное в ДПП; *д* – сквозное, металлизированное в МПП; *е* – отверстия в МПП с высокой плотностью проводящего рисунка; *1* – глухой микропереход; *2* – скрытый глухой микропереход; *3* – внутреннее скрытое переходное отверстие; *4* – сквозное металлизированное отверстие

**Координатная сетка** (рис. 1.10) определяет положение всех конструктивных элементов ПП:

- прокладка сигнальных проводников и шин по линиям сетки, параллельно или под определенными углами ( $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$ ) к сетке;
- размещение отверстий в узлах сетки;
- размещение КП в узлах сетки.

Координатная сетка наносится на рабочем чертеже ПП с указанием шага ( $t_c = 2,5; 1,25; 0,625; 0,5$ ). Как правило, шаг сетки согласуют с шагом выводов ИМС. На изготовленной ПП шаг сетки не нанесен.

**Технологическое поле** (рис. 1.11) является важным конструктивным элементом заготовки ПП. Ширина поля 20–30 мм по периметру заготовки.



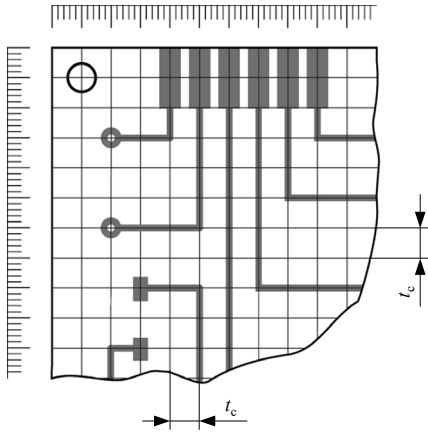


Рис. 1.10. Координатная сетка

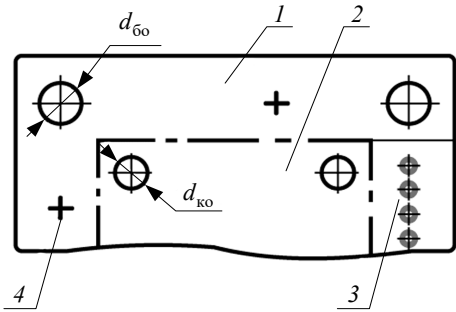


Рис. 1.11. Технологическое поле заготовки ПП: 1 – поле по периметру заготовки; 2 – рабочее поле ПП; 3 – тест-купон; 4 – реперный знак

В нем размещают два базовых отверстия ( $d_{\text{бo}}$ ) для ориентации заготовки на операции сверления монтажных отверстий, для взаимной ориентации заготовки и фотошаблона с рисунком печатной схемы. В технологическом поле присутствуют реперные знаки для определения точного положения заготовки на некоторых технологических операциях. Поле является звеном электрической цепи при гальваническом осаждении меди на проводящий рисунок ПП. Предусмотрена удаляемая часть поля (тест-купон) для контроля качества металлизированных отверстий. После окончания ТП поле удаляется.

Исходными материалами для изготовления ПП служат фольгированные диэлектрики (рис. 1.12, а, б) и нефольгированные диэлектрики (рис. 1.12, в).

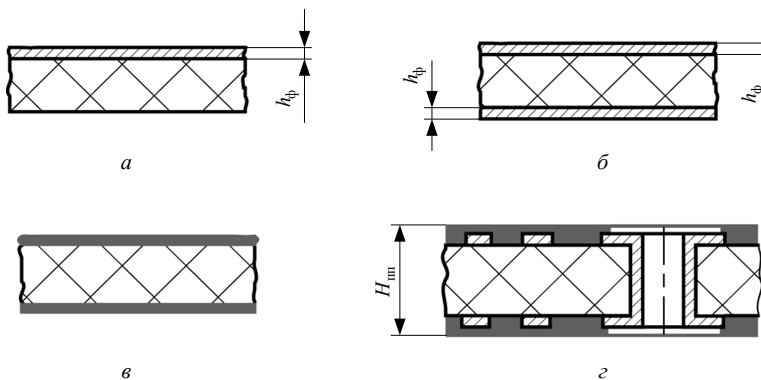
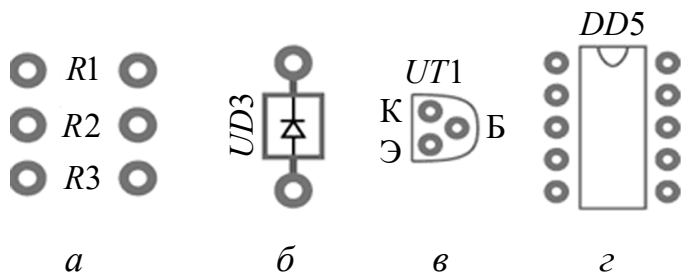


Рис. 1.12. Схемы состояния материалов ПП:  
 а – односторонне фольгированный диэлектрик; б – двусторонне фольгированный диэлектрик; в – нефольгированный диэлектрик с адгезионным слоем; г – двусторонняя ПП с паяльной маской

Фольга толщиной 5; 18; 20; 35; 50; 70 мкм приклеивается к диэлектрику заводом-изготовителем, что гарантирует прочность сцепления проводящего рисунка с основанием ПП при её изготовлении и эксплуатации в составе электронного модуля. Толщина материала заготовки  $H_m$  учитывает толщину диэлектрика и фольги.

Если заготовка – нефольгированный диэлектрик (рис. 1.12, в), то проводящий рисунок удерживает адгезионный слой и соответствующая химическая подготовка поверхности. Изготовленную ПП покрывают паяльной маской (рис. 1.12, г), которая и определяет конечную толщину платы  $H_{пп}$ .

Для удобства монтажа на плате навесных компонентов на монтажную сторону сеткографией наносят маркировку типов ИЭТ, знаки ориентации диодов, транзисторов и ИМС (рис. 1.13).



**Рис. 1.13.** Маркировка мест установки навесных компонентов на монтажной стороне ПП:  
*a* – резисторы; *б* – диоды; *в* – транзисторы; *г* – ИМС

Разработаны требования к информации, содержащейся на рабочем чертеже ПП. В настоящее время проект ПП представляют в электронном виде, а на предприятии-изготовителе корректируют трассировку и адаптируют конструкцию платы к действующему производству.

### Тесты к лекции 1.1

1. Что такое коммутационные структуры?
  - а) Специальным образом сформированные проводящие среды, предназначенные для коммутации и передачи сигналов между различными модулями и субмодулями электронной аппаратуры;
  - б) Способ монтажа электронных модулей аппаратуры, при котором электрические соединения выполнены с помощью печатных проводников;
  - в) Элемент проводящего рисунка, который выполнен в объеме основания путем осаждения меди на стенки отверстий.
2. Почему созданы разные типы коммутационных структур и не может быть использован один тип?
  - а) Удовлетворить всем требованиям к коммутационным структурам, используя какой-либо один тип, невозможно;
  - б) По причине того, что увеличивается сложность электронной аппаратуры;
  - в) Потому что коммутационные структуры используются на всех уровнях электронных модулей.
3. Что такое печатный монтаж?
  - а) Способ монтажа электронных модулей аппаратуры, при котором электрические соединения выполнены с помощью печатных проводников;
  - б) Элемент проводящего рисунка, который выполнен в объеме основания путем осаждения меди на стенки отверстий;
  - в) Специальным образом сформированные проводящие среды, предназначенные для коммутации и передачи сигналов между различными модулями и субмодулями электронной аппаратуры.
4. Для чего используется координатная сетка?
  - а) Определяет положение всех конструктивных элементов ПП;
  - б) Образует проводящий слой;
  - в) Определяет точное положения заготовки на технологических операциях.
5. Что такое металлизированные монтажные и переходные отверстия?
  - а) Элемент проводящего рисунка, который выполнен в объеме основания путем осаждения меди на стенки отверстий;
  - б) Специальным образом сформированные проводящие среды, предназначенные для коммутации и передачи сигналов между различными модулями и субмодулями электронной аппаратуры;
  - в) Способ монтажа электронных модулей аппаратуры, при котором электрические соединения выполнены с помощью печатных проводников.