

# **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ**

Вспомогательный лекционный  
материал

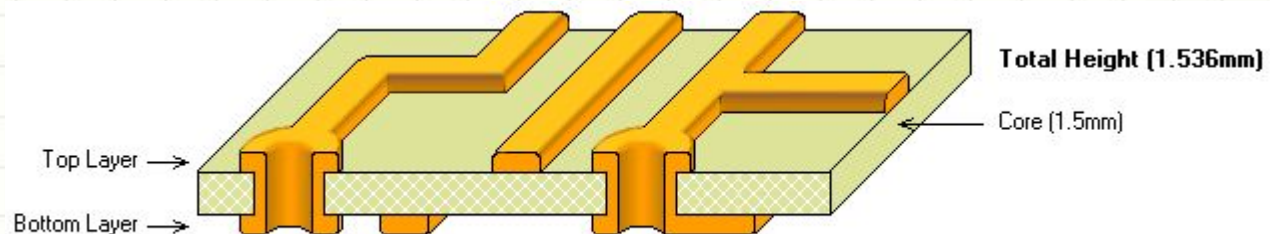
# РАЗДЕЛ 1.

## ВВЕДЕНИЕ

- Что такое печатная плата?
- Какие виды печатных платы существуют?
- Из каких основных элементов состоит печатная плата?
- Какие материалы используются при производстве печатных плат?
- Какова последовательность технологических операций при производстве печатных плат?
- В каких единицах измеряются параметры печатных плат?

# Что такое печатная плата?

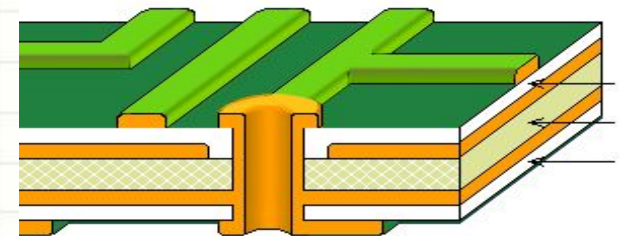
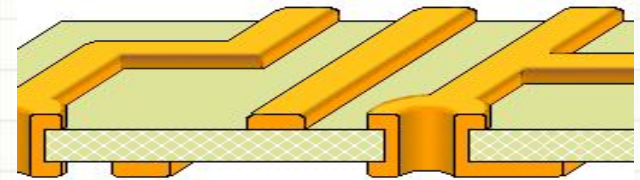
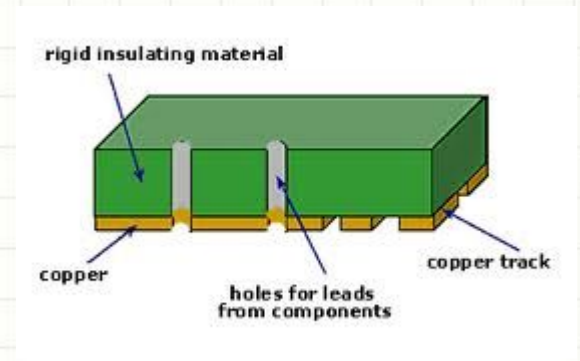
- Печатная плата представляет собой чередующиеся **слои** диэлектрика и проводящего материала. «Бутерброд» из слоев, выполненных из различных материалов
- В объеме печатной платы сформированы электрические цепи (проводники, соединяющие выводы электронных компонентов)
- На поверхности печатной платы могут наноситься надписи и обозначения, облегчающие сборку и ремонт электронного устройства
- В англоязычной литературе и ПО печатные платы называются **PCB – printed circuit board**, слэнговое название – «**борда**» 😊



# Какие виды печатных плат существуют?

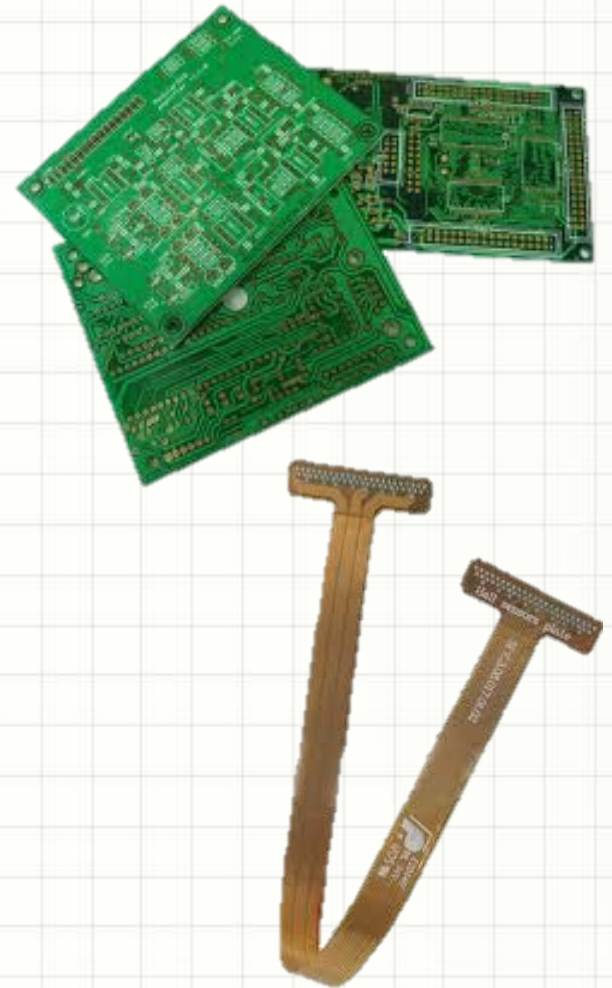
- По количеству слоев проводящего материала платы классифицируются на:

- Однослойные печатные платы, **ОПП**. Практически не применяются, так как не позволяют реализовать геометрическое пересечение цепей без электрического контакта
- Двухсторонние печатные платы, **ДПП**. Применяются очень широко для стандартной электроники невысокой плотности монтажа
- Многослойные печатные платы, **МПП**. Применяются для достижения высокой плотности монтажа, разводки скоростных цепей и высокоплотных компонентов

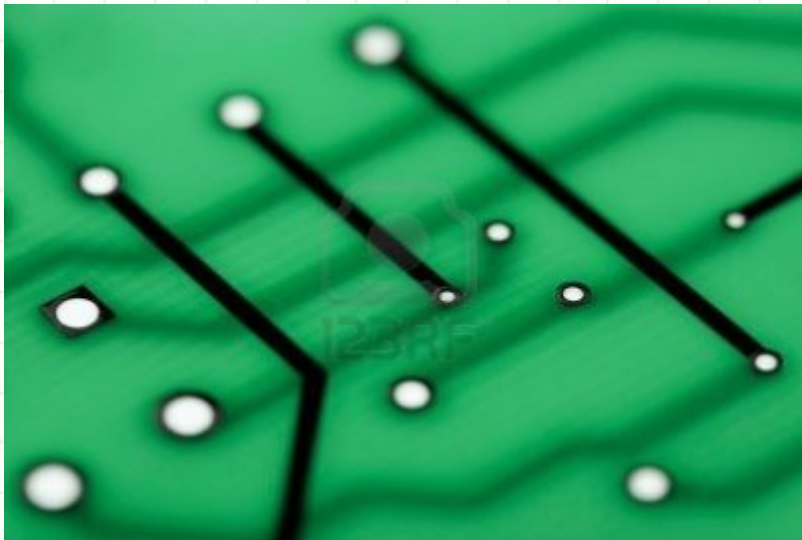
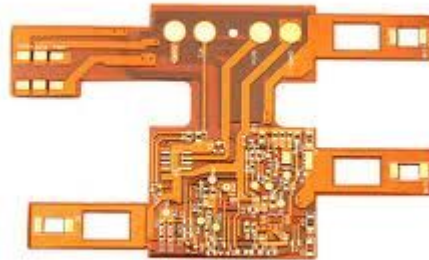
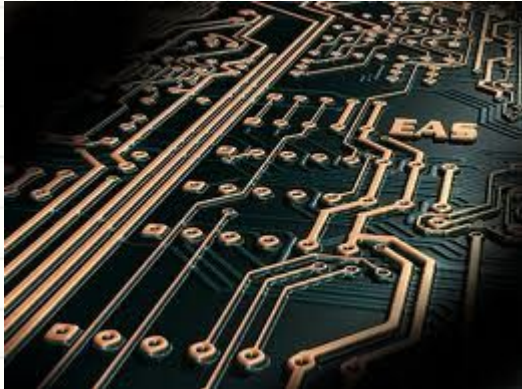


# Какие виды печатных плат существуют?

- По свойствам материала, главным образом, диэлектрика:
  - Жесткие печатные платы, или обычные РСВ
  - Гибкие печатные платы, или **FPC, Flexible PCB**
  - Специальные платы (высокотемпературные, со сверхнизкими токами утечки и т.п.) - экзотика



# Какие виды печатных плат существуют?



- Макетная печатная плата, сленговое название - **«СЛЕПЫШ»:**



# Из каких основных элементов состоит печатная плата?

- «Слой», англ. *Layer* – элемент печатной платы, изготавливаемый из одного материала: диэлектрика или проводника.
- Существуют сигнальные слои (верхний, англ. *top*, нижний, англ. *bottom*, внутренний, англ. сокр. *mid*)
- Сигнальные слои изготавливаются из проводящего материала, обычно – меди
- Удобно выделять **обычные слои** и *plane layers*.
  - Под «плейном» обычно понимают слой, подключенный к одной-единственной цепи, например, к общей для всей схемы «земле»
  - На обычных слоях существуют проводники, соответствующие разным цепям, в том числе и тем, что есть на «плейнах»

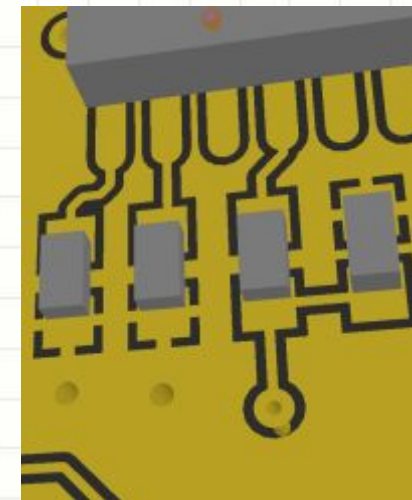
# Из каких основных элементов состоит печатная плата?

- Существуют несигнальные слои:
  - Слои диэлектрика, являющегося основой печатной платы, не содержат в себе никаких конструктивных элементов, кроме отверстий, и их разработкой инженеры не занимаются, а лишь указывают их толщину
  - Слои паяльной маски, англ. *mask layers*, один или два, верхний и нижний. Используются для защиты элементов ПП от коррозии и дефектов монтажа
  - Слои «шелкографии», англ. *silk* или *overlay*, один или два, содержащие надписи



# Из каких основных элементов состоит печатная плата?

- Дорожка, англ. *track*, узкий проводящий элемент, соединяющий выводы электронных компонентов
- Полигон, англ. *poly* или *copper pour*, многоугольник произвольной формы, «обтекающий» прочие элементы ПП и принадлежащий к какой-то цепи. Полигоны бывают сплошные (*solid*) и штрихованные

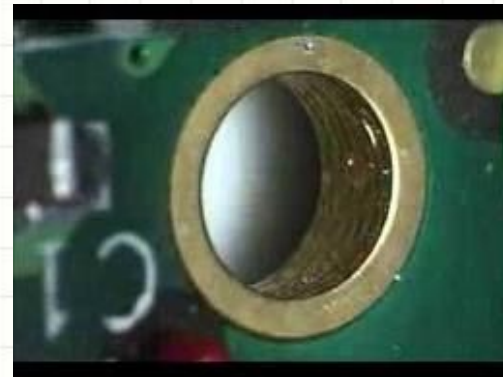


# Из каких основных элементов состоит печатная плата?

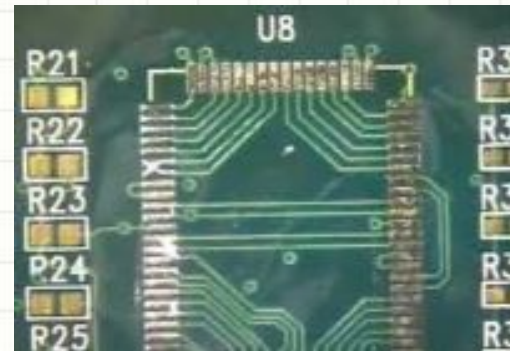
- Контактная площадка, англ. *pad*, элемент, к которому припаивается вывод электронного компонента. Дорожки соединяют контактные площадки.
- По способу монтажа контактные площадки делятся на:
  - Проходные
  - Планарные

# Из каких основных элементов состоит печатная плата?

- **Проходные (сквозные) контактные площадки:**

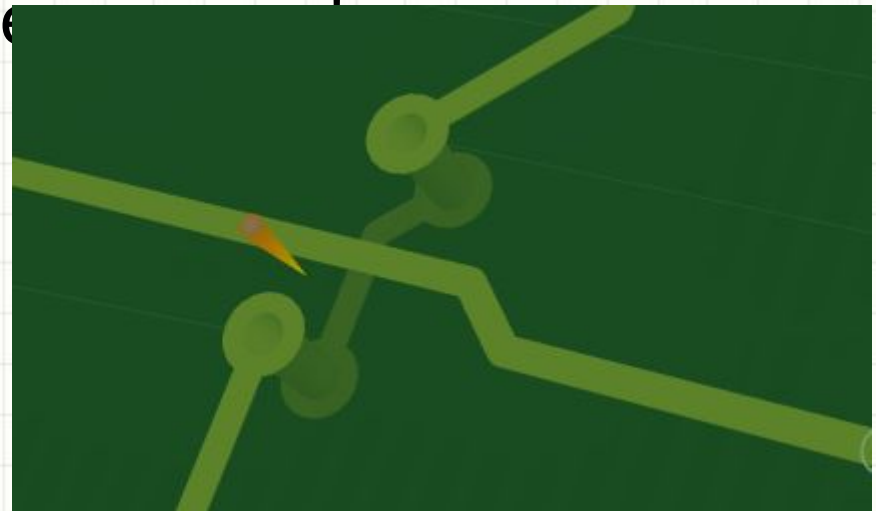
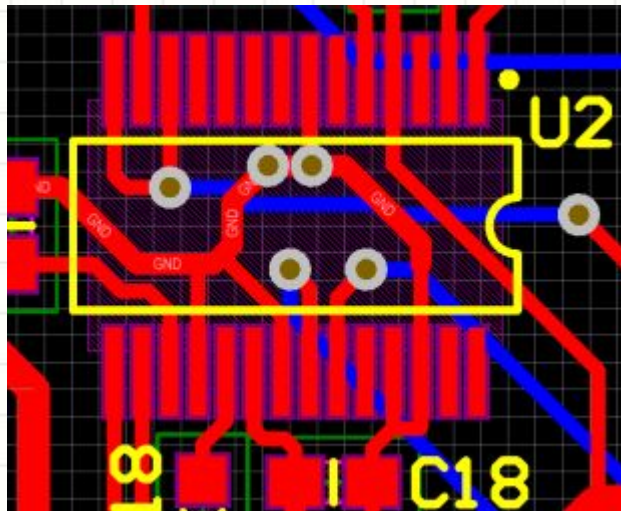


- **Планарные контактные площадки:**



# Из каких основных элементов состоит печатная плата?

- Переходное отверстие, англ. *via* («через») – элемент, соединяющий дорожки и/или полигоны, находящиеся в разных сигнальных слоях.
- Переходные отверстия позволяют одной цепи



# Из каких основных элементов состоит печатная плата?

- Стандартные переходные отверстия представляют собой кольца, сформированные в сигнальных слоях, на которых есть дорожки, подключенные к via, и трубку, идущую сквозь всю плату
- Существуют редко применяемые на практике «слепые» и «скрытые» переходные отверстия, присутствующие только в части слоев:
  - между внешним и одним из внутренних («слепое»)
  - между внутренними («скрытое»)

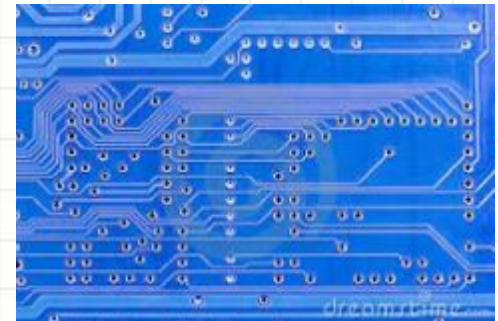
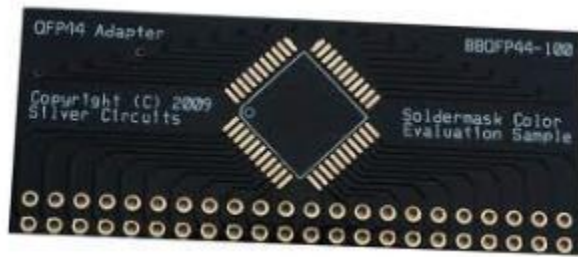


# Какие материалы используются при производстве печатных плат?

- Основа печатной платы (базовые материалы):
- Фольгированный гетинакс, бумажная основа, пропитанная фенольной или эпоксидной смолой. Дешевая технология, но невысокой точности
- Фольгированный стеклотекстолит, слоистый пластик на основе ткани из волокон и полимерного связующего вещества. Большинство современных плат – текстолитовые
- Экзотические материалы, например, оксидированный алюминий
- Важнейшие параметры базовых материалов:
  - Толщина слоя диэлектрика (0,1...3 мм, стандарт – 1,5 мм)
  - Толщина слоя фольгирования (18 мкм или 0.5 Oz, 36 мкм или 1 Oz). **1 Oz – одна унция на квадратный фут материала**
  - Диэлектрическая проницаемость (обычно примерно 5)
  - Поверхностное сопротивление (гОмы на мм!)
  - Тангенс угла диэлектрических потерь, температурный диапазон и т.д.

# Какие материалы используются при производстве печатных плат?

- Паяльные маски. Основные характеристики материалов маски:
  - Твердость покрытия
  - Вязкость при нормальной температуре
  - Сопротивление изоляции
  - Цвет и прозрачность готового покрытия
  - Устойчивость покрытия к воздействию расплавленного припоя, что немаловажно для технологии монтажа компонентов, и т.д.
- Маркировочная краска, имеет сходные параметры, что у материала маски, в т.ч., электрофизические



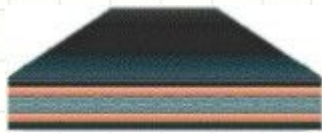
# Вспомогательные материалы

- УФ-чувствительный фоторезист, разрушающийся под действием излучения
- Щелочные материалы для удаления лишнего фоторезиста (едкий натр и т.п.)
- При кустарном производстве два предыдущих материала заменяются на лак, наносимый вручную, в конце 90х годов – на лазерный принтер и бытовой утюг!
- Хлорид железа 3 и иные слабые окислители
- Химические реактивы для осуществления химической металлизации отверстий (проходных контактных площадок и переходных отверстий)
- Материал для окончательной обработки (лужения) контактных площадок под пайку: оловянно-свинцовый припой (например, ПОС-60 Sn60/Pb40), бессвинцовые составы, состоящие, например, из олова, серебра и меди (Sn-Ag-Cu), используемые в бессвинцовых технологиях согласно директиве Евросоюза RoHS (Restriction of Hazardous Substances Directive), иммерсионное олово, серебро или золото, никелирование и т.п.



# Последовательность операций при производстве печатных плат (4-МПП)

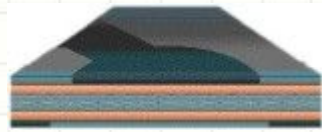
- Раздел подготовлен по материалам статьи компании ВЗРТ-Арсенал, <http://www.vzrt.ru/>
- Описан процесс **Solder Mask Over Bare Copper**



1. Ламинирование очищенного базового материала фоторезистом (два слоя, сверху и снизу)



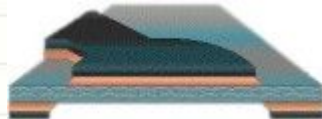
2. Размещение на заготовке, покрытой фоторезистом, фотошаблона, содержащего негативное изображение слоя



3. Экспонирование фоторезиста, в результате которого засвеченные участки теряют химическую прочность



4. Удаление засвеченных участков фоторезиста. Оставшийся фоторезист защищает медь от травления

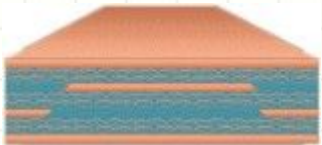


5. Удаление незащищенной меди методом травления

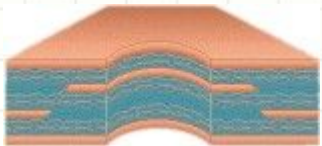
# Последовательность операций при производстве печатных плат (МПП)



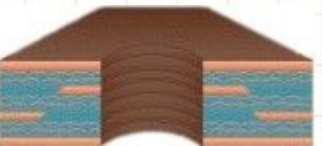
6. Химическое удаление незасвеченного фоторезиста. Два внутренних слоя сформированы



7. Ламинирование печатной платы. Слои односторонне фольгированного текстолита добавляются сверху и снизу внутреннего слоя. Затем соединенные слои ламинируются под прессом при высокой температуре и давлении



8. Сверловка отверстий под проходные контактные площадки и переходные отверстия. На рисунке контакт отверстия есть со всеми слоями, кроме слоя №3 (нижнего внутреннего)

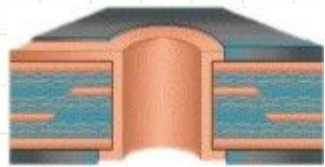


9. Осаждение меди. Все поверхности покрываются тонким слоем меди из жидкой фазы реагента. Проводя ток, этот слой позволяет идти процессу электролитического осаждения толстого слоя меди (ниже)

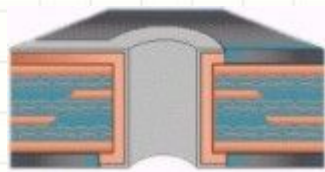
# Последовательность операций при производстве печатных плат (МПП)



10. Нанесение фоторезиста и экспонирование аналогично пп. 1-4, однако фотошаблон позитивный, т.к. резист удаляется с участков, где будет наноситься медь



11. Электролитическое нанесение меди до толщины порядка 0,25 мм. Нанесенная медь соединяет элементы различных слоев



12. Нанесение оловянно-свинцового электролитического покрытия, во-первых, выступающего резистом для последующего травления, а во-вторых, защищающего медь от окисления

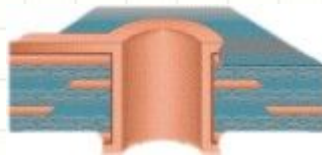


13. Удаление резиста. На плате остается оловянно-свинцовая медь и припой

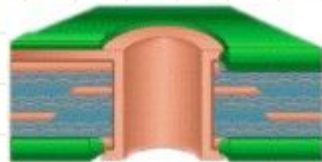
# Последовательность операций при производстве печатных плат (МПП)



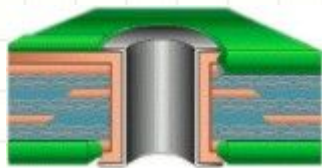
14. Травление меди. Медь, защищенная припоем, остается нетронутой, оставляя на плате рисунок будущей схемы



15. Удаление припоя. Припой удаляется с поверхности меди и плата очищается, в других версиях процесса припой расплавляется для дальнейшего лужения

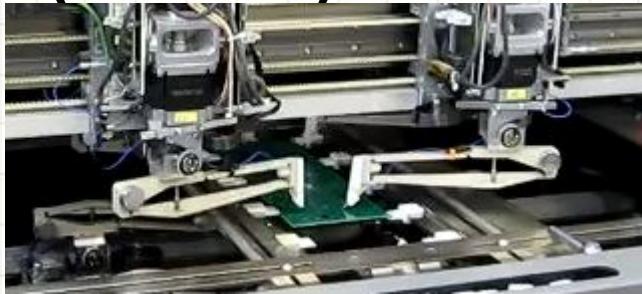


16. Нанесение маски. Паяльная маска обладает свойствами фоторезиста и процесс ее обработки аналогичен описанному выше. Контактные площадки оказываются открытыми, переходные отверстия – по выбору разработчика платы

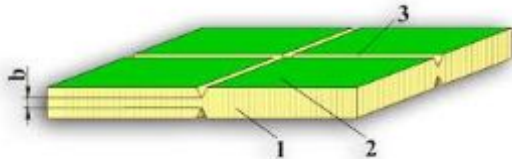


17. HAL (**Hot Air Leveling** - выравнивание горячим воздухом). Припой наплавляется на незащищенную маской медь, сохраняя ее от окисления. Под маской припоя не остается. Плата готова для нанесения надписей, тестирования и сборки электронного

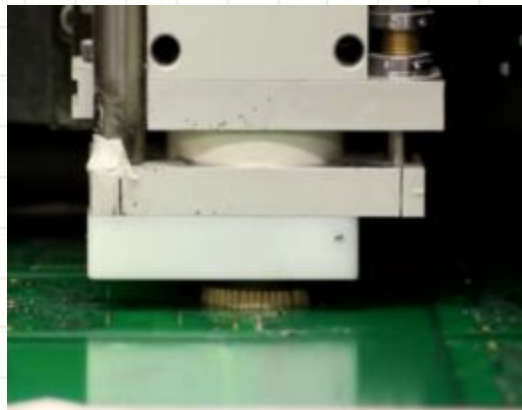
# Последовательность операций при производстве печатных плат (МПП)



18. Электротестирование, например, методом flying probe. Тест выявляет наличие связей всех контактных площадок цепи и отсутствие замыканий на другие цепи



19. Механическое скрайбирование заготовки на отдельные платы, если они изготавливались группой «платы были «панелизованы»). В случае, если плата имеет сложную форму, внутренние вырезы или плавные закругления, вместо скрайбирования применяется резка методом фрезеровки (фото с сайтов <http://www.belplata.by>, <http://www.eurocircuits.com>)



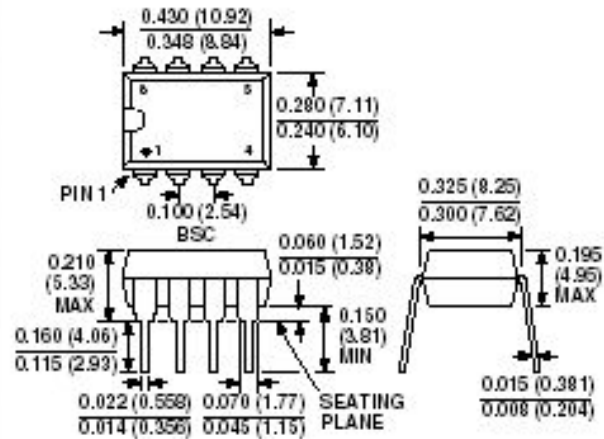
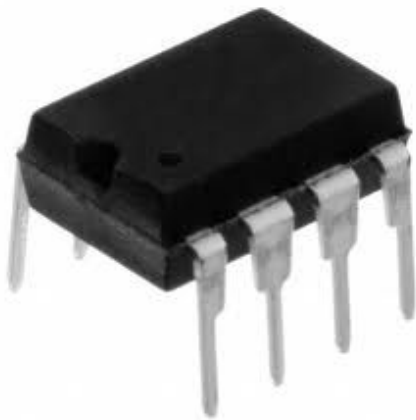
# В каких единицах измеряются параметры печатных плат?

- Существует две системы единиц измерения размеров – метрическая (*metric*) и дюймовая (*imperial*)
- Не смотря на широкое распространение системы Си, в средах разработки ПП до сих пор обычно удобнее пользоваться дюймовой системой
- Самая популярная единица измерения длины – *mil*, одна тысячная дюйма

Длина в mil	Длина в mm
10	0,254
100	2,54
200	5,08
5,9	0,15
39,37	1
196,85	5

# В каких единицах измеряются параметры печатных плат?

- 99% микросхем, резисторов и т.п. имеют выводы, расположенные по дюймовой



- Шаг корпуса DIP – 100 mil или 2,54 мм

- Другая популярная единица измерения – Oz, применяется для измерения толщины фольги на текстолите ПП. **1 Oz = одна унция на квадратный фут**, 0.5 Oz = 18 мкм, 1 Oz = 36 мкм

## РАЗДЕЛ 2. КОМПОНЕНТЫ

- Что электронный компонент?
- Какие виды компонентов существуют?
- Наиболее распространенные корпуса электронных компонентов
- Где найти и как читать документацию на электронные компоненты?

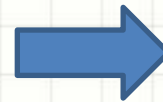
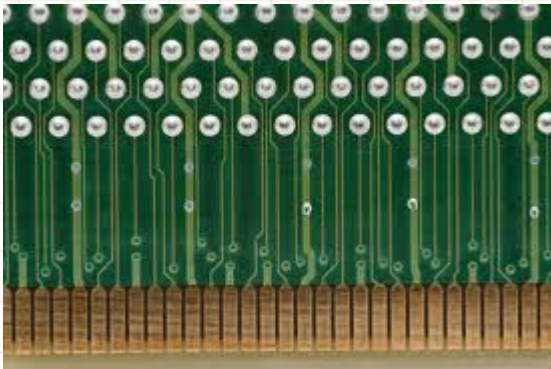
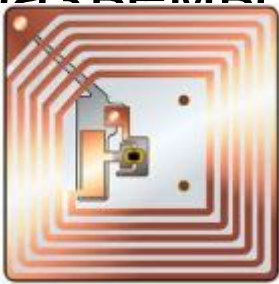


# Что электронный компонент?

- Электронный компонент – изделие электронной промышленности, готовое к установке в электронное устройство. Электронные компоненты монтируются на печатные платы
- Электронные компоненты – это резисторы, конденсаторы, микросхемы, разъемы, транзисторы, разъемы и т.п.
- С точки зрения инженера компонент – сочетание его **схематического обозначения** и **моделей** (корпуса, подели для симулирования и т.п.)
- Электронными компонентами не являются такие элементы ПП, как дорожки, переходные отверстия, контактные площадки и т.п.
- Однако, не все так просто....

# Что электронный компонент?

- Некоторые электронные компоненты могут быть выполнены как элемент ПП – токовые шунты низкого сопротивления, радиочастотные антенны, RFID антенны, разъемы и т.п.



# Активные и пассивные компоненты

- **Активные:** микросхемы, транзисторы, тиристоры



- **Пассивные:** резисторы, конденсаторы, дроссели, варисторы, трансформаторы



# Интегральные и дискретные активные компоненты

- Микросхемы являются ***интегральными*** компонентами: операционные усилители, логические ИС, микроконтроллеры, FPGA, микросхемы ОЗУ и ПЗУ, микросхемы со специфическими функциями (трансиверы, ЦАП-АЦП и т.д.)



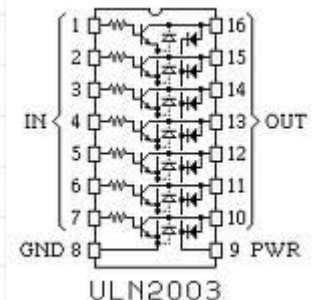
# Интегральные и дискретные активные компоненты

- Транзисторы, тиристоры, диоды и т.п. являются **дискретными**

компонентами

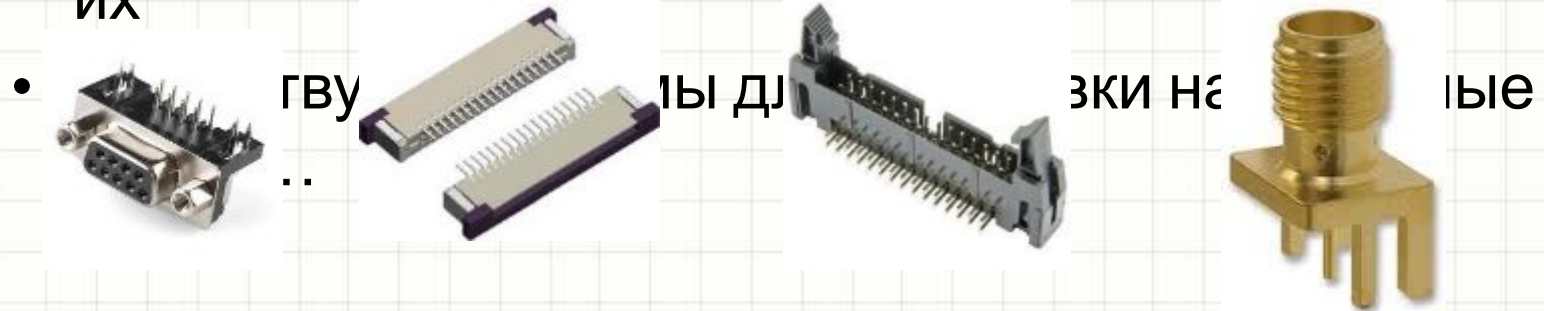


- Существуют **сборки** дискретных компонентов, например, 8 транзисторов в «микросхемном» корпусе. Например, ULN200x – несколько составных транзисторов Дарлингтона в общем корпусе



# Разъемы

- Разъемы выделяются в отдельный класс компонентов
- Разъемы не преобразуют сигналов, а лишь передают их



# Разъемы – «кроватьки»

- Существуют механические компоненты для установки микросхем на плату без использования пайки – «кроватьки», англ. *socket*.



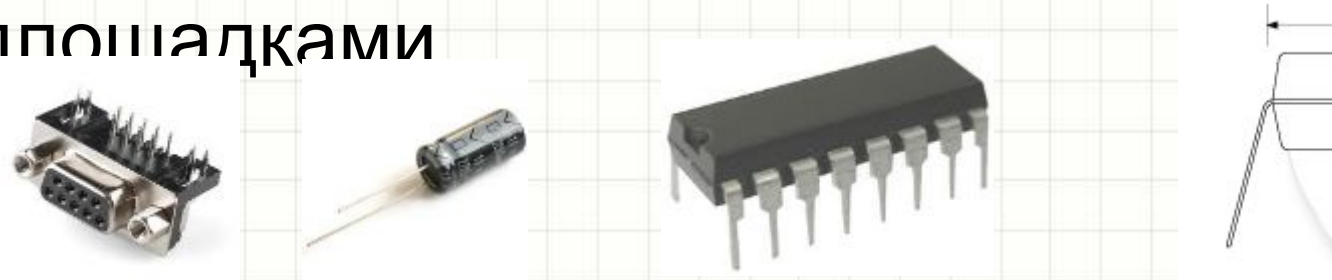
- Позволяют заменить микросхему без использования пайки, улучшая ремонтпригодность изделия. В настоящий момент используются все реже

# Планарные и выводные КОМПОНЕНТЫ

- **Планарными** (SMD, SMT) компонентами называют компоненты с планарными контактными площадками



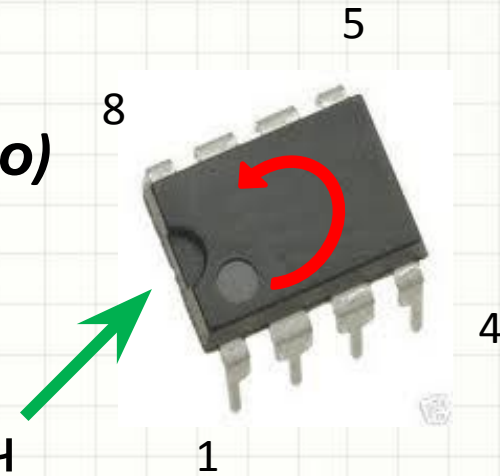
- **Выводными** компонентами – с проходными (сквозными) контактными площадками





# Корпуса компонентов

- Полезные термины
  - **Pitch** – шаг, с которым расположены выводы, например, 50 mil, 100 mil, 0.5 мм, 0.65 мм и т.п.
  - **Pin** – вывод корпуса, для планарных корпусов чаще pad, для BGA – **ball**
  - **Footprint** – посадочное место на ПП для монтажа корпуса компонента
  - **Key** – метка, обозначающая вывод №1. Обычно скос корпуса, фаска, круг
- **Нумерация выводов (если их много) идет от ключа против часовой стрелки!**
- Вывод №1 не всегда находится в углу корпуса, например, в PLCC он в середине ключ стороны



# Наиболее распространенные корпуса микросхем и сборки



- DIP – Double In-line Package, может устанавливаться в «кроватьку»



- SOIC - Small-outline integrated circuit (иногда просто SO)



- QFP – Quad Flat Package



- PLCC - Plastic leaded chip carrier. Может устанавливаться в «кроватьку»

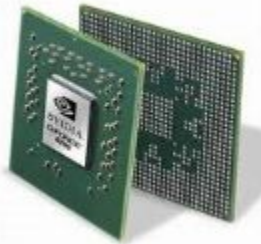
# Наиболее распространенные корпуса микросхем и сборок



- SOJ - Small-outline J-leaded package, похож на PLCC, может устанавливаться в «кроватьку»



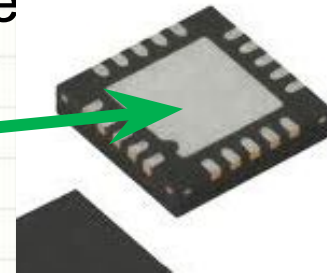
- QFN - Quad-flat no-leads package, трудоемкий в ручном монтаже, позволяет добиться очень высокой плотности компонентов на плате



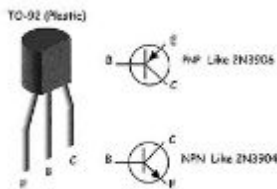
- BGA – Ball Grid Array, практически неприменим для ручного монтажа, высшая степень насыщенности ПП элементами

# Наиболее распространенные корпуса микросхем и сборок

- Названия корпусов могут иметь «модификаторы», например:
  - *P*QFP – Plastic QFP
  - *L*QFP - *low profile* QFP
  - DIP-8-**400** – DIP с 8 выводами и увеличенным до **400** mil расстоянием между рядами
  - $\mu$ QFN – *micro*-QFN, структура аналогична QFN, но компактнее
  - *LF*BGA - *Low Profile Fine Pitch* BGA
- Численный суффикс обычно обозначает **число выводов**, например, QFP-44 – корпус с 44-мя выводами
- Корпуса QFP, QFN и даже SO могут иметь специальную контактную площадку для охлаждения, ***thermal pad***. Ее припаивают к полигону большой площади на плате, для хорошего теплоотвода. Параметры полигона указываются в документации на компонент.



# Наиболее популярные корпуса транзисторов, тиристоров и некоторых микросхем с малым числом выводов



- TO-92



- TO-220, привинчивается к радиатору винтом M2.5-M3



- SOT-23



- SOT-223, широкий вывод используется для охлаждения (через полигон ПП)

# Наиболее популярные корпуса транзисторов, тиристоров и некоторых микросхем с малым числом выводов



- TO-3 (установка на радиатор)



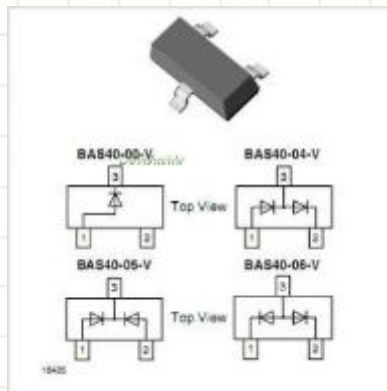
- DPAK, D2PAK (с охлаждением полигоном)



- SOT-32 (на радиатор)

- ... И Т.Д.

# Наиболее популярные корпуса ДИОДОВ



- SOD80 – Small outline Diode

- SOD-27, DO-35

- DO-41

- SMA, SMB

- ... А также диодные сборки в планарных транзисторных корпусах, мощные диоды в ТО-220, диодные мосты и т.д. и



# Наиболее популярные корпуса пассивных компонентов

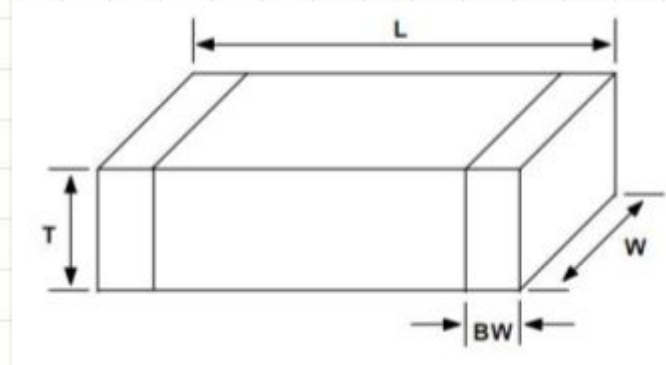
- Многообразии корпусов пассивных компонентов очень велико
- Более-менее стандартизированы корпуса компактных планарных **чип-резисторов, чип-конденсаторов и чип-индуктивностей**
- Корпуса мощных дросселей разрабатываются самими производителями вне общих стандартов
- Существуют **сборки резисторов, resistors array**





# 0402, 0603, 0805... ЧТО ЭТО?

- Четырьмя цифрами обозначаются типоразмеры планарных пассивных компонентов



Корпус	L, mm (~0,1")	W, mm (~0,1")
...		
0402	1,0 (0,4)	0,5 (0,2)
0603	1,6 (0,6)	0,8(0,3)
0805	2,0 (0,8)	1,2 (0,5)
1206	3,2 (1,2)	1,6 (0,6)
...		

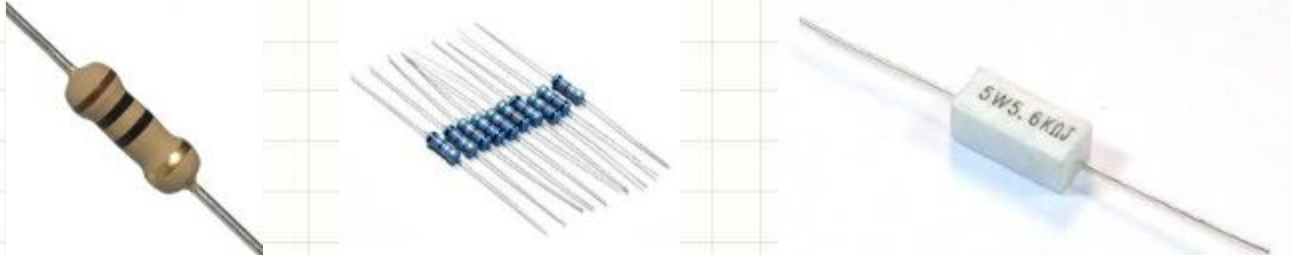
# 0402, 0603, 0805... ЧТО ЭТО?

- У резисторов корпусу обычно соответствует мощность. Например, 0603 – 0.0625 или 0.1 Вт, 0805 – 0.125 Вт, 1206 – 0,25 Вт и т.п.
- У конденсаторов корпусу обычно соответствует сочетание емкости и пробивного напряжения. Чем больше корпус, тем больше пробивное напряжение при данной емкости и наоборот
- У дросселей – сочетание индуктивности и рабочего тока
- Самый маленький корпус из стандартных который удобно монтировать вручную – 0603. 0402 уже очень мал для удобства ручной работы

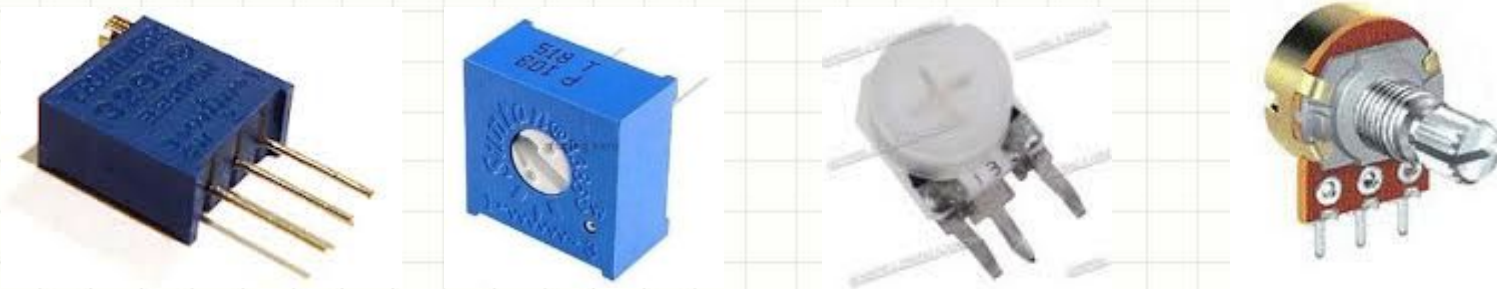


# Выводные резисторы

- Размер напрямую определяет мощность



- Иногда резисторы выпускаются в нетипичных для резисторов корпусах, например, существуют безиндуктивные резисторы в корпусе ТО-220 с 2 выводами
- Существует большое количество вариантов корпусов подстроечных и переменных резисторов (англ. *trims*)



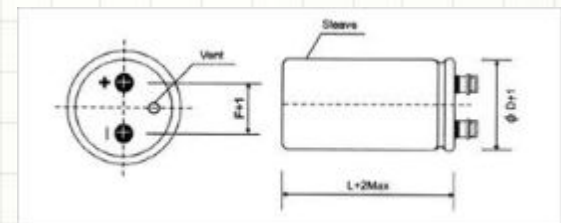
# Выводные неполярные конденсаторы и дроссели

- Аналогично резисторам, размер определяет совокупность «индуктивность-ток» или «емкость-рабочее напряжение», существует множество стандартных и нестандартизированных корпусов
- На фото ниже показаны керамические и пленочные конденсаторы (слева), различные выводные дроссели (справа)



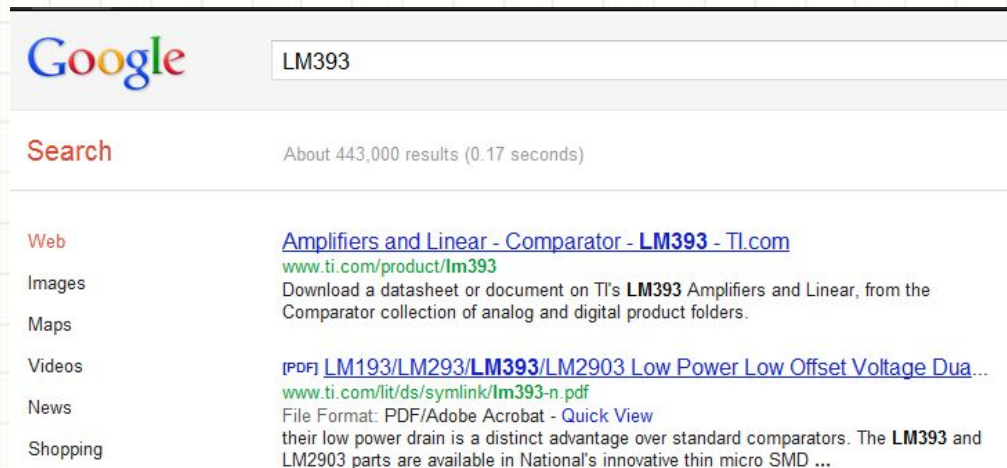
# Полярные конденсаторы

- Танталовые планарные конденсаторы имеют ряд стандартных корпусов – А, В, С, D, E...
- Выводные электролитические конденсаторы обычно обозначаются сочетанием метрического диаметра и высоты, например, 0511
- Аналогично обозначаются корпуса планарных электролитических конденсаторов



# Где найти и как читать документацию на электронные компоненты?

- Где найти?
  - Google it! Самый верный способ – сайт производителя!
  - Каталоги документации <http://alldatasheet.com/>
  - Довольно удобный российский интернет-магазин «Чип и Дип» <http://www.chipdip.ru/> имеет большой каталог документации
- Техническое описание компонента называется **datasheet**.
- Также существуют примеры применения (**application note**) и описания ошибок, допущенных при производстве компонента (**errata sheet**)



Google search results for LM393. The search bar contains "LM393" and the results show "About 443,000 results (0.17 seconds)". The top result is "Amplifiers and Linear - Comparator - LM393 - TI.com" with a link to [www.ti.com/product/lm393](http://www.ti.com/product/lm393). Below it is a PDF link: "[PDF] LM193/LM293/LM393/LM2903 Low Power Low Offset Voltage Dua... www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393-n.pdf". The file format is listed as "PDF/Adobe Acrobat - Quick View". A snippet of the document text is visible: "their low power drain is a distinct advantage over standard comparators. The LM393 and LM2903 parts are available in National's innovative thin micro SMD ...".

[WWW.ALLDATASHEET.COM](http://WWW.ALLDATASHEET.COM)



# Где найти и как читать документацию на электронные компоненты?

- Чертеж корпуса и посадочного места под него обычно называется ***outline dimensions, package drawing, footprint details***
- Список параметров – electric characteristics. ***Static characteristics*** описывает рабочие токи и напряжения, ***dynamic (switching)*** – скоростные свойства компонента
- ***Absolute maximum ratings*** – максимальные токи, напряжения и т.п. при которых компонент не выходит из строя. Это не означает, что его можно и нужно эксплуатировать в этом режиме!

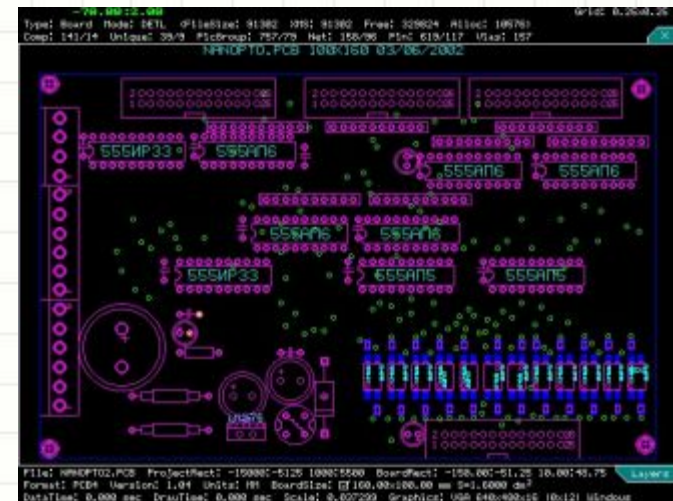
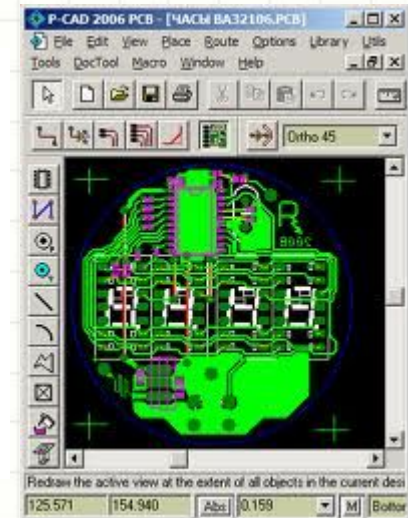
# РАЗДЕЛ 3. ELECTRONIC DESIGN AUTOMATION. ВВЕДЕНИЕ В ALTIUM DESIGNER (AD)

- Что такое EDA (ECAD)?
- Наиболее распространенные программные пакеты для разработки электронных устройств
- Концепция EDA (ECAD) и процесс создания печатной платы
- САМ-средства и передача результатов разработки в САМ-программы
- Основные возможности AD, концепция AD, типы файлов AD



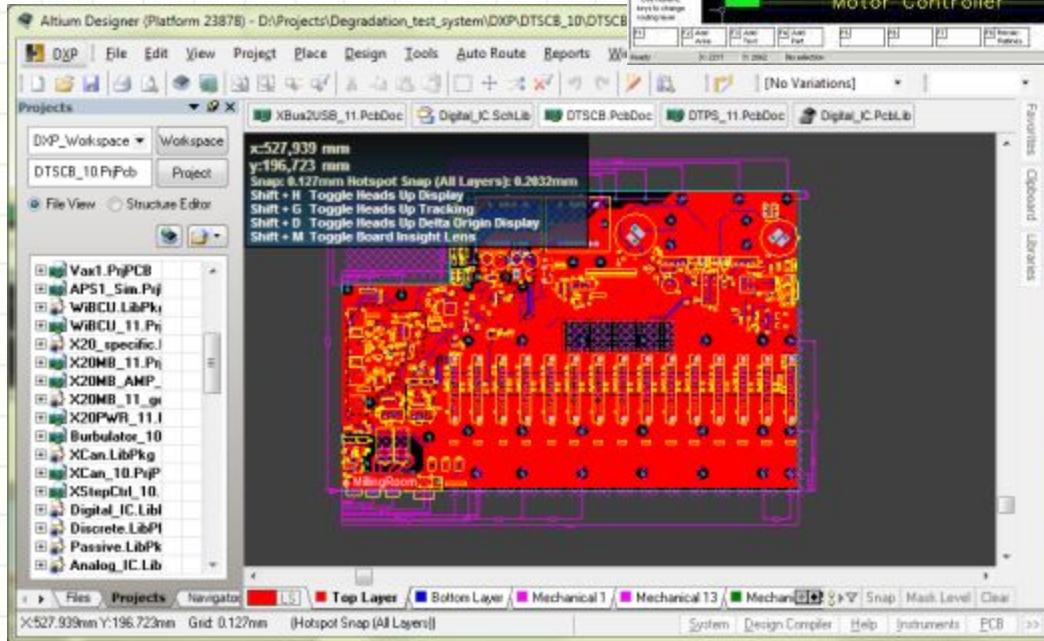
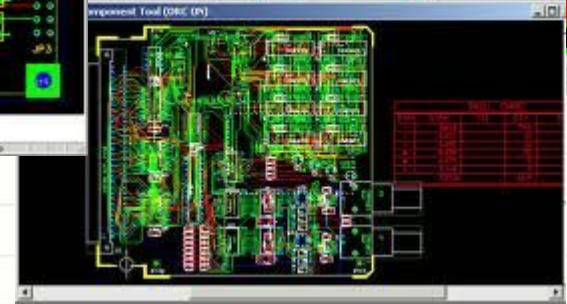
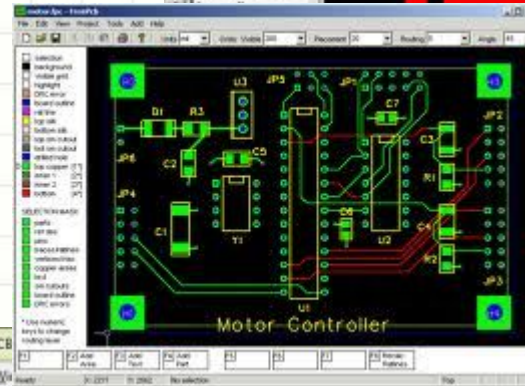
# Что такое EDA (ECAD)?

- Широко распространенная аббревиатура **EDA** означает **Electronic Design Automation**, автоматизированная разработка электроники
- Всем знакомое понятие **CAD** (**Computer Aided Development**) приобретает приставку E- (Electronic)
- Любая EDA система позволяет пользователю составить комплект принципиальных электрических схем, библиотеку компонентов, и разработать на их основе разводку печатной платы (**layout**)



# Наиболее распространенные EDA системы

- P-CAD
- OrCAD
- PADS PCB



- .....
- Altium Designer

# Концепция EDA (ECAD)

- Все без исключения полные программные пакеты позволяют инженерам выполнить ряд стандартных шагов по созданию печатной платы:
  - Разработка/создание библиотеки компонентов (*components library*)
  - Создание комплекта электрических схем (*schematic design, schematic capture*), главным смыслом которого является формирование списка компонентов и цепей – *net list*
  - Передача информации из комплекта электрических схем в редактор печатных плат (*PCB editor*), с возможностью последующей синхронизации изменений в списке цепей (*net list*)
  - Задание механических размеров платы и расстановка компонентов на плате (*placement*)
  - **Разводка** или **трассировка** печатной платы (*routing*) в автоматическом либо ручном режиме
  - Проверка результата на соответствие требованиям выбранной технологии производства платы (*Design Rule Check, DRC*)
  - Передача результата в программы, управляющие производством ПП
- Некоторые EDA системы используют внешние программы автоматической трассировки или просмотра результата передачи платы в средства управления производством ПП
- В разных программных пакетах терминология может несколько различаться

# CAM-средства

- CAM-средства (Computer Aided Manufacturing) – это ПО, при помощи которого формируются программы работы станков и оборудования, производящих что-либо, в т.ч. печатные платы
- CAM-средства позволяют выполнить пост-процессинг готовой печатной платы, ее панелизацию, откорректировать нюансы и вывести результат на фотоплоттер, фрезерный станок, систему автоматического монтажа компонентов (*pick and place*) и т.п.
- Обмен между EDA (ECAD) программами и CAM-программами осуществляется посредством нескольких стандартных форматов файлов. Наиболее распространенные из них:
  - **Gerber-файлы** версий EIA RS-274-D («standard Gerber») или RS-274X («extended Gerber»). Текстовые файлы, описывающие, слой за слоем, печатную плату
  - **NC-Drill** файлы стандарта EIA RS-274-C . Текстовые файлы, состоящие из команд автоматической му сверлильному станку, где и какого диаметра отверстия просверлить
- CAM-средства могут как входить в EDA-пакет, так и не являться его частью.

# Altium Designer

- AD – программный пакет, изучаемый в настоящей дисциплине
- Предыдущее название - Protel DXP
- Разрабатывается компанией Altium Limited, основанной в Австралии в 1985 г. и имеющей представительства и технические центры во многих уголках мира



# Основные возможности AD

- Altium Designer - программный пакет, интегрирующий в себе следующие основные возможности по созданию ПП:
  - Создание библиотеки компонентов, включая разработку несложных 3D-моделей корпусов
  - Создание комплекта электрических схем с возможностью их иерархической организации
  - Создание PCB, автоматическая трассировка встроенным трассировщиком, DRC
  - Генерация, просмотр и редактирование САМ-файлов
- Дополнительные возможности AD:
  - Симуляция поведения электрической схемы с использованием **SPICE**-моделей (**Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis**)
  - Симуляция готовой высокоскоростной печатной платы или готовой расстановки высокоскоростных компонентов на работоспособность (анализ распространения сигналов по цепям **Signal Integrity**)
  - Разработка исходных текстов программного обеспечения и компиляция ПО внешним набором инструментов (**tool-chain**)
  - Разработка «прошивок» (**CPLD (Complex programmable logic device)** и **FPGA (Field-programmable gate array)** на языке **VHDL (very-high-speed integrated circuits hardware description language)**) с возможностью иерархической организации проекта с использованием графического редактора
  - Просмотр HTML документов со ссылками на объекты в схемах и платах
  - Поддержка **CVS** систем (**Concurrent Versioning Systems**) – удаленное хранение и управление версиями файлов проекта со возможностью совместной работы над ними
  - Автоматическая генерация документации на проект в формате PDF с интеллектуальной навигацией по объектам схем и плат
  - Трехмерное моделирование печатной платы с компонентами и многое другое

# Концепция проектов AD

- Что угодно, разрабатываемое в AD, является проектом
- Проект – группа **файлов с исходными данными**, на основе которой генерируется **результат**, и вспомогательные файлы (отчеты, некоторые настройки и т.п.)
- Файл проекта описывает файлы с данными и результатами работы, включенными в проект, подключенные библиотеки и ряд настроек
- При разработке PCB используются следующие файлы проектов:



– Расширение **.PrjPcb**, файл проекта печатной платы

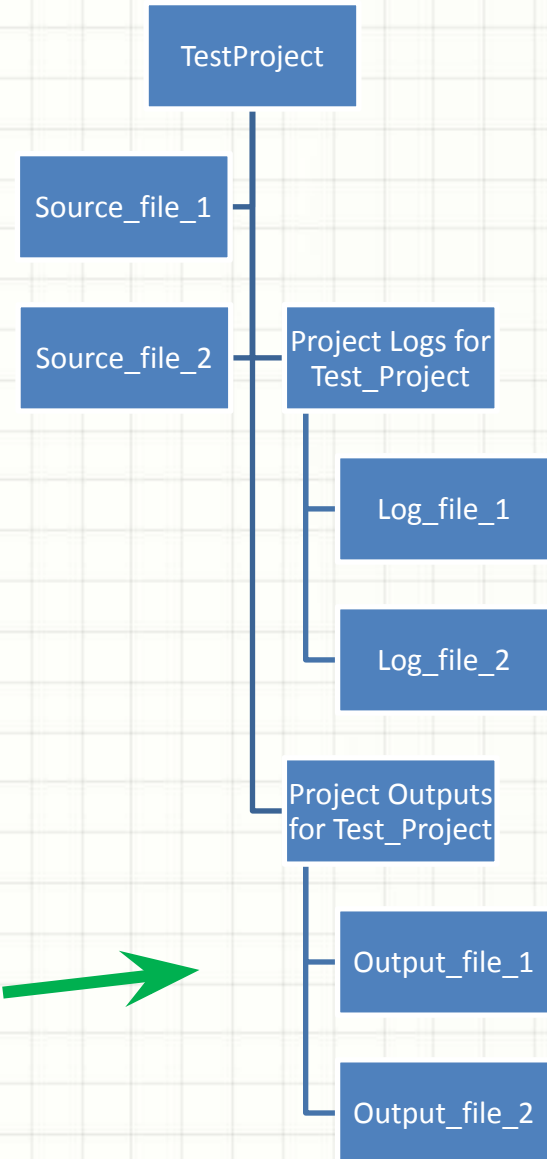


– Расширение **.LibPkg**, файл проекта библиотеки

- Файлы проекта хранятся на жестком диске в одной папке проекта
- Сгенерированные результаты автоматически располагаются во вложенной папке «Project Outputs for имя\_проекта»

# Концепция проектов AD

- Автоматически сгенерированные журналы работы – в папке «Project Logs for имя\_проекта»
- При каждом сохранении исходного файла его предыдущая версия архивируется и помещается в папку «History», также расположенную в общей папке проекта. Позже еще можно восстановить
- Типичная структура файлов и папок проекта





# Проект библиотеки

- В проект библиотеки .LibPkg включаются следующие файлы:



- Расширение *.SchLib*, файл библиотеки символических обозначений компонентов



- Расширение *.PcbLib*, файл библиотеки с чертежами корпусов компонентов («футпринтов»)

- Результатом **компиляции** проекта является файл интегрированной библиотеки *.IntLib*, который можно использовать для создания схем и плат
- Файлы *.SchLib*, *.PcbLib* и *.IntLib* можно **подключить** как к проекту *.PcbLib*, так и к проекту *.Intlib*.  
Подключить – значит сделать доступным для использования, но не сделать исходным файлом проекта



# Проект платы

- В проект платы .PrjPcb включаются следующие файлы



- Расширение **.SchDoc**, файл электрической схемы



- Расширение **.PcbDoc**, файл платы



- Расширение **.cam**, файл средства просмотра и редактирования Gerber-файлов, автоматически создаваемый после их генерации. Такой файл содержит в себе результаты импорта Gerber-файлов в программу класса CAM.



- Расширение **.OutJob**, выделенный файл с настройками вывода результатов разработки платы в файлы документации (.pdf), Gerber-файлы, NC-Drill файлы и т.д.

- В проект также автоматически добавляются ссылки на все сгенерированные файлы документации и САМ-средств, а так же ряд файлов с журналами работы и отчетами
- Gerber-файлы появляются не в результате компиляции, а в результате экспорта

# Интерфейс AD

Меню

Кнопки открытых документов

Дополнительные окна

Панель инструментов

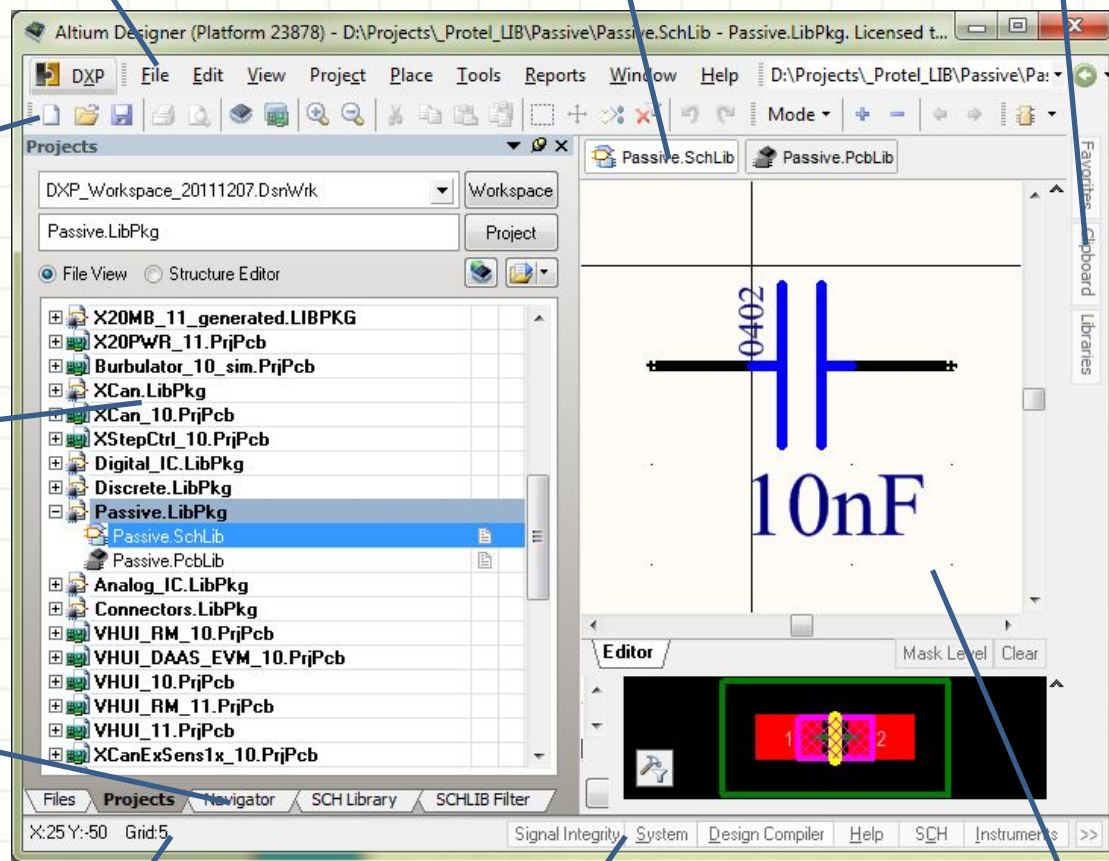
Навигационная панель

Переключение способа навигации

Строка состояния

Панель быстрого доступа

Окно документа

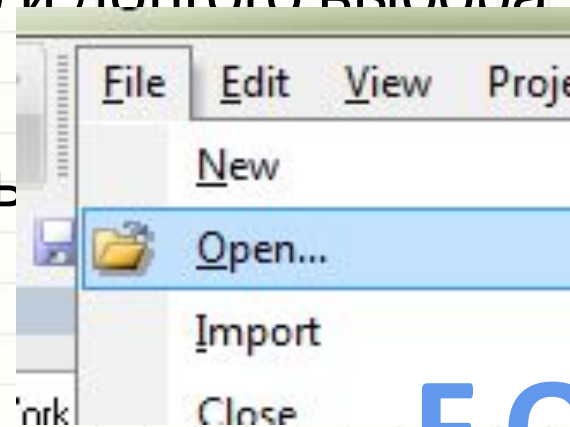


# Интерфейс AD, меню

- Стандартное для Windows-приложение меню:
  - File – открыть, закрыть, сохранить, экспорт...
  - Edit – отмена/повтор, буфер обмена, выделить, переместить, найти...
  - View – масштаб отображения, показать/скрыть панели инструментов, выбор сетки...
  - Project – компиляция проекта, и т.п.
- Состав меню зависит от того, какой документ сейчас открыт

# Интерфейс AD, работа с клавиатуры

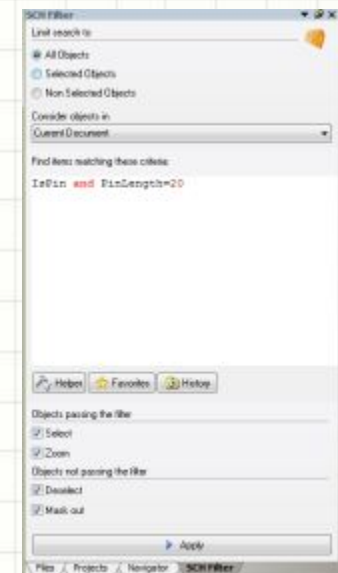
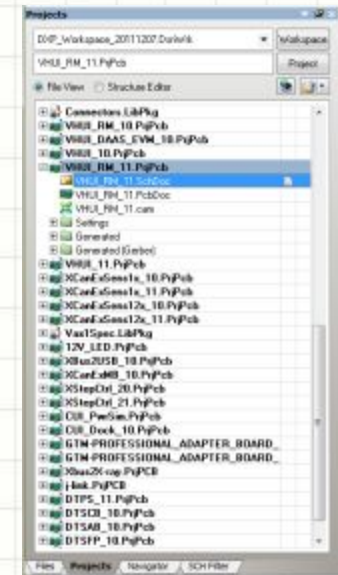
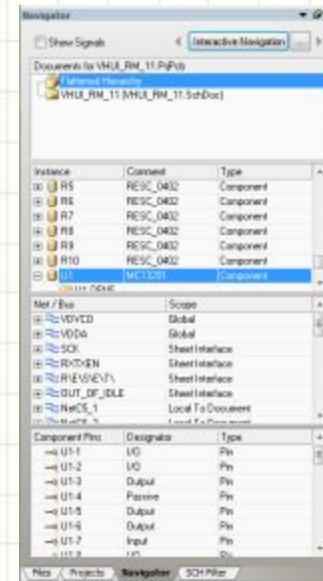
- В отличие от текстовых процессоров, нажатие на клавишу с буквой по умолчанию не приводит к вводу символа
- Навигация по меню с клавиатуры, в стандартном Windows-приложении требующая нажатия модификатора Alt, в AD работает **без модификатора**
- Например, вместо медленного и долгого выбора мышкой в меню File, Open достаточно нажать F, O (в **английском регистре**). Буквы – «акселераторы» в меню выделены подчеркиванием
- **Последнее увеличивает скорость работы с AD в разы!**



F, O

# Интерфейс AD, навигационная панель

- Стандартные закладки панели:
  - Files, ярлыки на открытие или создание файла
  - Projects, все проекты, добавленные в *workspace*, рабочее пространство, файл которого можно сохранить и загрузить
  - Navigator, быстрая навигация по элементам активного документа
  - Filter, обеспечивает возможность выделить часть объектов в документе, которые удовлетворяют введенному текстовому критерию на языке запросов AD (язык запросов – предмет для более позднего и отдельного изучения)
  - В зависимости от типа открытого документа на панель добавляются новые закладки



# Интерфейс AD, строка состояния

- Наиболее полезная информация в строке состояния:
  - Текущий шаг сетки в документе (и активная система – метрическая или дюймовая)
  - Выбранный режим объектной привязки в редакторе плат (аналогично AutoCAD или Компас при рисовании курсор мыши умеет «цепляться» за характерные точки объектов документа)
  - Положение курсора в пространстве документа – X, Y
- Остальное зависит от типа открытого документа и имеет меньшее значение
- На примере видно: положение курсора – (123, 68)мм, система метрическая, сетка, по которой движется курсор - 0.127 мм, включена объектная привязка **Hotspot Snap** (в более ранних версиях AD это называлось **Electric Grid**, об этой сетке поговорим позже)



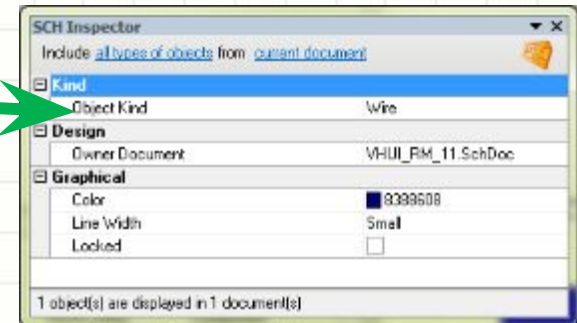
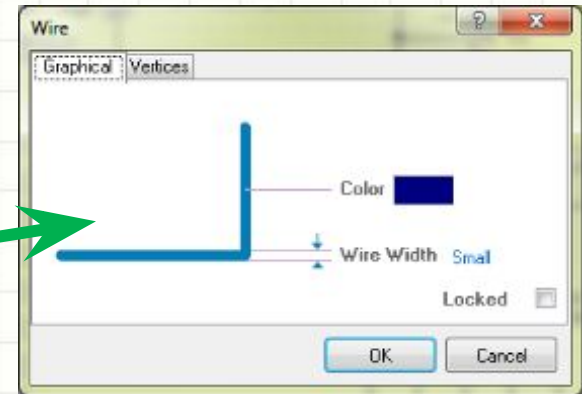
# Интерфейс AD, панель быстрого доступа и дополнительные окна

- Панель быстрого доступа и кнопки с дополнительными окнами позволяют быстро открыть окно с какой-то полезной информацией: сообщения компилятора проекта, окно с библиотечными элементами, из которого можно «таскать» компоненты на схему и т.п.
- Часть этих окон «прячется» в правую панель с кнопками автоматически
- Наиболее полезное дополнительное окно – Object Inspector



# Интерфейс AD, Object Inspector

- Любой объект в любом документе можно редактировать, дважды щелкнув по нему мышкой. Например, свойства соединения (*wire*) в редакторе схем
- Все подобные свойства доступны в окне *Inspector*, вызываемом горячей клавишей **F11**
- В ряде случаев Inspector открывается автоматически



- Окно свойств (верхний рисунок) позволяет редактировать свойства только одного объекта (на схеме, в плате и т.п.), а *Inspector* позволяет **изменить общее свойство всех выделенных объектов**. Например, одним действием изменить толщину выделенных дорожек на плате или высоту шрифта в нескольких надписях

# Интерфейс AD, мышка +

## клавиатура

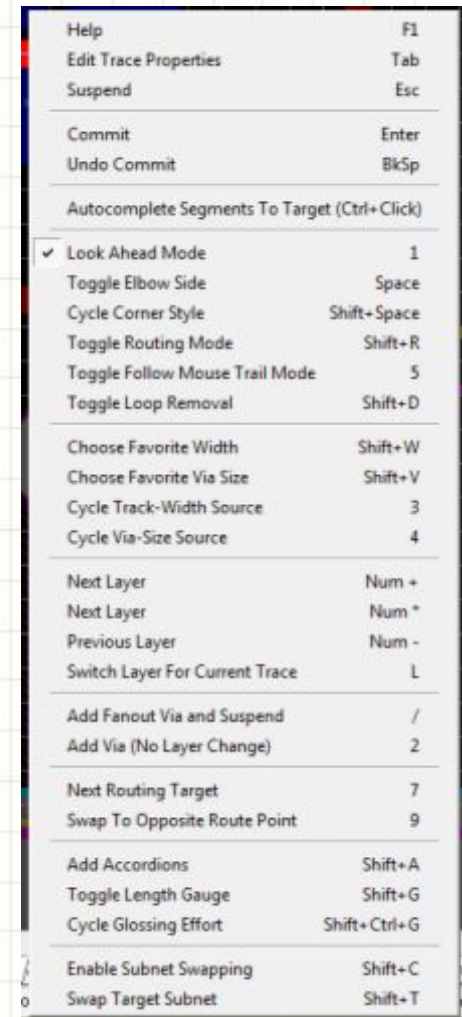
- **Щелчок левой** кнопкой мышки выделяет объекты. Если программе не понятно, какой объект хочет выбрать пользователь, выводится окно со СПИСОМ «кандидатов»
  - С *shift* можно выделить несколько объектов
  - С *alt+shift* выделить всю цепь в схеме
  - С *ctrl* – «подсветить» всю цепь в плате
- **Двойной щелчок левой** кнопкой открывает свойства объекта
- **Прижатая левая кнопка** перетаскивает объекты:
  - С *alt* – ортогонально
  - С *shift* – копирует элементы схемы
  - С *ctrl* заставляет соединения схемы «тянуться» за перемещаемым объектом
- **Щелчок правой** кнопкой мышки открывает контекстное меню, где есть, в т.ч., свойства объекта, на котором кликнули
- **С прижатой правой кнопкой** мыши можно перемещаться по документу (*Pan*)
  - С *ctrl* - регулировать масштаб отображения
- **Колесо** мышки перемещает документ вверх-вниз,
  - С *ctrl* изменяет масштаб (*Zoom*),
  - С *shift* – перемещает документ влево-вправо

# Интерфейс AD, мышка + клавиатура

- Курсор мыши можно перемещать по узлам сетки документа стрелками клавиатуры. С нажатой клавишей *shift* шаг увеличивается
- Для **поворота** объекта при его перетаскивании следует нажать клавишу **пробела** (поворот против часовой стрелки), ***shift+пробел*** – по часовой. Примечание: при рисовании дорожек *shift+пробел* изменяет стиль углов при повороте дорожки
- Для окончания перетаскивания объекта – отпустить левую клавишу мышки или нажать ***Enter***
- Для того, чтобы на экране оказались все элементы документа, следует нажать ***Ctrl+PgDn*** (zoom to best fit)

# Интерфейс AD, мышка + клавиатура

- В момент рисования любого объекта (линия, дорожка, цепь) нажатие клавиши «**тильда**» (~) открывает контекстное меню, где перечислены все доступные действия и их «горячие клавиши»
- При размещении любого объекта (добавлении контактной площадки, компонента, дорожки и т.п.) клавиша **Tab** открывает коно свойств этого объекта



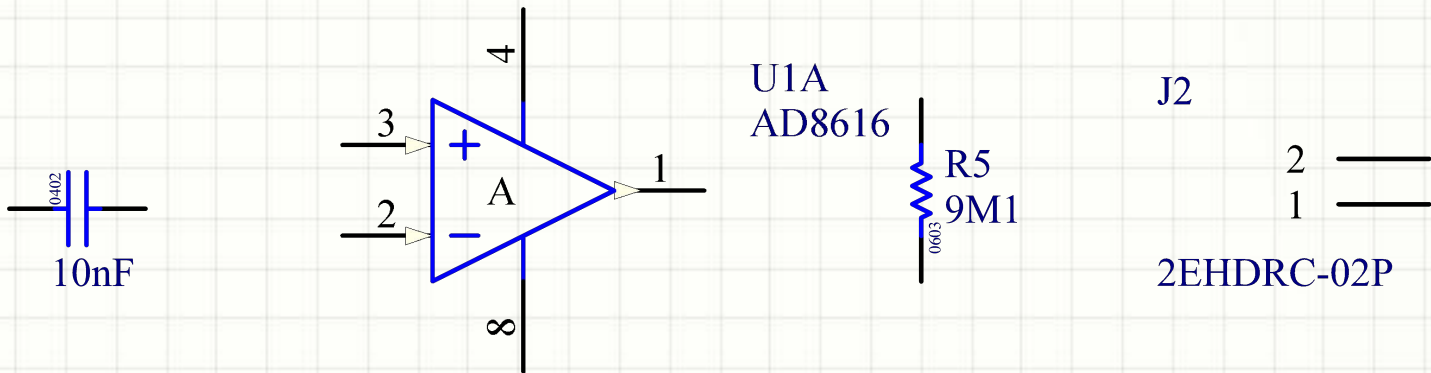
Help	F1
Edit Trace Properties	Tab
Suspend	Esc
Commit	Enter
Undo Commit	BkSp
Autocomplete Segments To Target (Ctrl+Click)	
✓ Look Ahead Mode	1
Toggle Elbow Side	Space
Cycle Corner Style	Shift+Space
Toggle Routing Mode	Shift+R
Toggle Follow Mouse Trail Mode	5
Toggle Loop Removal	Shift+D
Choose Favorite Width	Shift+W
Choose Favorite Via Size	Shift+V
Cycle Track-Width Source	3
Cycle Via-Size Source	4
Next Layer	Num +
Next Layer	Num *
Previous Layer	Num -
Switch Layer For Current Trace	L
Add Fanout Via and Suspend	/
Add Via (No Layer Change)	2
Next Routing Target	7
Swap To Opposite Route Point	9
Add Accordions	Shift+A
Toggle Length Gauge	Shift+G
Cycle Glossing Effort	Shift+Ctrl+G
Enable Subnet Swapping	Shift+C
Swap Target Subnet	Shift+T

## РАЗДЕЛ 3. СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ КОМПОНЕНТОВ

- Из чего состоит компонент в представлении AD?
- Multi-part компоненты
- Виды моделей компонента
- Создание символического обозначения компонента
- Создание PCB-модели компонента
- Подключение моделей
- Создание multi-part компонентов
- “Parameters” в Altium Designer

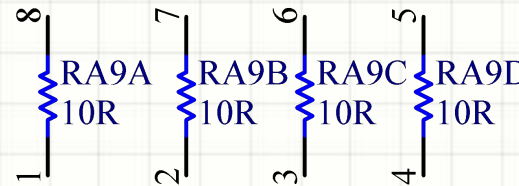
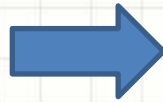
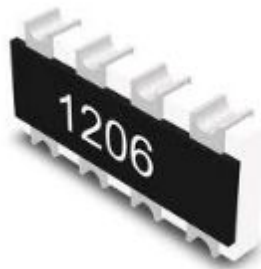
# Из чего состоит компонент в представлении AD?

- Компонент в Altium Designer представляет собой **символическое обозначение** (символ, размещаемый на схеме) с подключенными к нему **моделями**
- Это – компоненты:



# Multi-part компоненты

- Если одному физическому компоненту на схеме соответствует один символ – это обычный компонент. Например, резистор, диод, транзистор
- Если одному физическому компоненту (в одном корпусе) соответствует несколько «значков» на схеме – это multipart компонент. Например, резисторная сборка, диодная сборка, микросхема с 2 или 4 ОУ в одном корпусе



- «Подкомпоненты» внутри одного физического компонента принято обозначать буквами А, В, С, D и т.п.
- Например, если микросхема с двумя ОУ называется DA1, ее «подкомпоненты» обозначаются DA1A, DA1B

# Виды моделей компонента

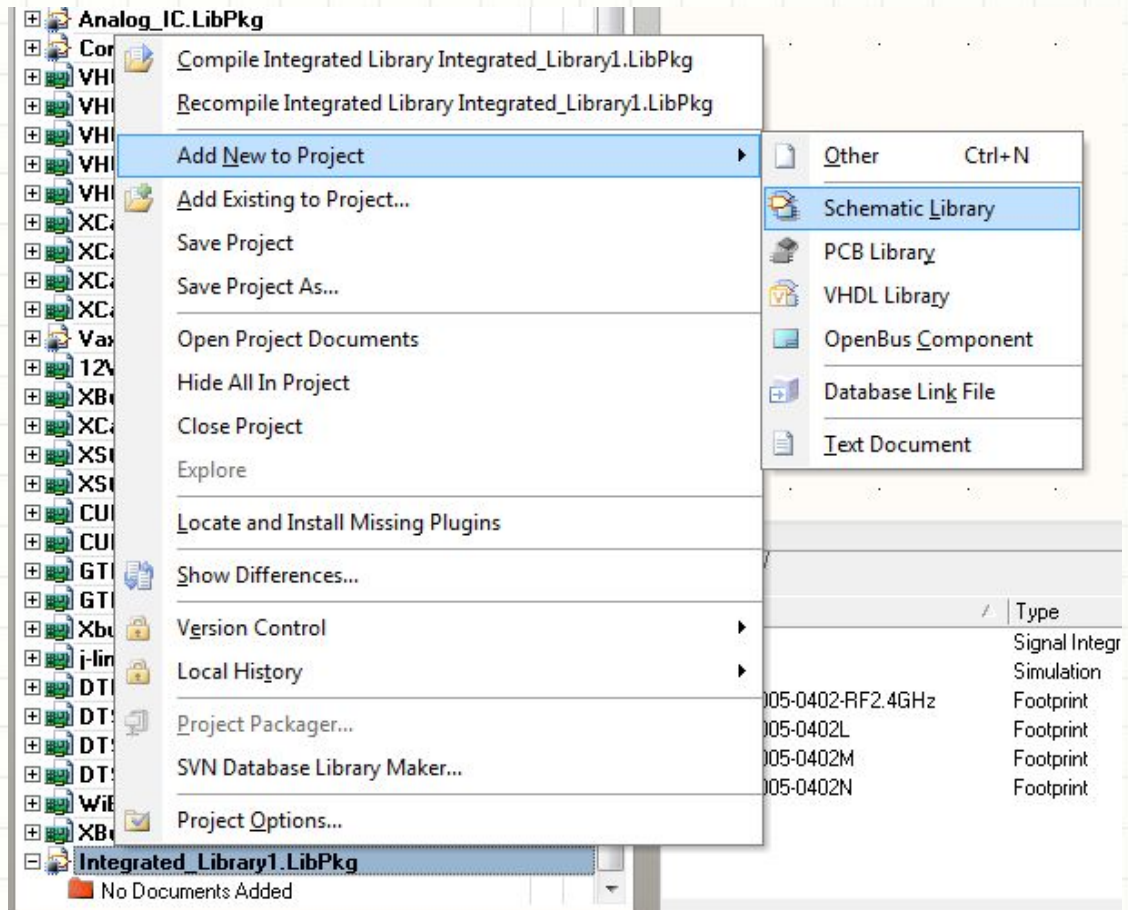
- **PCB модели** – описывают группу контактных площадок и чертеж корпуса компонента, используются при разводке ПП
- **Simulation** – описывают поведение компонента для проведения симуляции работы схемы (анализ переходных процессов и т.п.)
- **PCB3D** – трехмерная модель корпуса компонента с текстурами и надписями, нужна для визуализации платы
- **Signal Integrity** – модель, необходимая для проведения симуляции работы скоростных ПП, в процессе которой выясняется не поведение схемы, а поведение компонентов на реальной плате с учетом длины и параметров дорожек, стека слоев и т.п.



# Шаги по созданию символического обозначения

## КОМПОНЕНТА

- Создать проект Integrated Library (File – New - Project – integrated Library. Новый проект появляется в навигационной панели Projects
- Добавить в проект \*.SchLib, файл библиотеки символических обозначений КОМПОНЕНТОВ



# Шаги по созданию символического обозначения компонента

- Переключиться в закладку Schematic library и нажать кнопку Add
- Заполнить диалог свойств нового компонента (открывается щелчком на компоненте):

Library Component Properties

**Properties**

Default Designator:   Visible  Locked

Default Comment:   Visible

Part 1/1  Locked

Description:

Type:

**Library Link**

Symbol Reference:

**Graphical**

Mode:   Lock Pins

Show All Pins On Sheet (Even if Hidden)

Local Colors

**Parameters**

Visible	Name	Value	Type
<input checked="" type="checkbox"/>	Value	10nF	STRING

Add... Remove... Edit... Add as Rule...

**Models**

Name	Type	Description	Vault	Item Revis...
CAPC1608-0603	Footprint	Chip Capacitor, Body 1.6x0.8mm, IPC Lo...		
Cap	Signal Integrity			
CAP	Simulation	Capacitor		

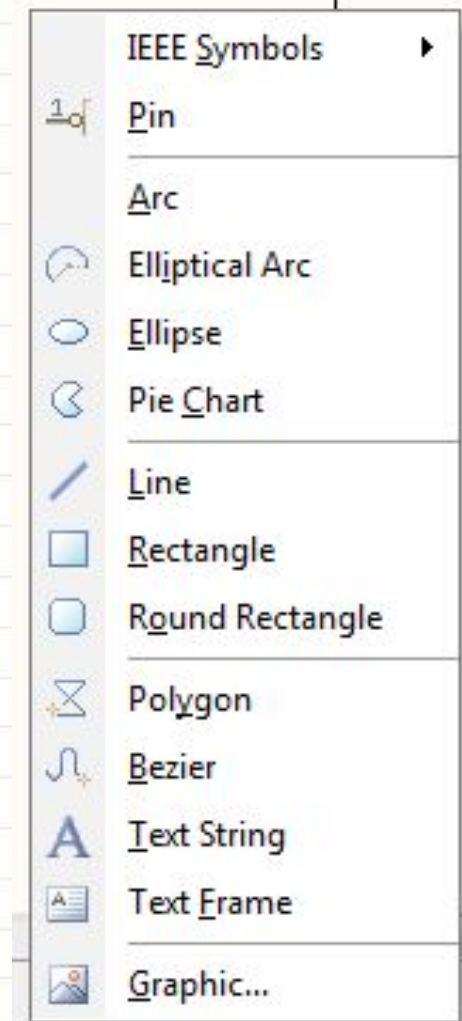
Add... Remove... Edit...

Edit Pins... OK Cancel

# Шаги по созданию символического обозначения

## компонента

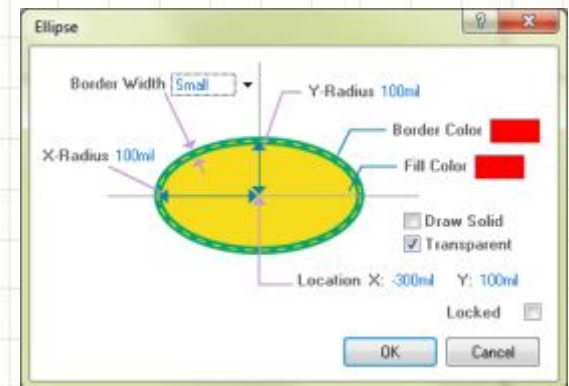
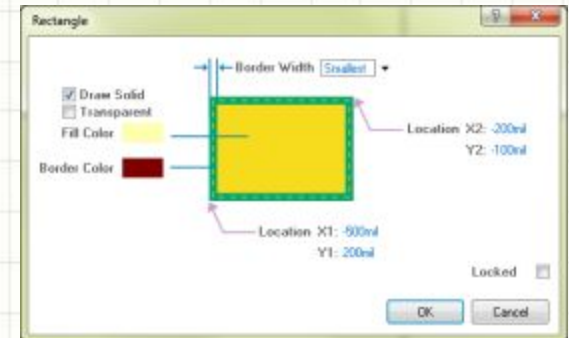
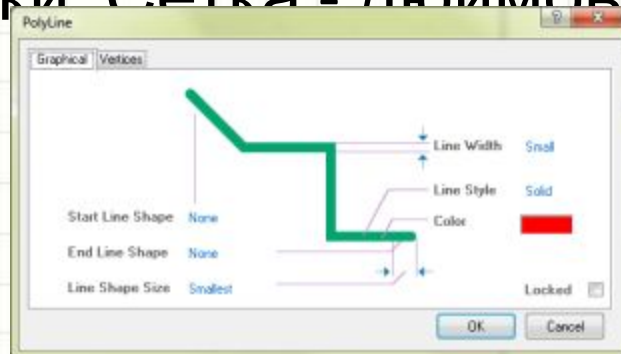
- Изобразить символическое обозначение компонента
- Геометрические примитивы, которые можно размещать на рисунке символического обозначения
- Все, кроме объекта “pin”, является просто графикой для оформления схемы
- Все примитивы добавляются из меню *Place* или клавишей *P*



# Шаги по созданию символического обозначения

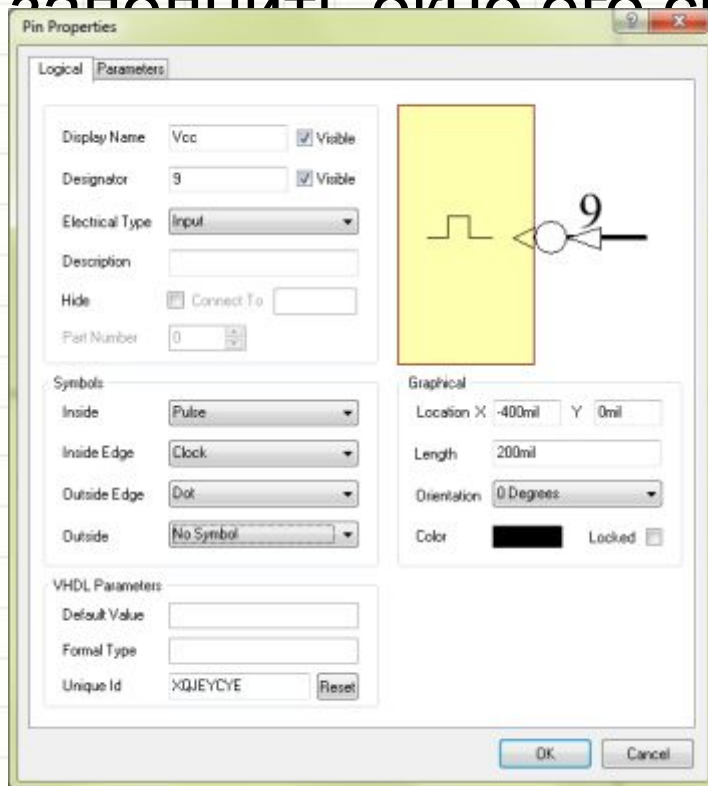
## КОМПОНЕНТА

- Во время размещения любого примитива нажатие на Tab открывает окно с его свойствами (цвета, линии, текст, размер, положение и т. п.)
- Клавиша G переключает шаг сетки Сетка - дюймовая!



# Шаги по созданию символического обозначения компонента

- В компоненте обычно присутствует по меньшей мере один вывод (pin). При размещении такого объекта требуется заполнить окно его свойств:



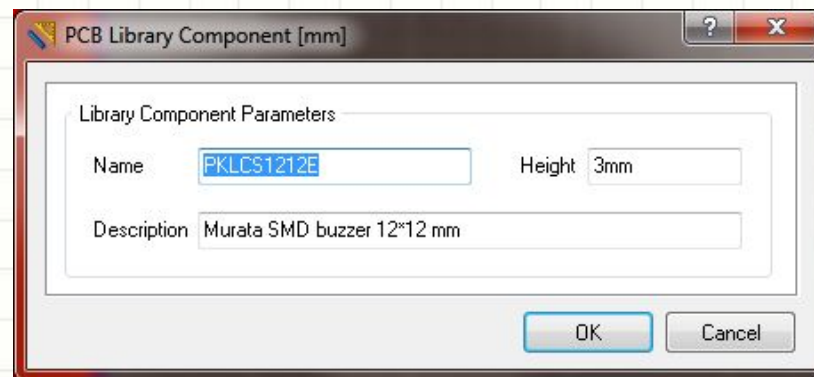
- Обязательно к заполнению – **Designator!**  
**Он должен быть уникален**
- Этот параметр связывает выводы на схеме с контактными площадками на плате
- Остальные параметры второстепенны и служат для самоконтроля и оформления схемы

# Создание простейшего компонента «резистор»

- Разместить два вывода с Designator равным 1 и 2, электрический тип – passive
- Нарисовать контур обозначения резистора (прямоугольник)
- Заполнить свойства компонента. Главное – позиционное обозначение Default Designator «R?». Вопросительный знак позже будет автоматически заменен на номер при создании схемы

# Шаги по созданию РСВ-модели компонента «вручную»

- В проект Integrated Library добавить файл\*.PcbLib, файл библиотеки «футпринтов»
- Переключиться в закладку PCD Library и в контекстном меню списка футпринтов выбрать New Blank Component
- Заполнить диалог свойств вновь созданного компонента-модели (открывается двойным щелчком на автоматически сгенерированном имени нового компонента-модели)



# Шаги по созданию РСВ-модели компонента «вручную»

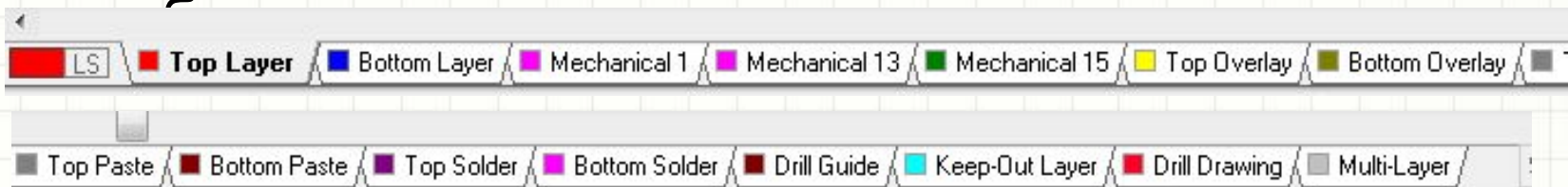
- На основное поле редактирования модели можно добавлять несколько различных геометрических примитивов
- Абсолютный минимум – контактные площадки (*Pad*) и рисунок компонента в слое шелкографии
- Все примитивы добавляются из меню *Place* или клавишей *P*





# Шаги по созданию РСВ-модели компонента «вручную»

- **В окне редактирования модели мы впервые видим, фактически, редактор печатных плат**
- Внизу находится список слоев платы в представлении AD
- Элемент управления LS обозначает **Layer Sets**. Можно создать несколько наборов слоев и переключаться между ними, убрав с экрана ненужные
- Типичные наборы (sets) слоев – сигнальные, механические и т.п.
- Пункт меню Board Layer Sets позволяет редактировать существующие и создавать новые

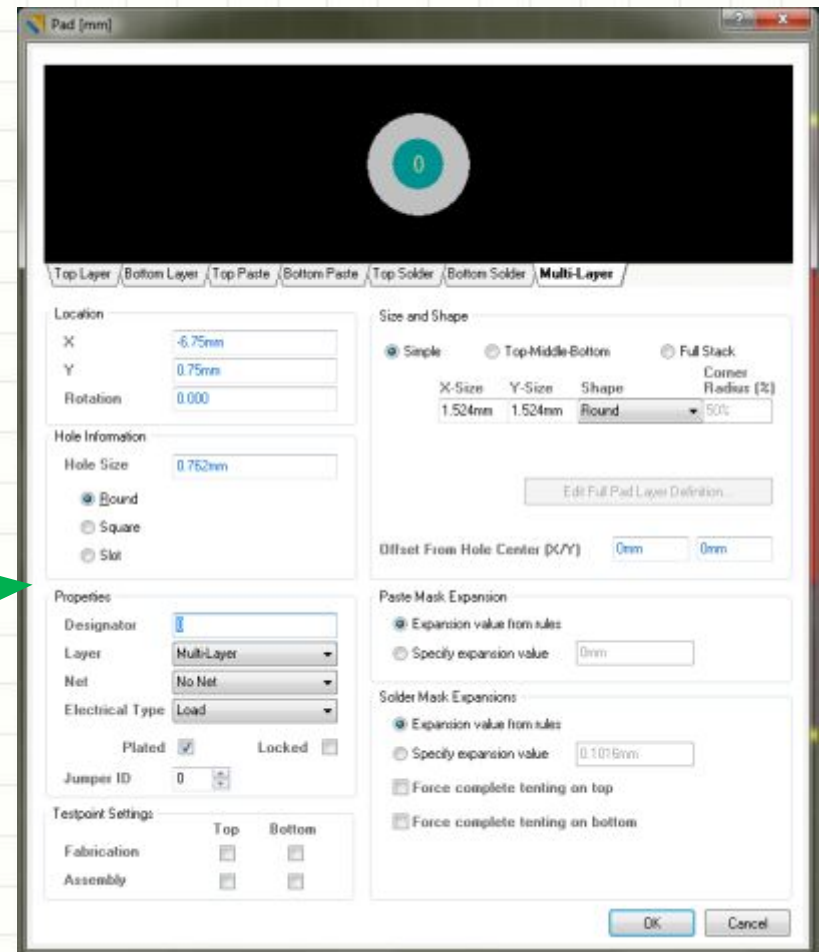


# О слоях

- Абсолютный минимум слоев в любой ДПП:
  - *Top layer, Bottom layer* – верхний и нижний слои металлизации текстолита. В этом слое находятся дорожки, контактные площадки и т.п.
  - *Top Overlay, Bottom Overlay* – слои для шелкографии верхней и нижней сторон ПП
  - *Top Solder, Bottom Solder* – слой, содержащий апертуры паяльной маски для верхней и нижней стороны ПП. Если в слое Solder нарисован объект, в паяльной маске появится вырез соответствующий контуру этого объекта
  - *Keep-Out Layer* – контур ПП
  - *Multi-Layer* – виртуальный слой в AD, на котором находятся объекты, принадлежащие сразу нескольким слоям. Например, переходные отверстия и проходные контактные площадки
  - Механические слои нужны для изображения вспомогательных объектов и 3D моделей, на производство ПП не влияют
  - Слои Paste указывают как наносить паяльную пасту при монтаже компонентов
- При размещении и редактировании объекта в поле платы **переключаться между слоями можно клавишами «+» и «-», переключаться между внешними сигнальными слоями – клавишей «\*»**

# Шаги по созданию РСВ-модели компонента «вручную»

- В любой РСВ-модели обычно присутствует как минимум одна контактная площадка – Pad
- Для добавления контактной площадки и заполнения ее свойств нажимаем P, P, Tab (Place, Pad, открыть свойства)



# Основные свойства объекта Pad

- Параметры отверстия в ПП (для проходных контактных площадок)
- **Designator** для установки соответствия выводу в символическом обозначении
- Слой. Проходные контактные площадки размещаются на Multi-Layer, планарные – на Top или Bottom
- Размеры на каждом из слоев будущей ПП. Их можно задавать с тремя степенями детализации – простым (задаются размеры по X и Y), top-middle-bottom (отдельное задание размеров по внешним и внутренним слоям), full stack (для многослойных сложных ПП)

Hole Size

Round    Length

Square    Rotation

Slot

Designator

Layer

Size and Shape

Simple     Top-Middle-Bottom     Full Stack

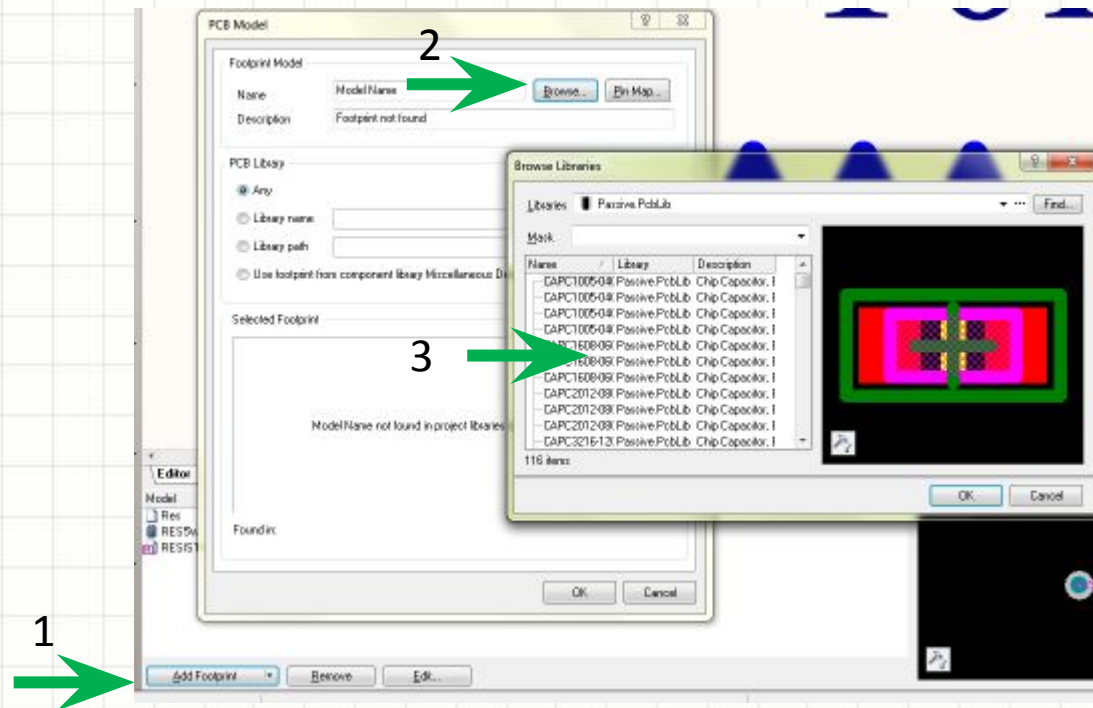
X-Size	Y-Size	Shape	Corner Radius (%)
1.524mm	1.524mm	Round	50%

# Создание простейшей модели выводного резистора

- Разместить две выводные контактные площадки на слое Multi-layer с диаметром отверстия 1 мм, диаметром контактных площадок 2 мм
- Назначить контактным площадкам Designator равный 1 и 2
- Сохранив все несохраненные файлы, перекомпилировать проект библиотеки (Project – Recompile Integrated Library)

# Подключение моделей

- Открыть ранее созданный компонент библиотеки SchLib
- Внизу экрана нажать Add Footprint
- Выбрать ранее созданную PCB-модель компонента



# Подключение моделей

- Каждому символическому обозначению может соответствовать более одной модели. Если это так, перед переходом к разработке ПП (когда схема готова), необходимо выбрать для компонента конкретную модель.
- Список моделей показан в редакторе символических обозначений внизу экрана.
- Если последовательно выделять rad или pin в редакторе, соответствующий ему pin или rad будут подсвечиваться. Это полезно для проверки созданного компонента.

# Создание multi-part компонентов

- Полезно для резисторных сборок и микросхем, содержащих в себе несколько «схемотехнических» элементов, например, 2 или 4 ОУ в одном корпусе
- Сам компонент (символическое обозначение) создается как обычно, после чего изображается первый из элементов
- Для добавления нового необходимо выбрать **Tools-New Part**
- При редактировании свойств компонента переключаться между его внутренними «подкомпонентами» можно кнопками на диалоге, не закрывая его

