

Конденсаторы

- Конденсатор — это элемент электрической цепи, состоящий из проводящих электродов (обкладок), разделенных диэлектриком, и предназначенный для использования его электрической емкости.
- Емкость конденсатора есть отношение заряда конденсатора к разности потенциалов, которую заряд сообщает конденсатору.

Благодаря свойству быстро накапливать и отдавать электрическую энергию конденсаторы нашли широкое применение в качестве накопителей энергии в различных фильтрах и в импульсных устройствах.

Конденсаторы различаются по следующим признакам: характеру изменения емкости, способу защиты от внешних воздействующих факторов, назначению, способу монтажа и виду диэлектрика.

По характеру изменения емкости

конденсаторы
постоянной емкости

Емкость постоянных конденсаторов является фиксированной, в процессе эксплуатации не регулируется.

подстроечные
конденсаторы

Емкость подстроечных конденсаторов изменяется при разовой или периодической регулировке и не изменяется в процессе функционирования аппаратуры.

конденсаторы
переменной емкости

Конденсаторы переменной емкости допускают изменение емкости в процессе функционирования аппаратуры.

Подстроечные конденсаторы используют для подстройки и выравнивания начальных емкостей сопрягаемых контуров, для периодической подстройки и регулировки цепей, где требуется незначительное изменение емкости.

Управление емкостью может осуществляться механически, электрическим напряжением (вариконды) и температурой (термоконденсаторы). Такие конденсаторы применяют для плавной настройки колебательных контуров и в цепях автоматики.



По способу защиты от внешних воздействующих факторов

незащищенные

(допускают эксплуатацию при повышенной влажности только, в составе герметизированной аппаратуры)

защищенными

неизолированными с покрытием или без покрытия

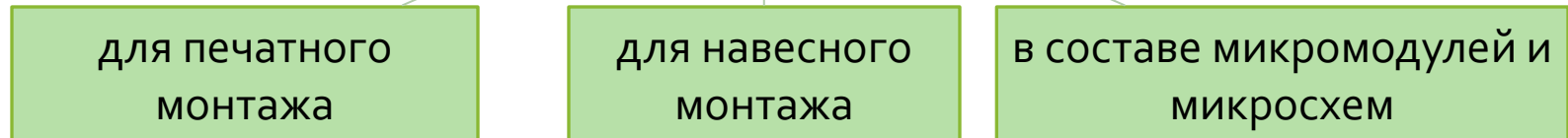
изолированными (с изоляционным покрытием)

уплотненными органическими материалами

герметизированными

с помощью керамических и металлических корпусов или стеклянных колб, что исключает взаимодействие внутреннего пространства с окружающей средой.

В зависимости от способа монтажа



Использование конденсаторов в конкретных цепях аппаратуры (низковольтные, высоковольтные, низкочастотные, высокочастотные, импульсные, пусковые, полярные, неполярные, помехоподавляющие, дозиметрические, нелинейные и др.) зависит от вида использованного в них диэлектрика.

По назначению

Общего назначения

обычно низковольтные, без специальных требований

Специального назначения

По виду диэлектрика

Конденсаторы с жидким диэлектриком

Конденсаторы с газообразным диэлектриком

Конденсаторы вакуумные

Твердотельные конденсаторы

Конденсаторы с твёрдым органическим диэлектриком

Конденсаторы с твёрдым неорганическим диэлектриком

Электролитические и оксидно-полупроводниковые конденсаторы

Конденсаторы для гибридных микросхем

Конденсаторы с оксидным диэлектриком

Конденсаторы с органическим диэлектриком

Пленочные
конденсаторы

Полистирольные
конденсаторы

Полипропиленовые
конденсаторы

Полиэтилентерефталатные (ПЭТФ)

Поликарбонатные конденсаторы

Комбинированные конденсаторы

Лакопленочные конденсаторы

Бумажные и особенно металобумажные конденсаторы

Конденсаторы с органическим диэлектриком

Конденсаторы с органическим диэлектриком изготавливаются намоткой конденсаторной бумаги, пленок или их комбинации с металлизированными или фольговыми электродами.

Они условно подразделяются на

- низковольтные (до 1000... 1600 В, а для оксидных до 600 В)
- высоковольтные (свыше 1600 В).

В свою очередь, низковольтные конденсаторы подразделяются на:

- низкочастотные с рабочей частотой до 10⁵ Гц (на основе полярных и слабополярных органических пленок: бумажные, металобумажные, полиэтилентерефталатные, комбинированные, лакопленочные, поликарбонатные и полипропиленовые)
- высокочастотные с рабочими частотами до 10⁷ Гц (на основе неполярных органических пленок: полистирольные, фторопластовые и некоторые полипропиленовые).

Высоковольтные конденсаторы подразделяются на

Высоковольтные постоянного напряжения (в качестве диэлектрика используются бумага, полистирол, фторопласт, лавсан и комбинированные)

Высоковольтные импульсные (на основе бумажного и комбинированного диэлектриков)

Комбинированные конденсаторы обладают повышенной электрической прочностью по сравнению с бумажными

Высоковольтные импульсные конденсаторы должны пропускать большие токи без искажений, т.е. должны иметь **малую собственную индуктивность**.

Дозиметрические конденсаторы (обычно фторопластовые) работают в цепях с низким уровнем токовых нагрузок, имеют большие сопротивления изоляции и постоянные времени

Помехоподавляющие конденсаторы (обычно бумажные, комбинированные и лавсановые) предназначены для ослабления электромагнитных помех, имеют **высокое сопротивление изоляции**, малую собственную индуктивность, что повышает полосу подавляемых частот.

Пленочные конденсаторы выпускаются на основе синтетических пленок толщиной 1,4...30 мкм.

В зависимости от использованного диэлектрика они подразделяются на группы,

- из неполярных пленок (полистирольные, фторопластовые, полипропиленовые),
- из полярных пленок (полиэтилентерефталатные, т.е. лавсанполикарбонатные),
- комбинированные (пленка и бумага) и
- лакопленочные.

Каждый класс конденсаторов обладает определенным комплексом свойств, и в целом пленочные конденсаторы покрывают широкий диапазон требований современной техники.

Пленочные конденсаторы отличаются более высокими электрическими и эксплуатационными характеристиками и меньшей трудоемкостью изготовления по сравнению с бумажными, поэтому производство их непрерывно растет.

Пленочные конденсаторы

Конденсаторы выпускаются с фольговыми и металлизированными обкладками.

Фольговые конденсаторы отличаются более высокими и стабильными электрическими характеристиками

Конденсаторы с металлизированными обкладками отличаются от фольговых улучшенными удельными характеристиками. Это достигается за счет присущего таким конденсаторам свойства самовосстановления, позволяющего повысить рабочие напряженности электрического поля.

Области применения фторопластовых и полистирольных конденсаторов почти не отличаются

Фторопластовые конденсаторы применяют при повышенных температурах и более жестких требованиях к электрическим параметрам.

Полистирольные конденсаторы обладают высокой температурной и временной стабильностью емкости, малыми значениями **температурного коэффициента емкости (ТКЕ)** в широком диапазоне частот, высокой постоянной времени; рассчитаны для интервала рабочих температур $-60...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, допускают работу в широком диапазоне частот.

Полистирольные фольговые конденсаторы открытой (К71-9, ГОМ) и уплотненной в алюминиевом корпусе (ПМ-2) конструкций выпускаются с номинальной емкостью от 22 пФ до 0,1 мкФ и напряжением 35 и 63 В.

Полистирольные конденсаторы с металлизированными обкладками уплотненной конструкции (К71-4, К71-5, К71-7) изготавливаются на основе тонкой полистирольной пленки с обкладками, в виде металлизированной с двух сторон пленки ПЭТФ. Они выпускаются с номинальной емкостью от 1000 пФ до 10 мкФ и напряжением 160 и 250 В. Использование металлизированных обкладок позволило получить высокие для полистирольных конденсаторов удельные заряды — до 14 мкКл/см³.

Конденсаторы К71-7 предназначены для печатного монтажа, имеют наибольшую точность по емкости (до $\pm 0,5\%$) и частую шкалу номинальных емкостей.

Полипропиленовые конденсаторы (как и полистирольные) относятся к высокочастотным.

Основное их преимущество по сравнению с полистирольными — улучшенные в несколько раз удельные характеристики.

Полиэтилентерефталатные (ПЭТФ) конденсаторы являются наиболее распространенными и массовыми пленочными конденсаторами. Они отличаются от бумажных и металобумажных лучшими электрическими и эксплуатационными характеристиками, расширенным интервалом рабочих температур (-60...+125 °С).

Конструктивно в зависимости от климатических требований конденсаторы изготавливаются:

- в липкой ленте (К73-11, К73-13, К73-14),
- залитыми эпоксидным компаундом (К73-5, К73-9, К73-17),
- уплотненными в алюминиевом корпусе (К73-15, К73-16, К73-26),
- для печатного (К73-5, К73-9, К73-17, К73-24, К73-30) и навесного монтажа.

Поликарбонатные конденсаторы (К77-1, К77-2, К77-4) подобны по размерам и эксплуатационным характеристикам ПЭТФ конденсаторам, но отличаются от них более высокой точностью и стабильностью емкости.

Лакопленочные конденсаторы изготавливаются на основе тонких лаковых эфиоцеллюлозных пленок с металлизированными обкладками, герметичной (К76-4, К76-5) и уплотненной (К76-3) конструкций.

Конденсаторы выпускаются с $C_{\text{Ном}} = 0,1 \dots 22$ мкФ на напряжения 25, 63, 250 В.

Лакопленочные конденсаторы имеют наилучшие среди конденсаторов с органическим диэлектриком удельные характеристики.

Максимальный удельный заряд конденсаторов К76-5 составляет 115 мкКл/см^3 . За счет использования тонкого лакового диэлектрика (1,4 мкм) для этих конденсаторов достигнут удельный объем $0,22 \text{ см}^3/\text{мкФ}$.

Высоковольтные фильтровые конденсаторы К78-5 применяются в аппаратуре дальней связи. Допускают работу при малых значениях переменного напряжения частотой до **100 МГц**, воздействие одиночных импульсов напряжения **6 кВ**. Выпускаются с $C_{\text{Ном}} = 0,00047 \dots 0,47$ мкФ, $U_{\text{ном}} = 2$ кВ, $T_{\text{раб}} = -60 \dots +85$ °С.

Выдерживают длительное воздействие переменного напряжения с амплитудой **280 В** и частотой **50 Гц**.

Комбинированные конденсаторы общего назначения изготавливаются в стальных герметичных корпусах (К75-12, К75-24) и изоляционном эпоксидном корпусе (К75-47) с $C_{\text{Ном}}$ до 10 мкФ и $U_{\text{ном}}$ от 400 В до 63 кВ.

Использование комбинированного диэлектрика позволяет улучшить стабильность электрических параметров, расширить интервал рабочих температур, в ряде случаев улучшить удельные характеристики по сравнению с бумажными конденсаторами.

Конденсаторы К75-10 предназначены для работы в цепях переменного тока. Они изготавливаются в цилиндрическом герметичном корпусе с $C_{\text{Ном}}$ до 10 мкФ, $U_{\text{ном}} = 250 \dots 1000$ В, допускают работу на частотах до 10 кГц.

Импульсные энергоемкие конденсаторы К75-11, К75-17, К75-40 отличаются повышенными значениями удельной энергии (до 180 Дж/дм³), выпускаются с $C_{\text{Ном}}$ до 100 мкФ и $U_{\text{ном}}$ от 630 В до 5 кВ.

Бумажные и особенно металобумажные конденсаторы по-прежнему находят широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре в основном благодаря своей низкой стоимости.

Наиболее массовыми являются малогабаритные конденсаторы с металлизированными обкладками (МБМ, МБГО), обладающие удовлетворительной стабильностью электрических параметров и эксплуатационной надежностью.

Конденсаторы с неорганическим диэлектриком

В качестве диэлектрика в них используются керамика, стекло, стеклоэмаль, стеклокерамика или слюда.

Конденсаторы с такими диэлектриками подразделяются на **низковольтные, высоковольтные и помехоподавляющие.**

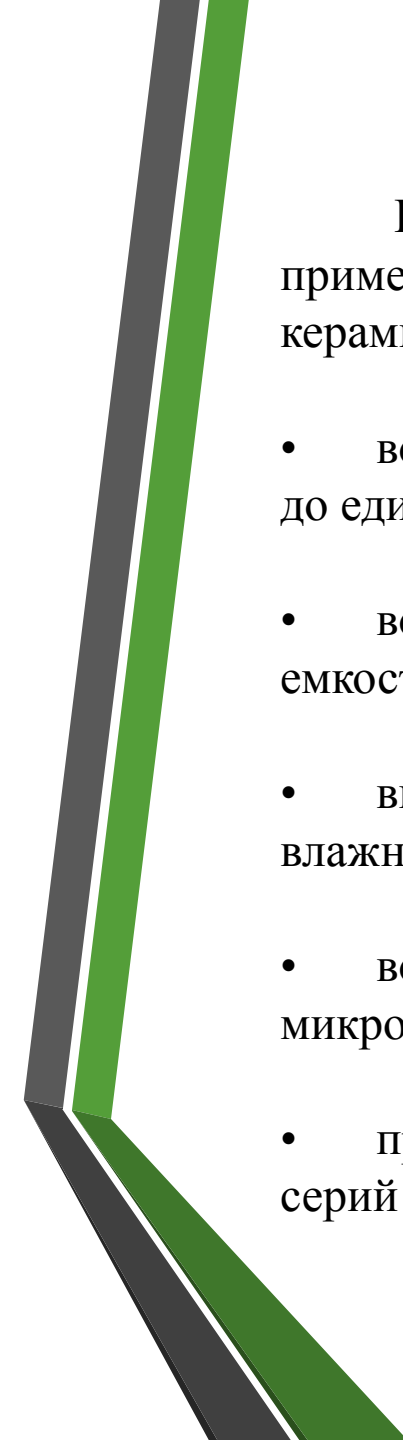


Низковольтные конденсаторы, в свою очередь, делятся на **низкочастотные** и **высокочастотные** (с частотой до сотен мегагерц и более) и предназначены: для использования в резонансных контурах и цепях, где требуются малые потери и высокая стабильность емкости (высокочастотные).

В цепях фильтров блокировки и развязки, где малые потери и стабильность емкости не имеют особого значения, используются керамические конденсаторы с большими диэлектрическими потерями (низкочастотные).

К высокочастотным конденсаторам относятся слюдяные, стеклоэмалевые, стеклокерамические и керамические;
к низкочастотным — стеклокерамические и керамические.

Высоковольтные конденсаторы выполняются с диэлектриком из керамики с большой диэлектрической проницаемостью и разделяются также на низкочастотные и высокочастотные. Они имеют конструкцию и выводы, рассчитанные на прохождение больших токов.



Керамические конденсаторы являются самыми массовыми среди применяемых в радиоэлектронной аппаратуре. К основным достоинствам керамических конденсаторов относятся:

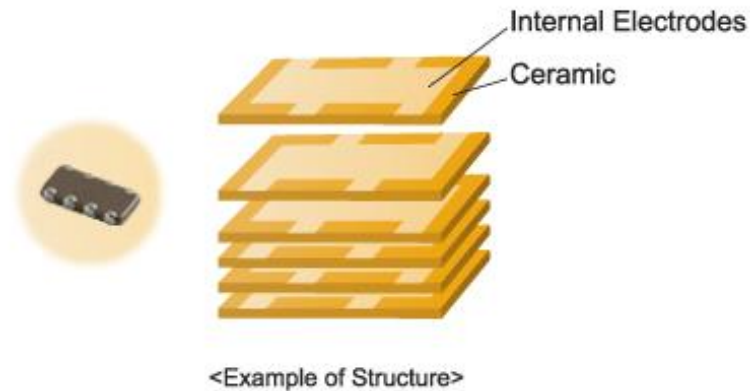
- возможность реализации широкой шкалы емкостей от долей пикофарады до единиц и десятков микрофард;
- возможность реализации заданного температурного коэффициента емкости (ТКЕ)
- высокая устойчивость к воздействиям внешних факторов (температура, влажность воздуха и т.п.) и высокая надежность;
- возможность использования керамических кристаллов совместно с микросхемами или в составе микросхем;
- простота технологии, делающая керамические конденсаторы массовых серий самыми дешевыми.

Керамические конденсаторы можно разделить на две группы: постоянной емкости, среди которых различают низковольтные ($U_{\text{ном}} < 1600 \text{ В}$) и высоковольтные ($U_{\text{ном}} > 1600 \text{ В}$), и подстроечные.

По базовым конструкциям низковольтные керамические конденсаторы можно разделить на:

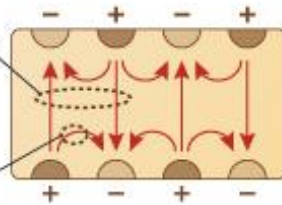
- трубчатые (КТ-1, 2, 3; К10-38);
- дисковые (КД-1, 2; К10-19; К10-29; К10-78);
- пластинчатые (К10-7В);
- полупроводниковые (с барьерным слоем К10У-5)
- монолитные (К10-17, К10-27, К10-42; К10-43; К10-47; К10-49, К10-50, К10-60, К22-5);
- специальные — проходные и опорные (КТП. К10П-4, КО, КДО).

Since the equivalent series inductance (ESL) is very low with excellent high frequency characteristics due to the design structure, this capacitor is ideal for power supply decoupling of high-speed operation IC.

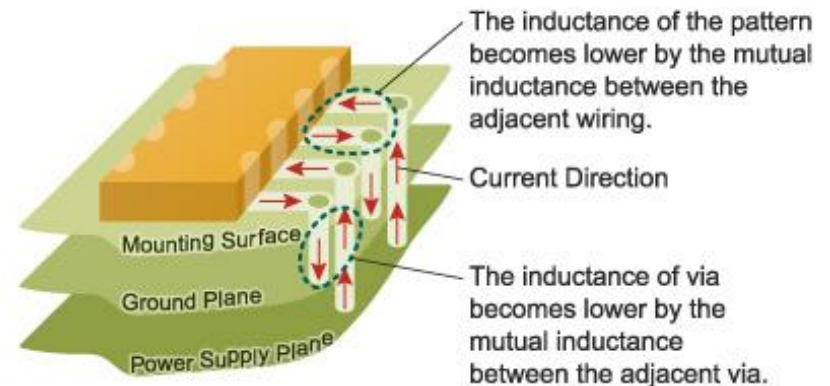


Since the current is the reverse direction, the ESL becomes lower with mutual inductance.

The current flows into the adjacent electrode, which reduces the current loop and lowers the ESL.



Effectiveness of Cancelling Out Inductance by Mutual Inductance

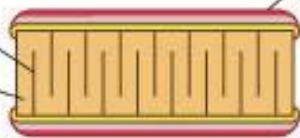


Effectiveness of Suppressing Inductance when Mounting a Multi-terminal Capacitor

The inductance for the boards also becomes lower, not only the capacitor.



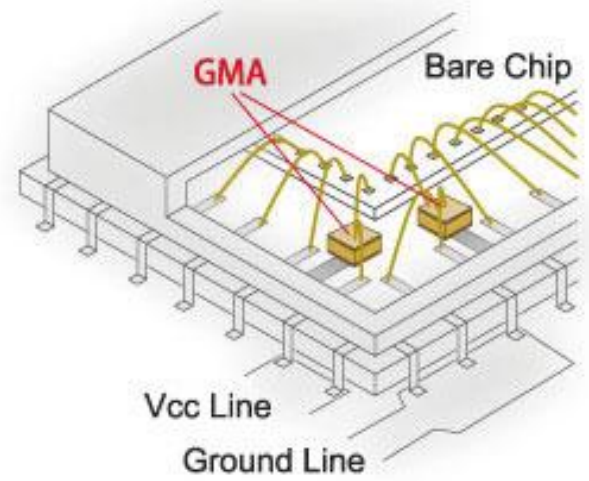
Internal
Electrodes: Ni
Ceramic



Au(Gold) plated layer

- Foundation Electrode Layer
- Ni plated layer

<Example of Structure>



<Mounting Example>

Условные обозначения конденсаторов

Сокращенное условное обозначение конденсаторов состоит из следующих элементов:

первый элемент — буква или сочетание букв, обозначающих конденсатор (К — конденсатор постоянной емкости; КТ — подстроенный конденсатор; КП — конденсатор переменной емкости; КС — конденсаторные сборки);

второй элемент — число, обозначающее используемый вид диэлектрика;

третий элемент — порядковый номер разработки конкретного типа.

*Пример сокращенного условного обозначения: **K75-10** соответствует комбинированному конденсатору, номер разработки 10.*

Полное условное обозначение конденсаторов

первый элемент — сокращенное обозначение;

второй элемент — обозначения и значения основных параметров и характеристик, необходимых для заказа и записи в конструкторской документации (вариант конструктивного исполнения, номинальное напряжение, номинальная емкость, допускаемое отклонение емкости, группа и класс по температурной стабильности);

третий элемент — обозначение климатического исполнения, четвертый элемент — обозначение документа на поставку (ТУ, ГОСТ).

Пример полного условного обозначения:

K75-10-250 В= 1,0 мкФ±5%=2=ОЖО.

484.465 ТУ соответствует комбинированному конденсатору K75-10 с номинальным напряжением 250 В, номинальной емкостью 1,0 мкФ и допустимым отклонением по емкости ±5%, всеклиматического исполнения В.

Сокращенные условные обозначения и области применения конденсаторов

Сокращенные обозначения	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Назначение, основные области применения
Конденсаторы постоянной емкости		
К10	Керамические на номинальные напряжения ниже 1600 В	Для высокочастотных конденсаторов: термокомпенсация, емкостная связь, фиксированная настройка контуров на высокой частоте. Для низкочастотных конденсаторов: шунтирующие, блокирующие и фильтровые цепи, связь между каскадами на низкой частоте
К15	Керамические на номинальные напряжения 1600 В и выше	Емкостная связь, фиксированная настройка мощных высокочастотных контуров, импульсные устройства

Сокращенные обозначения	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Назначение, основные области применения
Конденсаторы постоянной емкости		
K21 K22 K23	Стекланные Стеклокерамические Стеклоэмалевые	Блокировка, фиксированная настройка высокочастотных контуров, емкостная связь, шунтирующие цепи
K31 K32	Слюдяные малой мощности Слюдяные большой мощности	Блокировочные и шунтирующие, высокочастотные фильтровые цепи, емкостная связь, фиксированная настройка контуров
K40	Бумажные на номинальное напряжение ниже 1600 В с фольговыми обкладками	Блокировочные, буферные, шунтирующие, фильтровые цепи, емкостная связь
K41	Бумажные на номинальное напряжение 1600 В и выше с фольговыми обкладками	Блокировочные, буферные, шунтирующие, фильтровые цепи. емкостная связь
K42	Бумажные с металлизированными обкладками (металлобумажные)	Цепи развязок и фильтры; в качестве емкостей связи не применяются

Сокращенные обозначения	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Назначение, основные области применения
Конденсаторы постоянной емкости		
К50	Электролитические алюминиевые	Шунтирующие и фильтровые цепи, накопление энергии в импульсных устройствах
К51	Электролитические танталовые фольговые	Применяются в тех же цепях, что и электролитические алюминиевые, в основном в транзисторной аппаратуре с повышенными требованиями к параметрам конденсаторов
К52	Электролитические танталовые объемно-пористые	
К53	Оксидно-полупроводниковые	
К60 К61	Воздушные Газообразные	Образцовые эталоны емкости, высоковольтные блокировочные, развязывающие, контурные конденсаторы

Сокращенные обозначения	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Назначение, основные области применения
Конденсаторы постоянной емкости		
К70	Полистирольные с фольговыми обкладками	Точные временные цепи, интегрирующие устройства, настроенные контура высокой добротности, образцовые
К71	Полистирольные с металлизированными обкладками	
К72	Фторопластовые	В тех же цепях, что и полистирольные при повышенных температурах и жестких требованиях к электрическим параметрам
К73	Полиэтилентерефталатные с металлизированными обкладками	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы при повышенных требованиях к электрическим параметрам
К74	Полиэтилентерефталатные с фольговыми обкладками	
К75	Комбинированные	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы при повышенных требованиях к надежности

Сокращенные обозначения	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Назначение, основные области применения
Конденсаторы постоянной емкости		
К76	Лакопленочные	Частично могут заменять электролитические конденсаторы (особенно при повышенных значениях переменной составляющей). Применяются в тех же цепях, что и бумажные, металлобумажные и электролитические конденсаторы
К77	Поликарбонатные	В тех же цепях, что и конденсаторы К73, но при более высоких частотах
К78	Полипропиленовые	В телевизионной и бытовой аппаратуре

Сокращенные обозначения	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Назначение, основные области применения
Конденсаторы подстроечные		
КТ1	Вакуумные	В специальной аппаратуре
КТ2	С воздушным диэлектриком	В радиоприемной аппаратуре
КТ3	С газообразным диэлектриком	В специальной аппаратуре
КТ4	С твердым диэлектриком	В радиоприемной и телевизионной аппаратуре



Сокращенные обозначения	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Назначение, основные области применения
Конденсаторы переменной емкости		
КП1	Вакуумные	В специальной аппаратуре
КП2	С воздушным диэлектриком	В радиоприемной аппаратуре
КП3	С газообразным диэлектриком	В специальной аппаратуре
КП4	С твердым диэлектриком	В радиоприемной и телевизионной аппаратуре

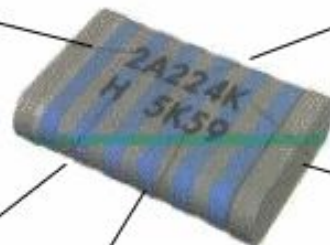
РАБОЧЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ

0E – 2.5 В	1V – 35
0G – 4 В	1H – 50 В
0J – 7 В	1J – 63 В
1A – 10 В	2A – 100 В
1C – 16 В	2E – 250 В
1D – 20 В	2G – 400 В
1E – 25 В	2J – 630 В

ТЕМПЕРАТУРА ПАЙКИ

G – 250 °C/5с
H – 260 °C/5с
J – 260 °C/10с

СЛУЖЕБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ЕМКОСТЬ

Первые две цифры указывают значение емкости в пикофарадах (пФ), третья – количество нулей.
224=22 0000 пФ=0.22 мкФ

ДОПУСК

J – ± 5 %
K – ± 10 %
M – ± 20 %

Конденсатор
серии MMX-E
0.22 мкФ ± 10 %,
100 В

ЁМКОСТЬ

0.22 мкФ

ДОПУСК

± 10 %



СЛУЖЕБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

РАБОЧЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ

100 В

Номинальная емкость — емкость конденсатора, обозначенная а корпусе или в сопроводительной документации. Номинальные значения емкости стандартизованы.

Международной электротехнической комиссией (МЭК) установлено семь предпочтительных рядов для значений номинальной емкости: E3; E6; E12; E24; E48; E96; E192.

Цифры после буквы E указывают на число номинальных значений в каждом десятичном интервале (декаде), которые соответствуют числам 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 или числам, полученным путем их умножения и деления на 10^n , где n — целое положительное или отрицательное число.

В производстве конденсаторов чаще всего используются ряды E3, E6, E12, E24, реже E48, E96 и E192.

В условном обозначении номинальная емкость указывается в виде конкретного значения, выраженного в пикофарадах (пФ) или микрофарадах (мкФ).

Фактическое значение емкости может отличаться от номинального на величину допускаемого отклонения в процентах. Допускаемые отклонения кодируются соответствующими буквами.

Допускаемые отклонения емкости от номинального значения

Допускаемое отклонение емкости, %	Код	Допускаемое отклонение емкости, %	Код	Допускаемое отклонение емкости, %	Код
$\pm 0,1$	В(Ж)	± 10	К(С)	-20...+50	С(Б)
$\pm 0,2$	С(У)	± 20	М(В)	-20...+80	З(А)
$\pm 0,5$	Д(Д)	± 30	Н(Ф)	$\pm 0,1$	В
± 1	Р(Р)	-10...+30	О	$\pm 0,25$	С
± 2	Г(Л)	-10...+50	Т(Э)	$\pm 0,5$	Д
± 5	И(И)	-10...+100	У(Ю)	± 1	Ф

В скобках указано старое обозначение.

Номинальное напряжение

Номинальное напряжение — напряжение, обозначенное на конденсаторе (или указанное в документации), при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах.

Номинальное напряжение зависит от конструкции конденсатора и свойств применяемых материалов. При эксплуатации напряжение на конденсаторе не должно превышать номинальное.

Для многих типов конденсаторов с увеличением температуры (обычно 70...85 °С) допустимое напряжение снижается.

Для конденсаторов с номинальным напряжением до 10 кВ номинальные напряжения устанавливаются из ряда (ГОСТ 9665—77): 1; 1,6; 2,5; 3,2; 4; 6,3; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 350; 400; 450; 500; 630; 800; 1000; 1600, 2000; 2500; 3000; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000 В.

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ)

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ). Этот параметр применяется для характеристики конденсаторов с линейной зависимостью емкости от температуры. Он определяет относительное изменение емкости (в миллионных долях) от температуры при изменении ее на 1 °С.

Значения ТКЕ керамических конденсаторов и их кодированные обозначения приведены в таблице.

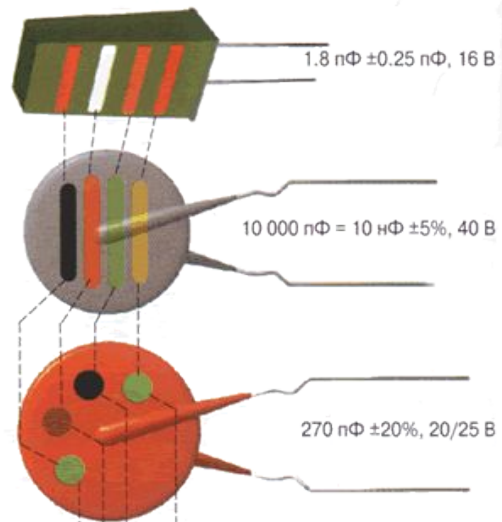
Обозначение группы ТКЕ	Номинальное значение ТКЕ, $\times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	Цветовой код
П100(120)	+100 (+120)	Красный+фиолетовый
П60	+60	-
П33	+33	Серый
МПО	0	Черный
М333	-33	Коричневый
М47	-47	Голубой+красный
М75	-75	Красный
М150	-150	Оранжевый
М220	-220	Желтый
М330	-330	Зеленый

Обозначение группы ТКЕ	Номинальное значение ТКЕ, $\times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	Цветовой код
M470	-470	Голубой
M750(M700)	-750 (700)	Фиолетовый
M1500(M1300)	-1500 (-1300)	Оранжевый + Оранжевый
M2200	-2200	Желтый + Оранжевый

Когда для обозначения группы ТКЕ требуются два цвета, второй цвет может быть представлен цветом корпуса.

Слюдяные и полистирольные конденсаторы имеют ТКЕ в пределах $(50 \dots 200) \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, поликарбонатные $\pm 50 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Для конденсаторов с другими видами диэлектрика ТКЕ не нормируется.

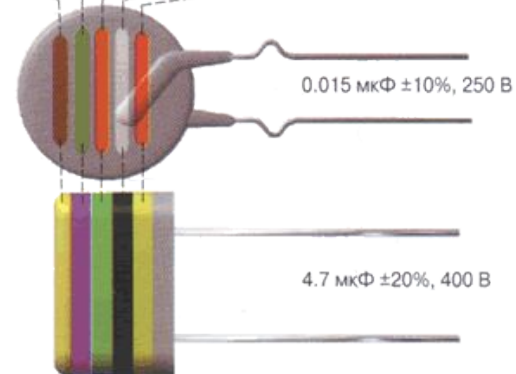


Черный	10	1	20%	4
Коричневый	12	10	1%	6.3
Красный	15	100	2%	10
Оранжевый	18	10^3	0.25 нФ	16
Желтый	22	10^4	0.5 нФ	40
Зеленый	27	10^5	5%	20/25
Голубой	33	10^6	1%	30/32
Фиолетовый	39	10^7	-20...+50%	
Серый	47	0.01	-20...+80%	3.2
Белый	56	0.1	10%	63
Серебряный	68			2.5
Золотой	82		5%	1.6

Цвет 1-я и 2-я
 Множитель Допуск Напряжение
 пФ

Для маркировки пленочных конденсаторов используют 5 цветных полос или точек: Первые три кодируют значение номинальной емкости, четвертая — допуск, пятая — номинальное рабочее напряжение.

Номинальная емкость, мкФ	1 полоса	2 полоса	3 полоса	Допуск	Напряжение
0.01	Бор	Черн	Оранжев	±10%	250 В
0.015	Бор	Зелен	Оранжев		
0.02	Красн	Красн	Оранжев		
0.03	Оранжев	Оранжев	Оранжев		
0.04	Желт	Фиолет	Оранжев		
0.06	Син	Сер	Оранжев		
0.10	Бор	Черн	Желт		
0.15	Бор	Зелен	Желт		
0.22	Красн	Красн	Желт		
0.33	Оранжев	Оранжев	Желт		
0.47	Желт	Фиолет	Желт	±20%	400 В
0.68	Син	Сер	Желт		
1.0	Бор	Черн	Зелен		
1.5	Бор	Зелен	Зелен		
2.2	Красн	Красн	Зелен		
3.3	Оранжев	Оранжев	Зелен		
4.7	Желт	Фиолет	Зелен		
6.8	Син	Сер	Зелен		



Емкость пленочного конденсатора

$$C = \frac{0,885 \varepsilon_r S}{d} = C_0 S$$

- S – площадь взаимного перекрытия обкладок, см²;
- ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика;
- d – толщина диэлектрика, см;
- C_0 – удельная емкость, пФ/см². Определяется диэлектрической проницаемостью применяемых материалов ($\varepsilon_r \approx 3...25$) и толщиной диэлектрика d .

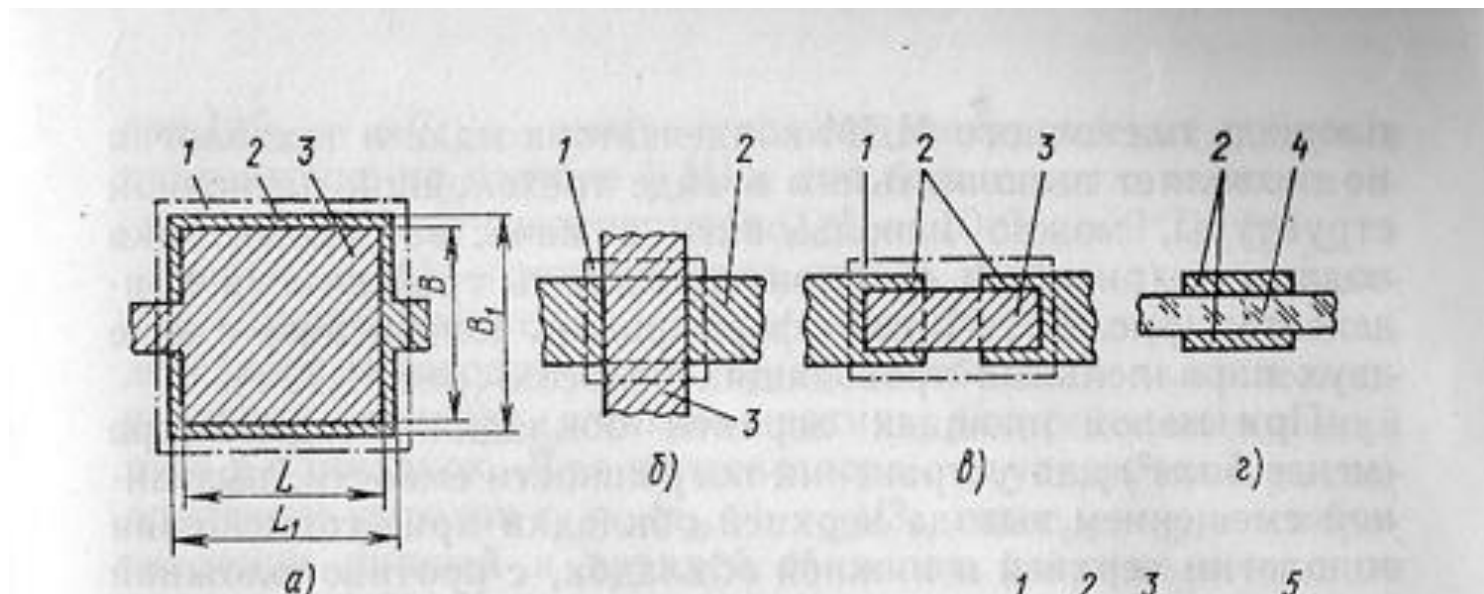
Толщина диэлектрика

- Выбирается из условия обеспечения заданного рабочего напряжения U_p :

$$d = \frac{K_z U_p}{E_{пр}}$$

- $K_z = 3...10$ – коэффициент запаса;
- $E_{пр}$ – напряжение пробоя. Для большинства диэлектрических материалов $E_{пр} = (1...9) 10^6$ В/см

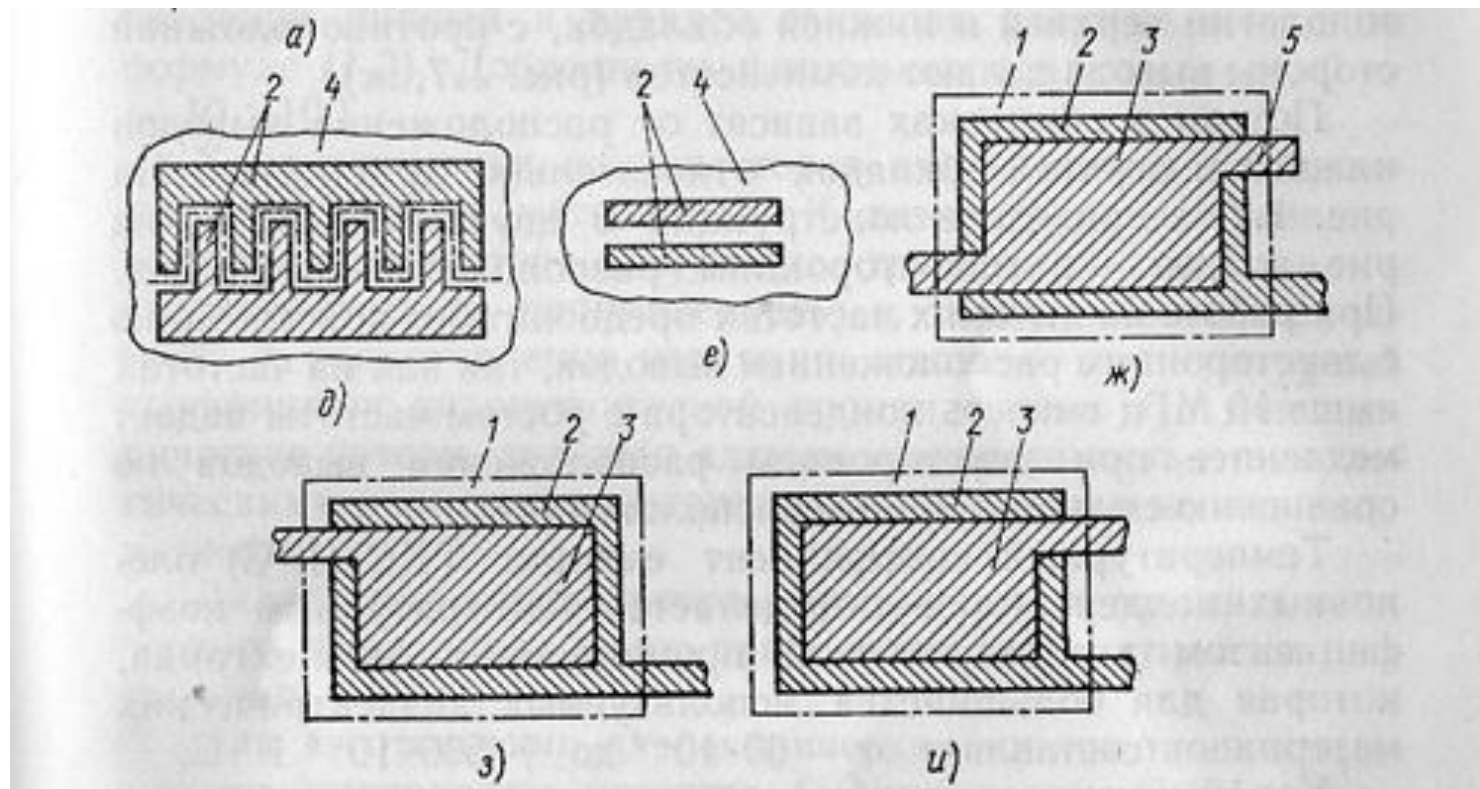
Конструкции тонкопленочных конденсаторы



а – в – плоский с тонкопленочным диэлектриком;
г – подложка в качестве диэлектрика конденсатора;
д – гребенчатый конденсатор;
е — полосковый конденсатор;
ж – плоский с компенсатором;
з, и – плоские с двусторонним и односторонним расположением выводов;

1 – диэлектрик;
2, 3 – обкладки конденсаторов;
4 – подложка ГИС;
5 – компенсатор.

Конструкции тонкопленочных конденсаторы



а – в – плоский с тонкопленочным диэлектриком;
г – подложка в качестве диэлектрика конденсатора;
д – гребенчатый конденсатор;
е – полосковый конденсатор;
ж – плоский с компенсатором;
з, и – плоские с двусторонним и односторонним расположением выводов;

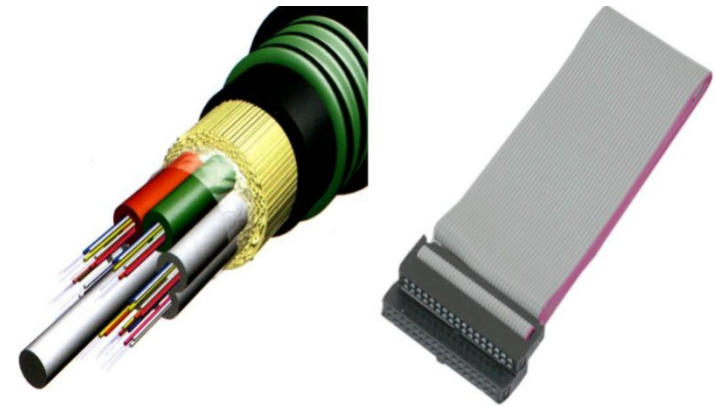
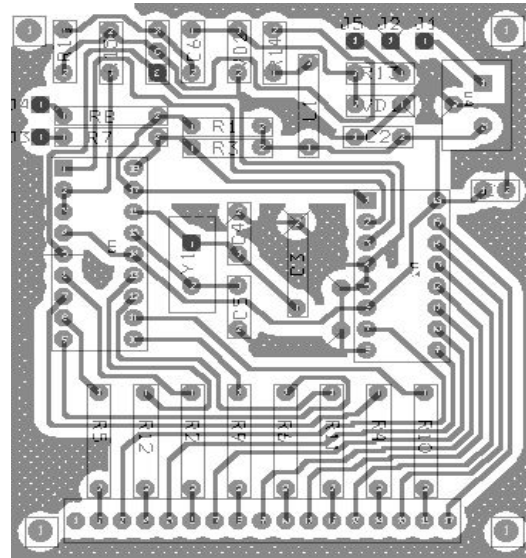
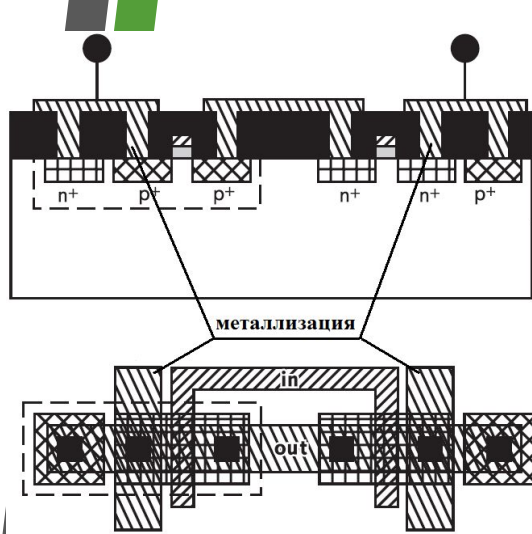
1 – диэлектрик;

2, 3 – обкладки конденсаторов;

Материалы для конденсаторов

Материал диэлектрика	Материал обкладок	Диэлектрическая прониц. На частоте 1 кГц	Удельная емкость	Тангенс угла д. потерь на частоте 1 кГц	Температурный коэф. ёмкости	Электрическая прочность $E_{пр} \times 10^5$	Стабильность В нормальных условиях Ураб, 1000 час.	Способ нанесения пленок
Моноокись кремния	Алюминий	5—6	5000—10000	0,01—0,02	2—3,5	2—3	± (1,5-6)	Термическое напыление
Моноокись германия	Алюминий	10—12	5000, 10000	0,001—0,005	3—5	1	— 1	То же
Двуокись кремния	Алюминий	4	20000	0.5	2	5—10	Реактивное распыление	
Окись алюминия	Алюминий+ Никель	8	30000, 40000	0,3—1	3—4	5	-	Реактивное распыление
Окись тантала	Тантал + ванадий	20—23	50000, 10000	0,02	4	2	± 1	То же
Боросиликатн. стекло	Алюминий+ Ванадий	3,9—4,2	15000	0,001	0,2	3—5		Термическое напыление
Алюмосиликат. стекло	То же	5,2—5,5	30000	0,003	1,5	3—5		То же
Иттрий-боритное стек.	---	10—12	60000	0,007	5	2—3		»
Паста ПК-12	Паста ПП-1, ПП-2	—	10 000	0,03—0,04	± 10	Упр > 150 В	±5	Сектография
Паста ПК 1000-30	То же	—	3700	0,036	+ 10	Упр > 150 В	±5	»

Коммутационные структуры – специальным образом сформированные проводящие среды, предназначенные для коммутации и передачи сигналов между различными модулями и submodule ЭВС.



Некоторые виды коммутационных структур:

металлизация на ИМС (слева), печатная плата (середина), кабель и шлейф (справа)

Коммутационные структуры для ЭВС 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 КС в зависимости от функциональных особенностей как самих КС, так и аппаратуры.

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

Характеристики РЧ/Аналоговых и цифровых печатных схем

РЧ микроволновые аналоговые печатные системы	Печатные системы для цифровых устройств
Системы невысокой сложности	Системы очень высокой сложности
Необходимо точное соответствие волновому сопротивлению	Не чувствительны к несогласованию к волновому сопротивлению
Минимизация потерь сигнала	Нечувствительны к использованию материалов с электрическими потерями
Важны малые размеры элементов схемы	Желательны малые размеры элементов схемы
Требуется высокая точность характеристик	Достаточна средняя точность характеристик
Требуется низкая, однородная диэлектрическая проницаемость	Диэлектрическая проницаемость имеет второстепенное значение

ИРС (Институт по межсоединениям и корпусной сборке электронных схем)

Для электронных схем разработано большое разнообразие материалов. Их можно разделить на три класса: **армированная органика, неармированная органика и неорганика.**

В первую очередь они используются для изготовления жестких, гибких, микроволновых и радиочастотных печатных плат, а также многокристальных модулей.

- температуру стеклования T_g
- коэффициент температурного расширения T_{CE} (КТР)
- относительная диэлектрическая проницаемость
- тангенс угла потерь или коэффициент потерь
- электрическую прочность диэлектрика или пробивное напряжение диэлектрика (DBV)
- коэффициент поглощения воды (VA)

Геометрия и электрические параметры коммутационных структур

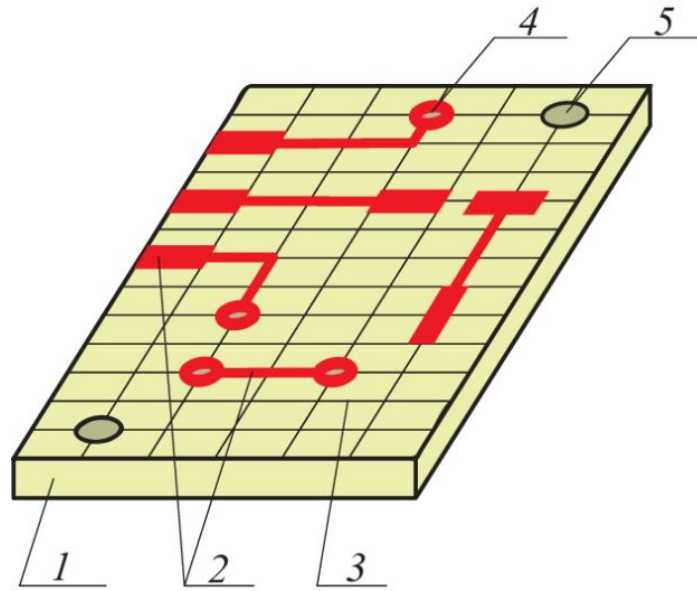
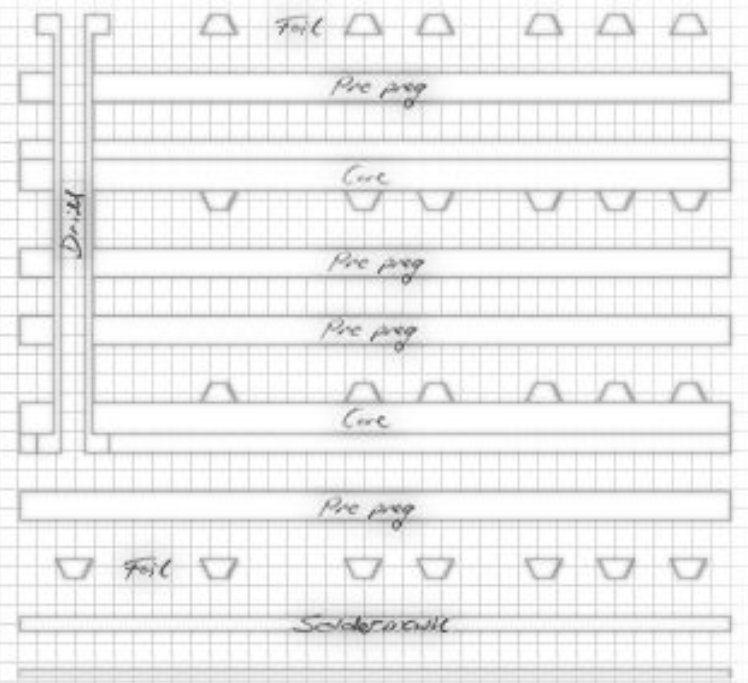
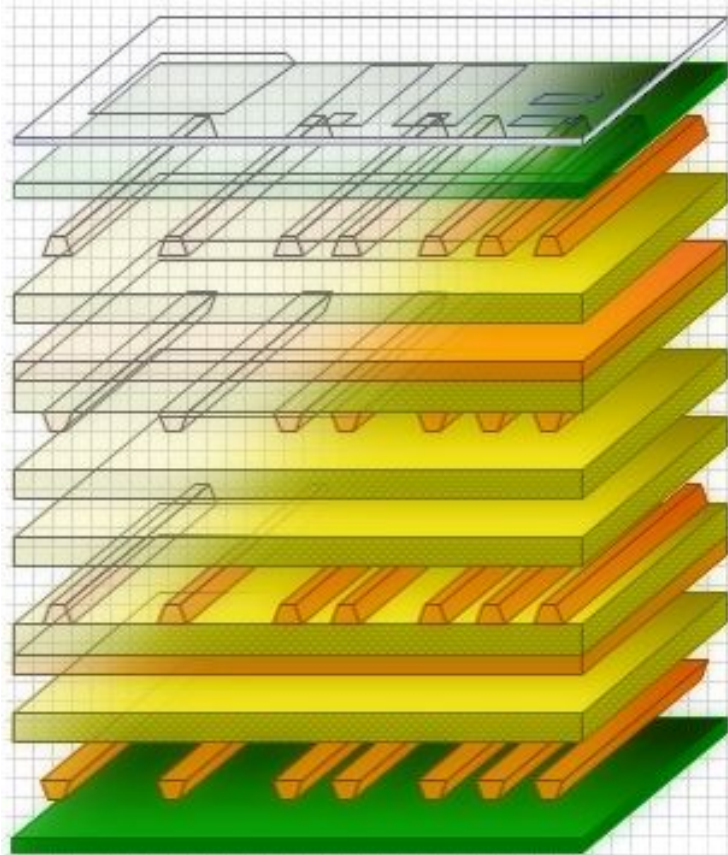


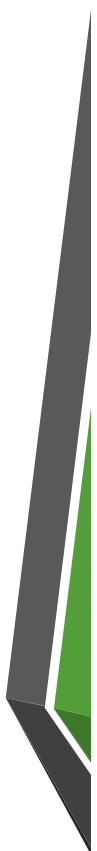
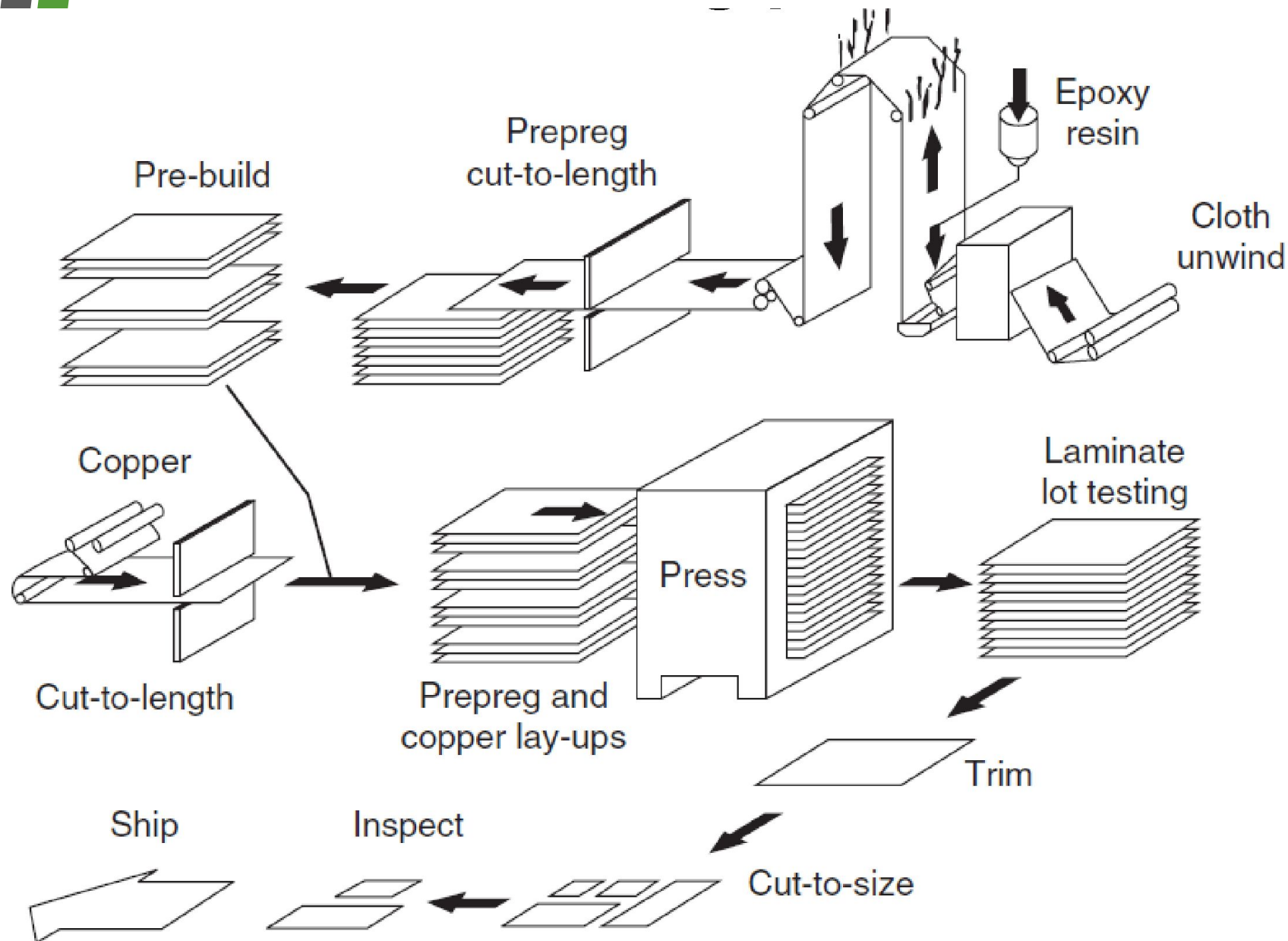
Схема печатной платы:

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

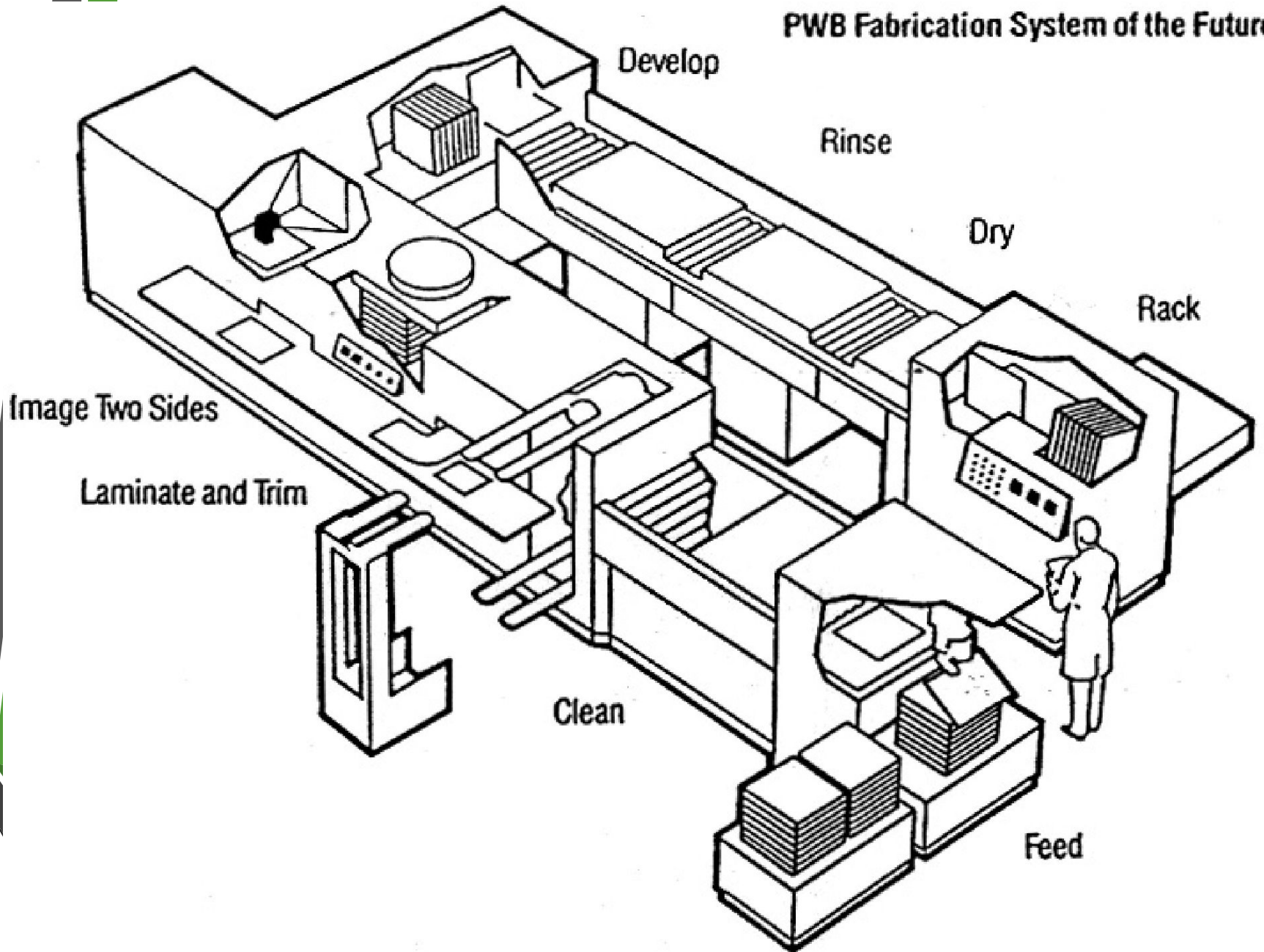
Печатный монтаж – способ монтажа электронных модулей (ЭМ) аппаратуры, при котором электрические соединения выполнены с помощью печатных проводников. Проводники размещены на диэлектрическом основании и образуют проводящий рисунок. Основание конечных размеров с проводящим рисунком и необходимыми отверстиями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

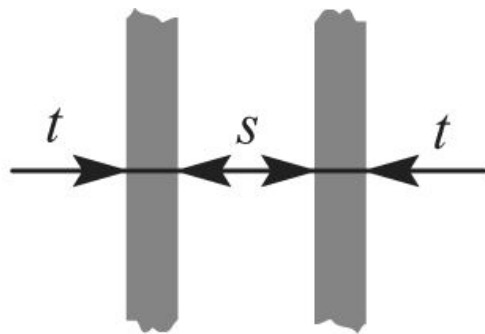
Структура печатной платы (ПП)



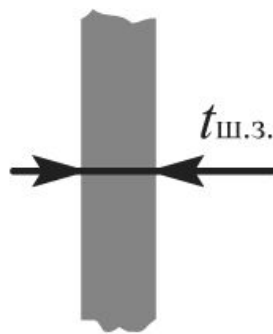


PWB Fabrication System of the Future

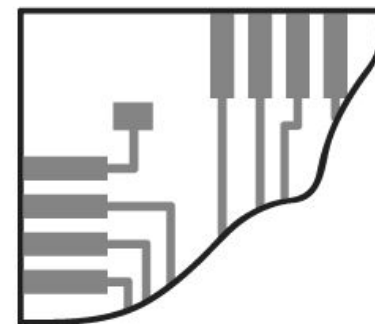




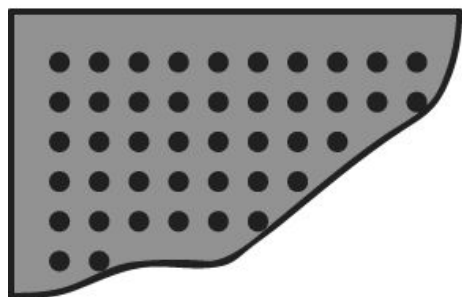
a



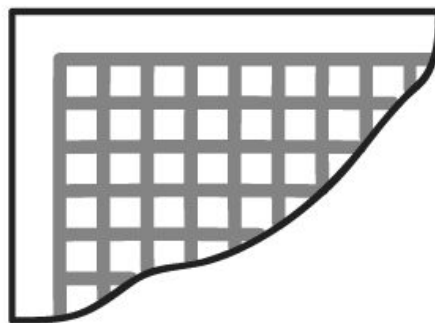
б



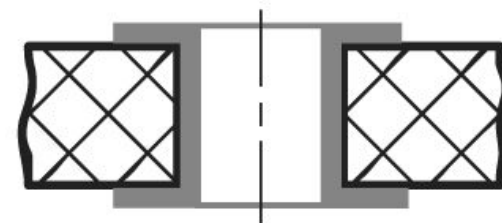
в



г



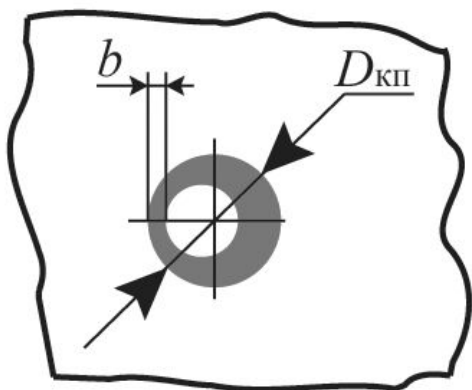
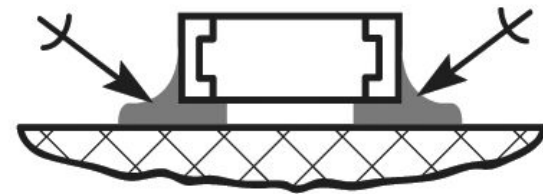
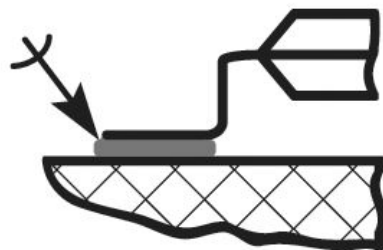
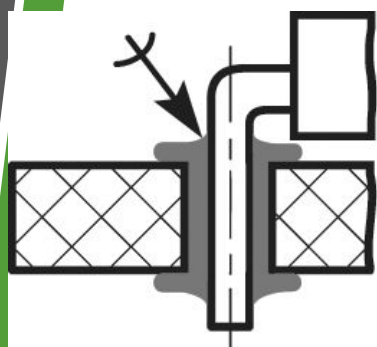
д



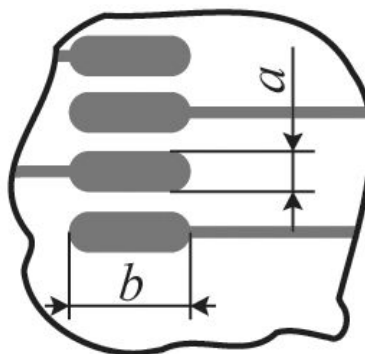
е

Элементы проводящего рисунка ПП:

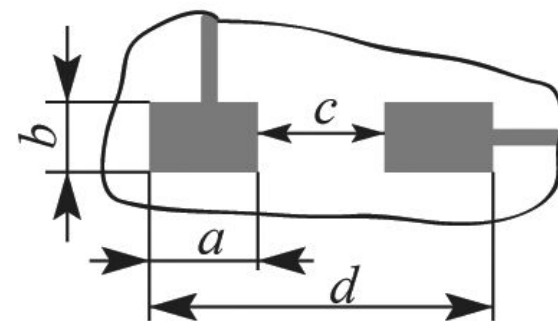
a – сигнальные проводники; *б* – шина земли (питания); *в* – концевые печатные контакты (КПК) – печатный разъем; *г* – экран; *д* – экранная сетка; *е* – металлизированное отверстие



a



б



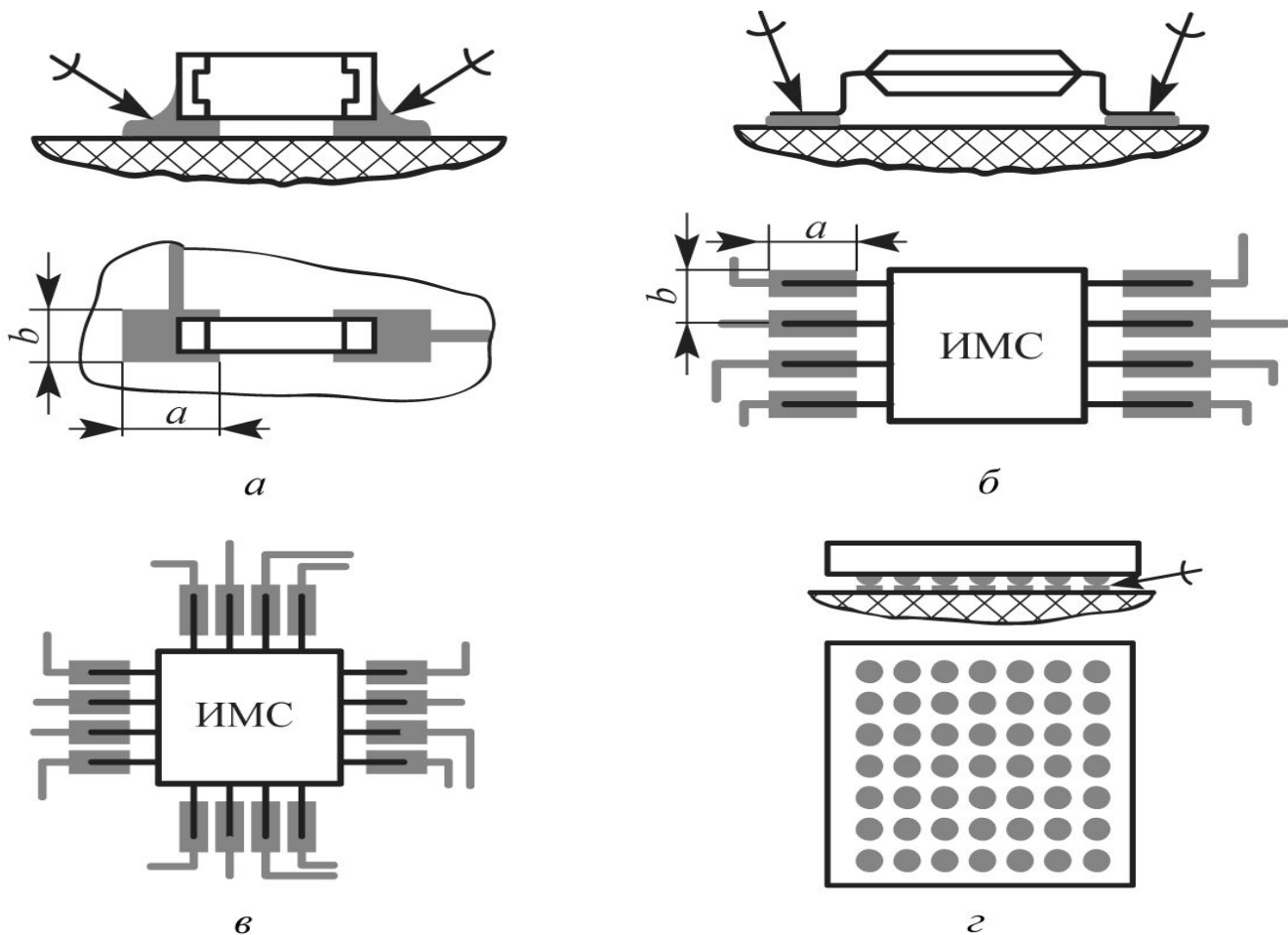
в

Типы контактных площадок (КП) в проводящем рисунке ПП:

а – в зоне монтажных или переходных отверстий;

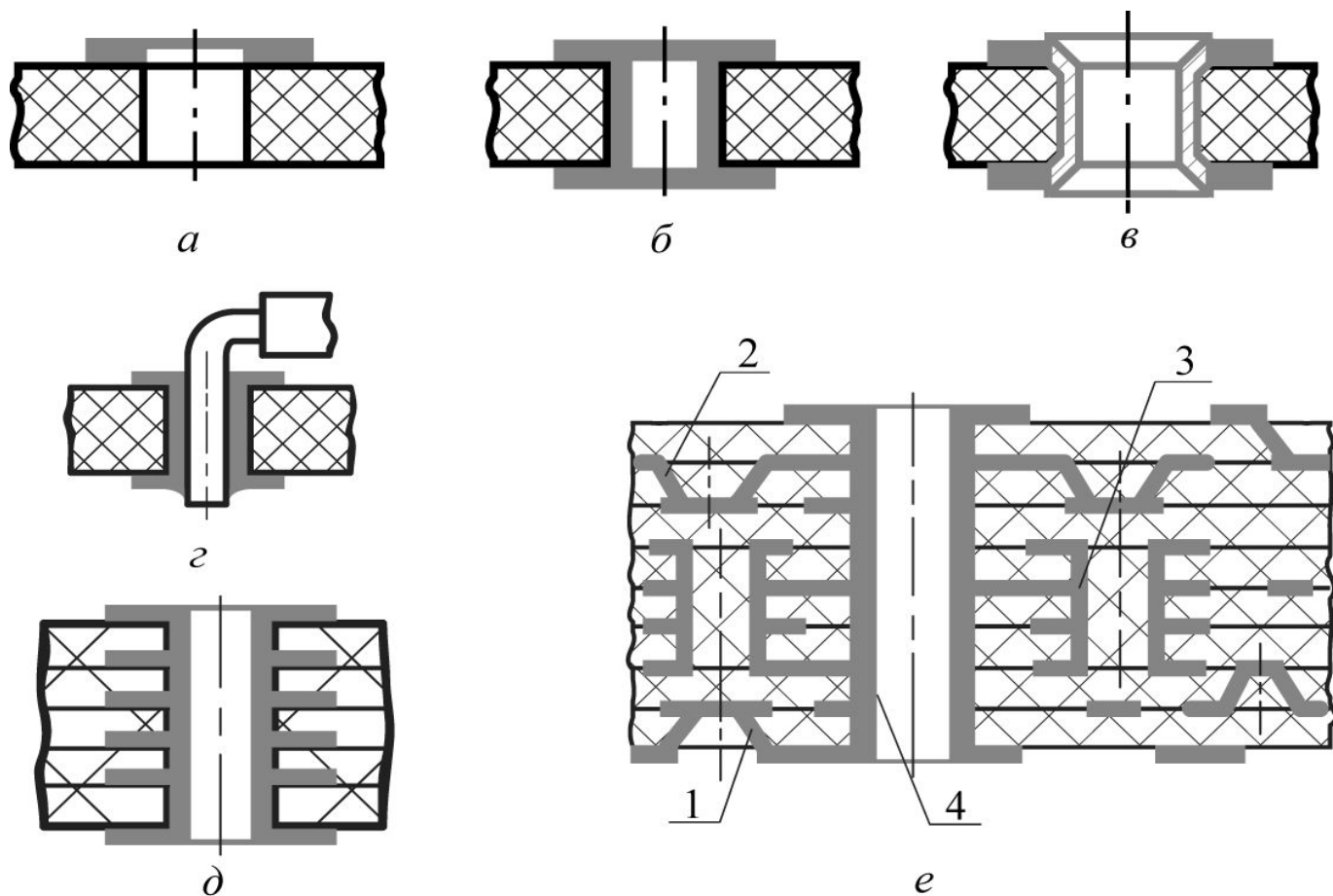
б – для соединения планарных выводов ИМС с печатным монтажом;

в – для соединения компонентов, монтируемых на поверхности основания ПП (КМП) с печатным монтажом



Характер расположения КП проводящего рисунка:

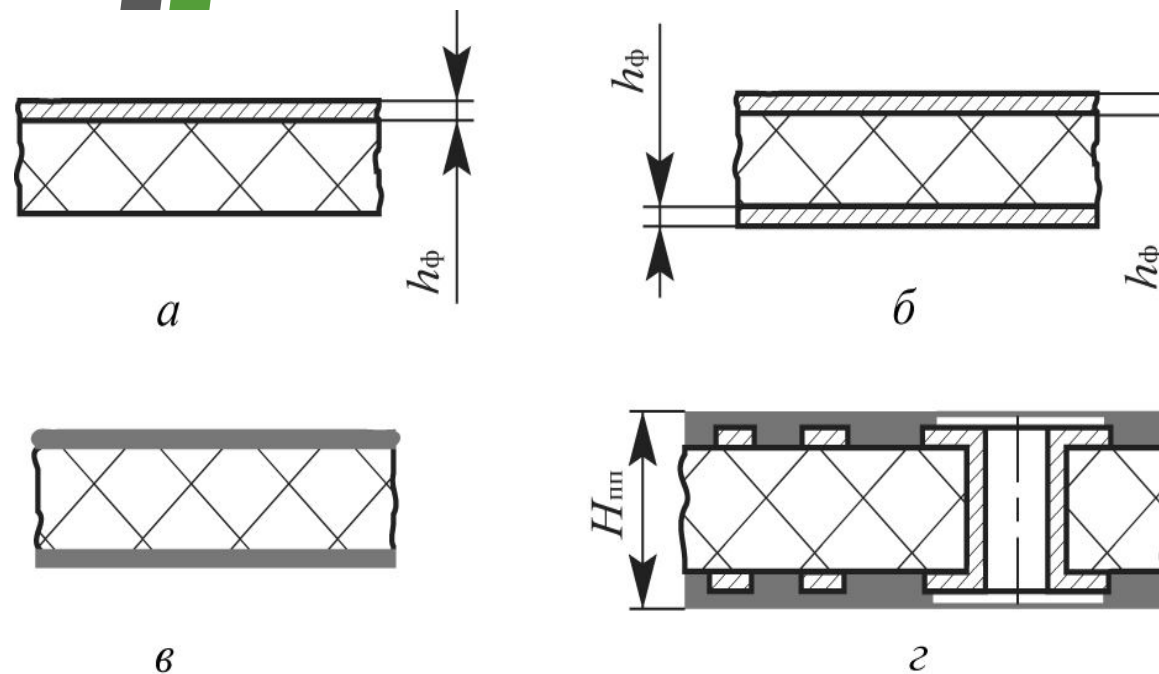
а – для монтажа чип-компонентов; б – для монтажа ИМС с двухсторонним расположением планарных выводов; в – для монтажа ИМС с четырехсторонним расположением планарных выводов; г – для монтажа ИМС с матричным расположением шариковых выводов



Виды основных отверстий ПП:

а – 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)

Исходными материалами для изготовления ПП служат **фольгированные диэлектрики** (рис. 9, а, б) и **нефольгированные диэлектрики** (рис. 9, в).



Фольга толщиной 5; 18; 20; 35; 50; 70 мкм приклеивается к диэлектрику заводом-изготовителем, что гарантирует прочность сцепления проводящего рисунка с основанием ПП при ее изготовлении и эксплуатации в составе электронного модуля.

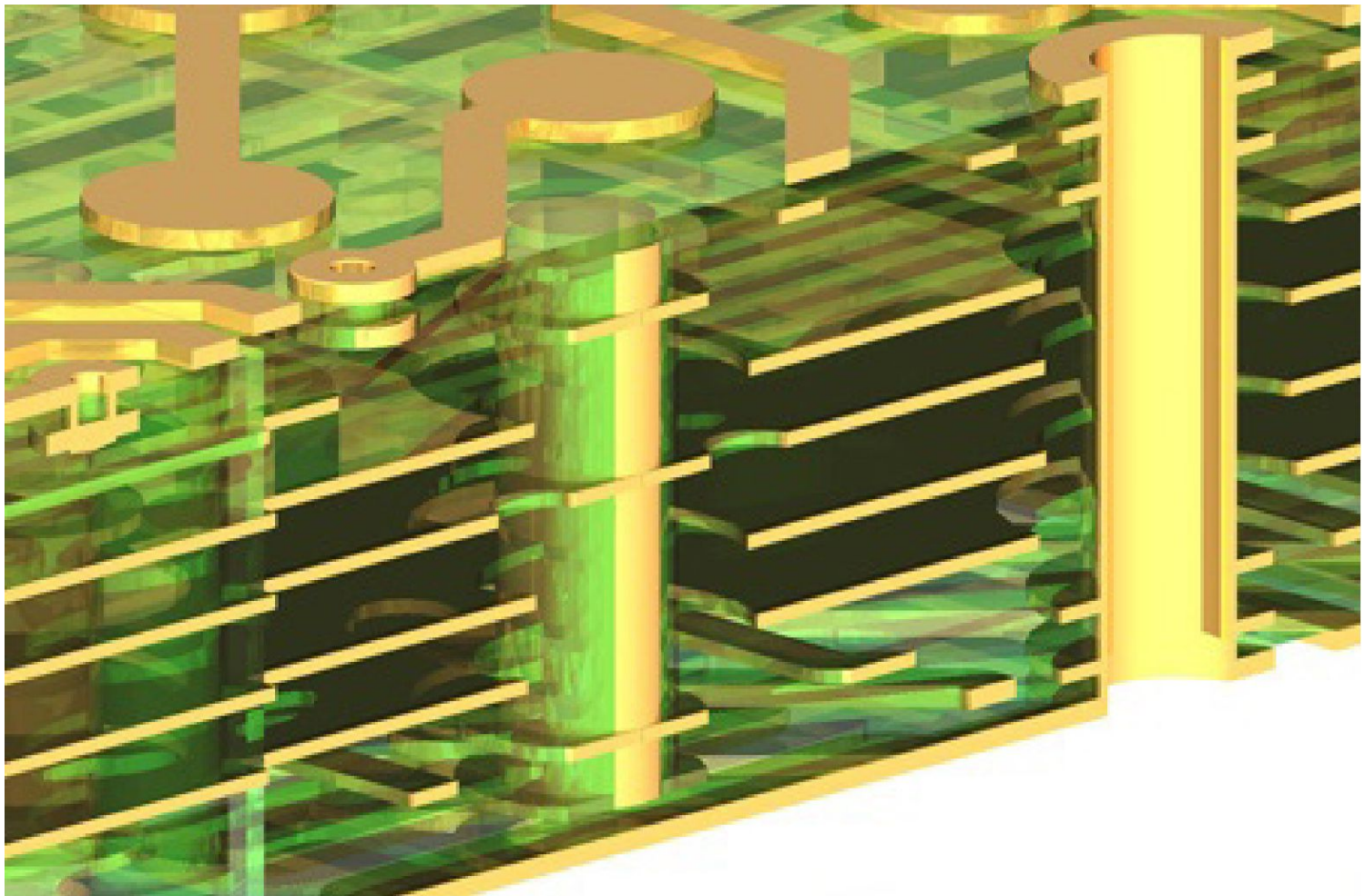
Толщина материала заготовки ***H_м*** учитывает толщину диэлектрика и фольги.

Если заготовка – нефольгированный диэлектрик, то проводящий рисунок удерживает адгезионный слой и соответствующая химическая подготовка поверхности.

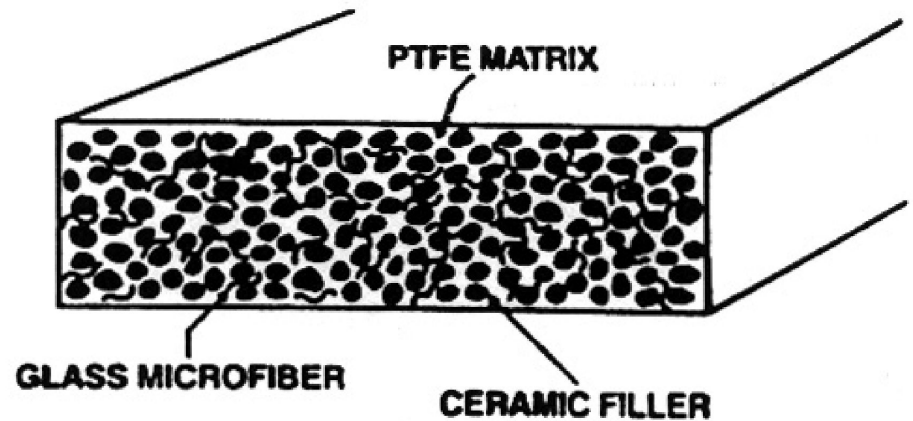
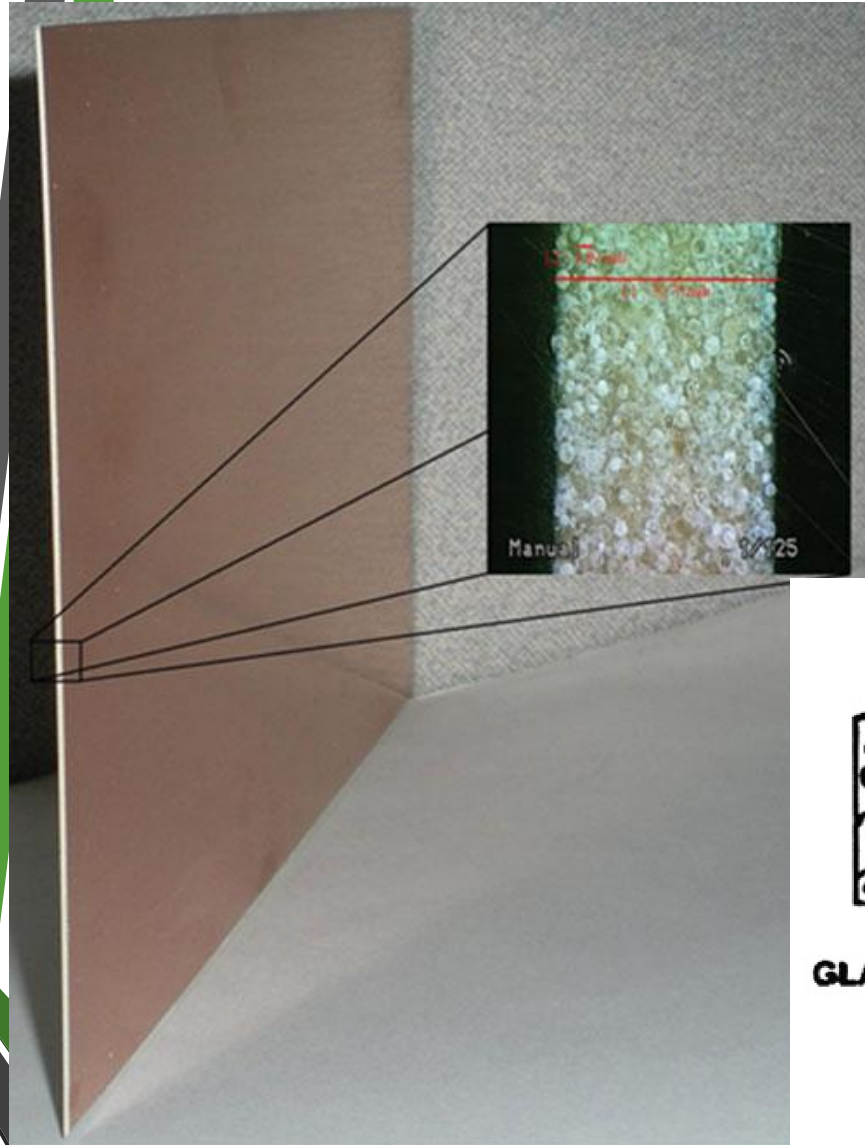
Изготовленную ПП покрывают паяльной маской, которая и определяет конечную толщину платы (***H_{пп}***).

Схемы состояния материалов ПП:

- а* – односторонне фольгированный диэлектрик;
- б* – двусторонне фольгированный диэлектрик,
- в* – нефольгированный диэлектрик с адгезионным слоем;
- г* – двусторонняя ПП с паяльной маской

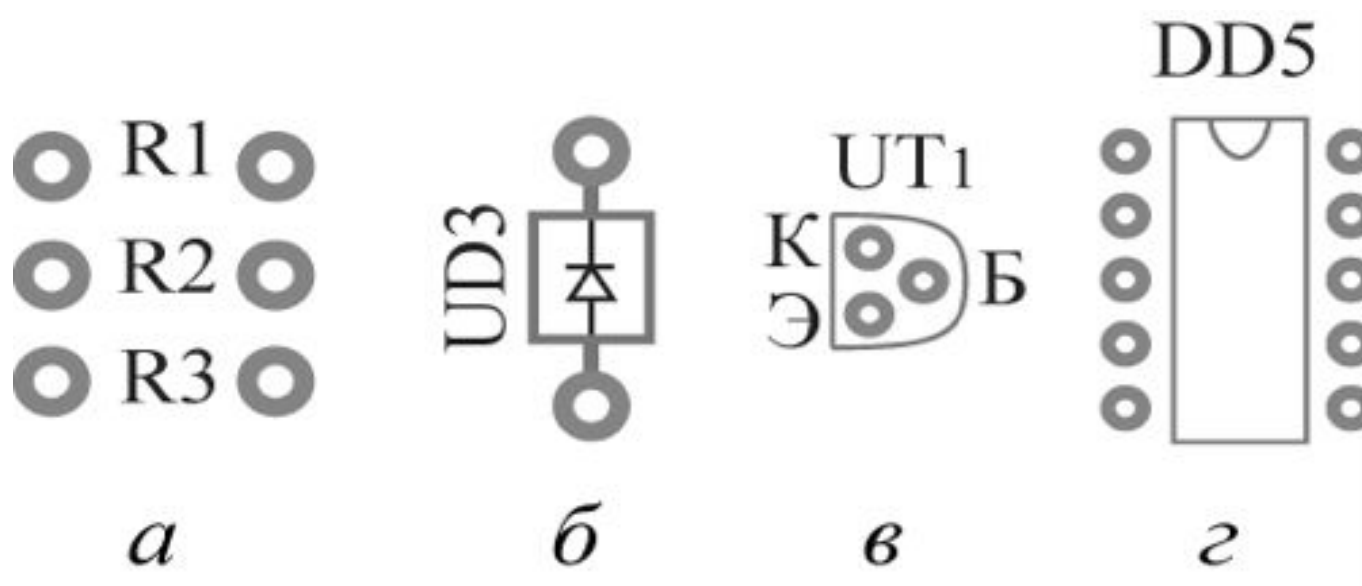


Structure of Rogers material RO2800



- **Highly Filled**
- **Reinforced with Randomly Oriented Microfibers**

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



Маркировка мест установки навесных компонентов на монтажной стороне ПП:

а – резисторы; б – диоды; в – транзисторы; г – ИМС

Технологическая подготовка производства

Технологический процесс (ТП) определяет последовательность выполняемых действий при обработке или сборке, вид выбранной заготовки или материала, используемое оборудование и инструмент, технологические режимы. ТП сборки описывают последовательность действий при сборке как механических, так и электронных узлов изделия.

Технологический переход - законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством режимов применяемых инструментов и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

Приём - это законченная совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части и объединённых одним целевым назначением.

Групповой ТП — это ТП изготовления группы изделий с общими технологическими признаками. Групповой ТП характеризуется общим используемым оборудованием, средствами технологического оснащения и наладки. Таким образом, применение групповых ТП способствует унификации процессов подготовки производства и самого производства.

Последовательность этапов разработки ЭА и стадий выпуска конструкторской документации определяется государственными стандартами, устанавливающими несколько этапов разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности:

- **Техническое задание**

техническое задание (ТЗ) устанавливает основное назначение, технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разрабатываемому изделию;

- **Техническое предложение**

техническое предложение — совокупность конструкторских документов, содержащих техническое и технико-экономическое обоснование целесообразности разработки изделия (на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможной реализации изделия, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов);

- **Эскизный проект**

эскизный проект — совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе действия изделия, а также данные, определяющие назначение и основные параметры разрабатываемого изделия;

- **Технический проект**

технический проект — совокупность конструкторских документов, содержащих окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации;

- **Разработка рабочей документации** — совокупность конструкторских документов, предназначенных для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии) изделия.

Качественная оценка технологичности

1. Оценка по конструктивным особенностям ячейки таким как тип монтажа (односторонний, двухсторонний). Позволяет оценить эффективность использования места на печатной плате, количество операций при монтаже элементов и т.д.
2. Оценка вида монтажа. Позволяет оценить необходимость использования того или иного вида пайки (волной, оплавлением, селективной, ручной).
3. Оценка возможности фиксации элементов на плате. Позволяет оценить необходимость использования дополнительных операций (приклеивания, формовка выводов), материалов (клеи и др.) и оборудования (установка для подгибки выводов, формирования зиг-замка и др.).
4. Возможность применения групповых методов пайки: волной, оплавлением (паяльная паста), погружением, в паровой фазе, селективная, ручная. Позволяет оценить время, необходимое для пайки элементов на печатную плату и необходимость того или иного оборудования.
5. Автоматизация установки элементов и контроля правильности установки и качества пайки. Позволяет оценить время установки элементов а также трудоемкость выходного контроля ячеек.

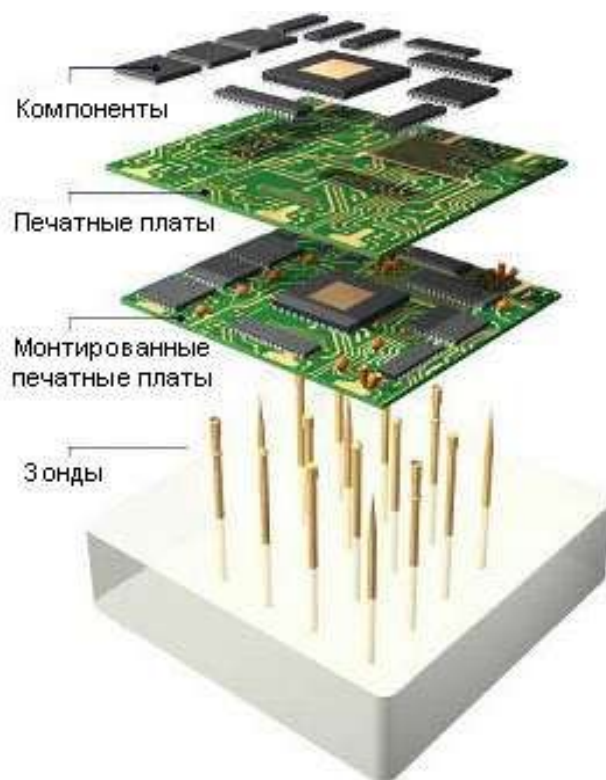
Контроль и диагностика микросборок (МКС)

Одним из важнейших этапов производства МКС является контроль и диагностика. Применяются следующие основные методы:

- **электрический**. МКС проверяется на целостность проводников, наличие короткого замыкания между проводниками, качество изоляции.
- **оптический**. Позволяет обнаружить такие дефекты как: проколы, царапины, выступы на проводниках; неточности в размещении контактных площадок и проводников; неточность размеров контактных площадок и проводников; подтравливание, дефекты металлизации и др.
- **рентгеновский**. Применяется для: поиска свищей слоев; при базировании слоев МКС для определения места сверления базового отверстия нижнего слоя; для контроля качества просверленных отверстий и металлизации;

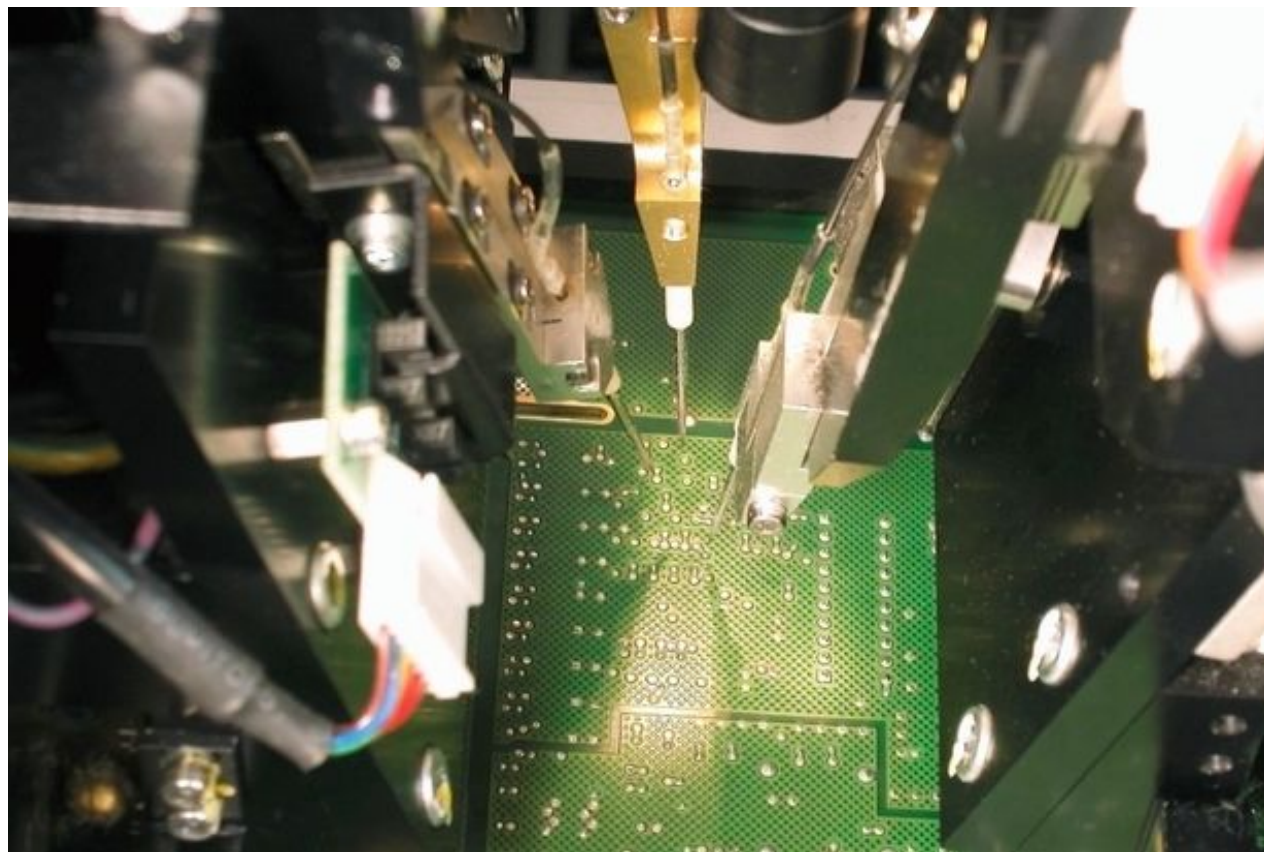
Для электрического тестирования применяют различные анализаторы производственных дефектов, в которых контактирование осуществляется следующими способами:

- через односторонний или двухсторонний тестовый адаптер (поле подпружиненных контактов);
- при помощи пробниковой системы с подвижными пробниками (летучий пробник);
- с использованием вакуумных, кассетных и пневматических адаптеров;
- большим количеством разъемов.



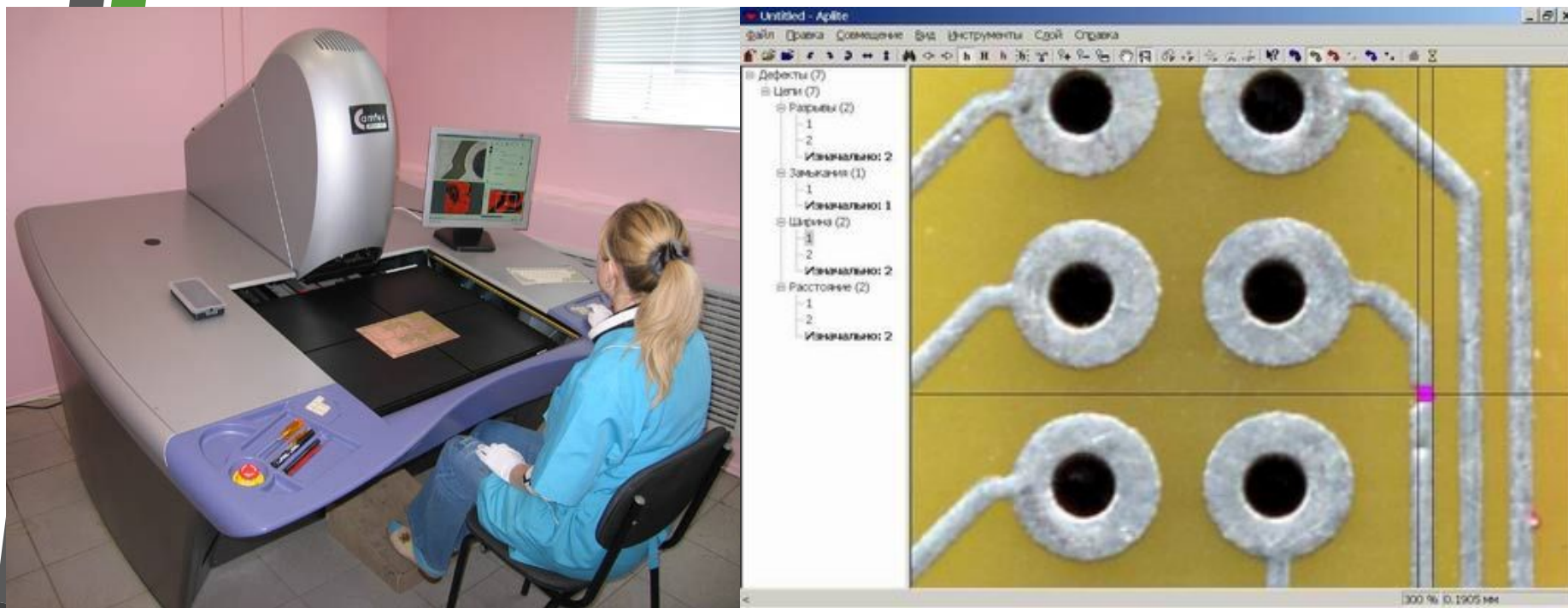
Электрический контроль МКС при помощи поля подпружиненных контактов

Использование технологии летучего пробника оправдано для мелкосерийного производства. Данный вид контроля универсален и может быть применен практически к любой МКС. Однако этот метод имеет значительно более низкую производительность по сравнению с методом контроля при помощи поля подпружиненных контактов.



Электрический контроль МКС при помощи летучего пробника

Оптический контроль позволяет не только определить наличие таких дефектов как разрыв, короткое замыкание но и дефектов которые не приводят непосредственно к потере электрического контакта (смещение контактных площадок, утончение или утолщение проводников и др). Скорость контроля автоматических оптических систем сравнима с контролем летучим пробником.

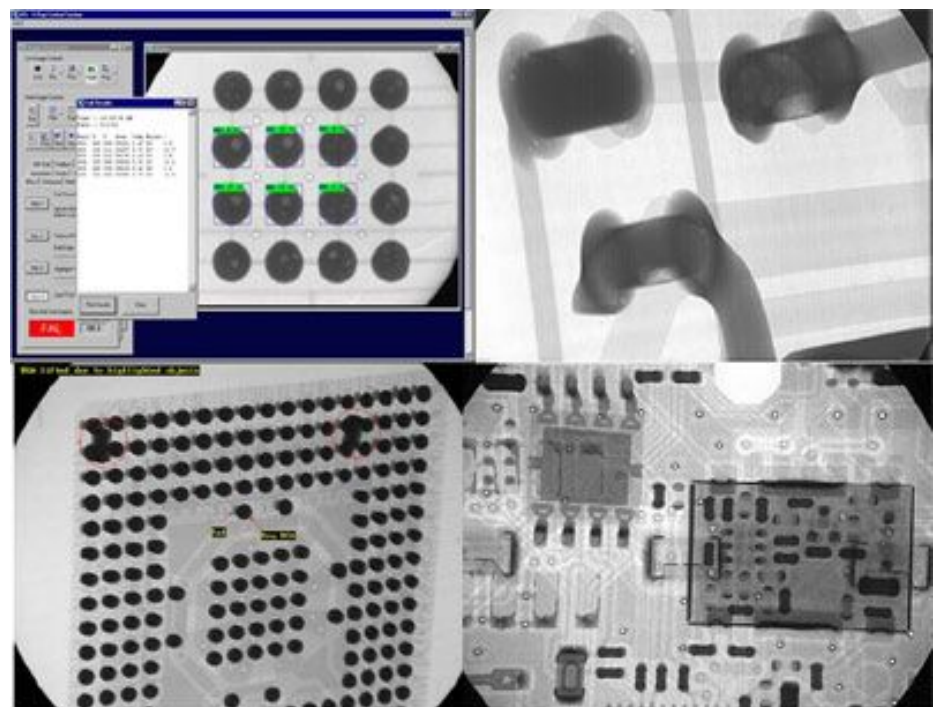
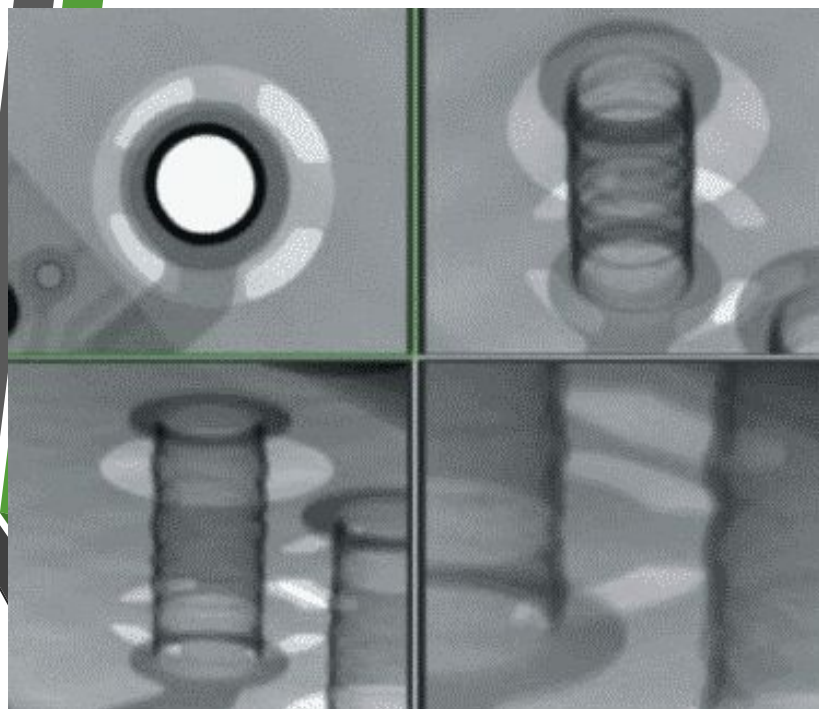


Оптический контроль МКС Установка контроля (слева)
и система технического зрения (справа)

Рентгеновский контроль МКС применяется в случае использования дорогостоящих компонентов имеющих мелкий шаг выводов. К таким компонентам можно отнести микросхемы в BGA и μ BGA корпусах.

Также рентгеновский контроль позволяет «увидеть» переходные отверстия и внутренние слои МКС. Универсальное оборудование рентгеновского контроля позволяет без изготовления специальной оснастки провести диагностику и локализацию наиболее часто встречающихся дефектов:

- отклонение диаметров переходных отверстий и смещение слоев;
- качество металлизации переходных отверстий.



Рентгеновский контроль МКС