



AltiumTM

Проектирование простых цифровых устройств

Владимир Хрусталев
Email : v_crys@mail.ru

Технический цикл
производства печатных
плат

1. Введение. Обзор существующих утилит для разработки устройств
2. Современные подходы к проектированию устройств (иерархическая схемотехника, системы контроля версий, структура типового отдела разработки)
3. **Технический цикл производства печатных плат**
4. Современная компонентная база
5. Оборудование, используемое при разработке и отладке устройств
6. Краткий обзор классических цифровых интерфейсов

1. Введение (знакомство, установка софта, разбор решаемой задачи)
2. Библиотеки компонентов (создаем два компонента)
3. **Разработка схемы (вспоминаем схемотехнику, делаем схему)**
4. Преобразование схемы в плату (дорабатываем схему, конвертируем ее в плату)
5. Трассировка платы
6. Подготовка платы к производству. Заключение



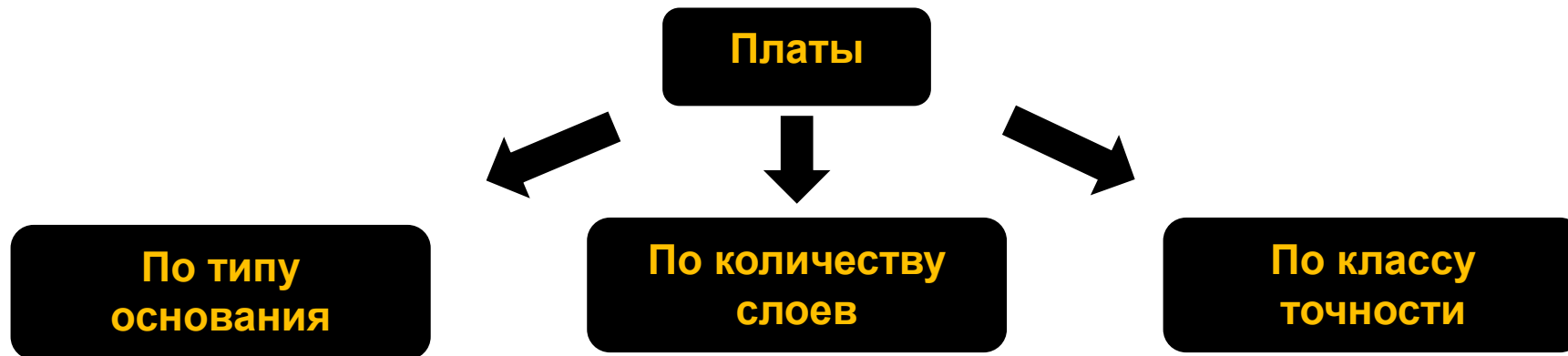
AltiumTM

Занятие №3

ТЕОРИЯ

Классификация печатных плат

Печатная плата (англ. *printed circuit board, PCB*) — пластина из диэлектрика, на поверхности и/или в объёме которой сформированы электропроводящие цепи электронной схемы.



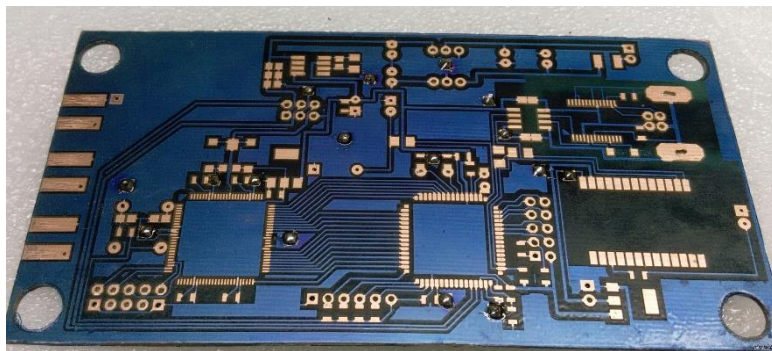
Классификация: по типу основания



Классификация: по типу основания (жесткость)

По типу основания
(жесткость)

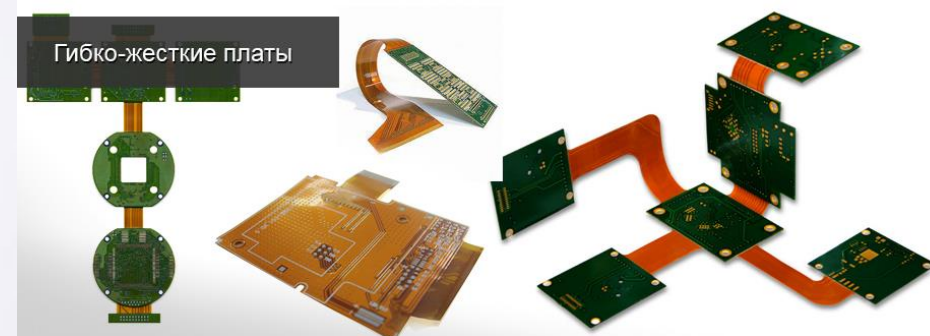
Жесткие



Гибкие



Гибко-жесткие



Жесткие диэлектрики

Вид	Состав	Tg	Dk	Стоимость
FR4	Слоистый эпоксидный материал из стекловолокна	> 130°C	4,7	1 (базовая)
FR4 High Tg, FR5	Материал со сшитой сеткой, повышенная термостойкость (RoHS-совместимый)	> 160°C	4,6	1,2...1,4
RCC	Эпоксидный материал без стеклянной тканой основы	> 130°C	4,0	1,3...1,5
PD	Полиимидная смола с арамидной основой	260°C	3,5–4,6	5...6,5
PTFE	Политетрафлуор-этилен со стеклом или керамикой (CBЧ)	240–280°C	2,2–10,2	32...70

Tg — температура стеклования (разрушения структуры)

Dk — диэлектрическая постоянная

Гибкие диэлектрики

Материалы

- Базовые материалы – полиимид, пр-во Dupont
- Финишные покрытия – иммерсионное золочение (ENIG), иммерсионное серебрение (ImmAg), покрытие краевых разъемов Ni, Au
- Ужесточитель – FR4

Материал	Толщина PI, мкм	Толщина Ad***, мкм	Толщина Cu, мкм
Базовые материалы			
LF8510R*	25	25	18/0
LF9110R*	25	25	35/0
AP8515R*	25	0	18/18
AP8515E**	25	0	18/18
CG352535E**	25	0	35/35
AP9111R*	25	0	35/35
AP8535R*	75	0	18/18
AP9131R*	75	0	35/35
AP9151R*	125	0	35/35

Материалы

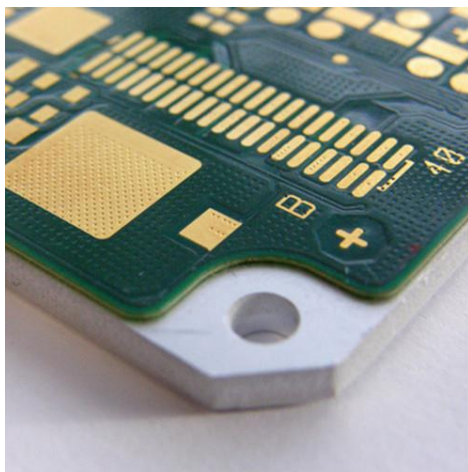
- Базовые материалы – FR4, FR4 HiTg, Rogers 4000 серии, полиимид
- Препрег: [Arlon 49N 106 \(50 мкм\)](#), [49N 1080 \(76 мкм\)](#)
- [Финишные покрытия](#) – иммерсионное золочение (ENIG), иммерсионное серебрение (ImmAg)

Материал	Толщина PI, мкм	Толщина Ad ^{***} , мкм	Толщина Cu, мкм
Базовые материалы			
AP8515R⁺	25	0	18/18
AP8515E⁺⁺	25	0	18/18
CG352535E⁺⁺	25	0	35/35
AP9111R⁺	25	0	35/35
AP8535R⁺	75	0	18/18
AP9131R⁺	75	0	35/35
AP9151R⁺	125	0	35/35

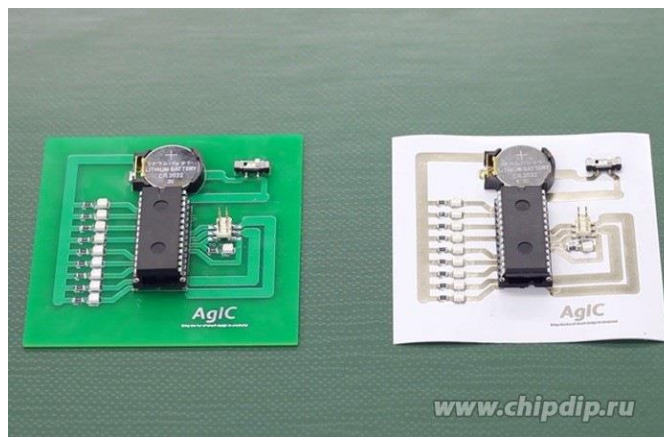
Специализированные основания

По типу основания
(специфические)

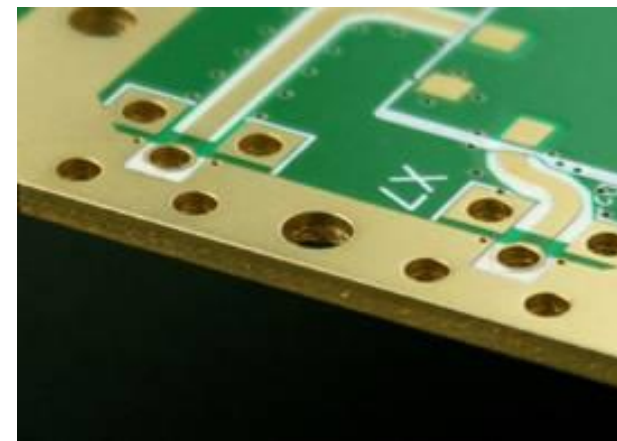
На метал. основании



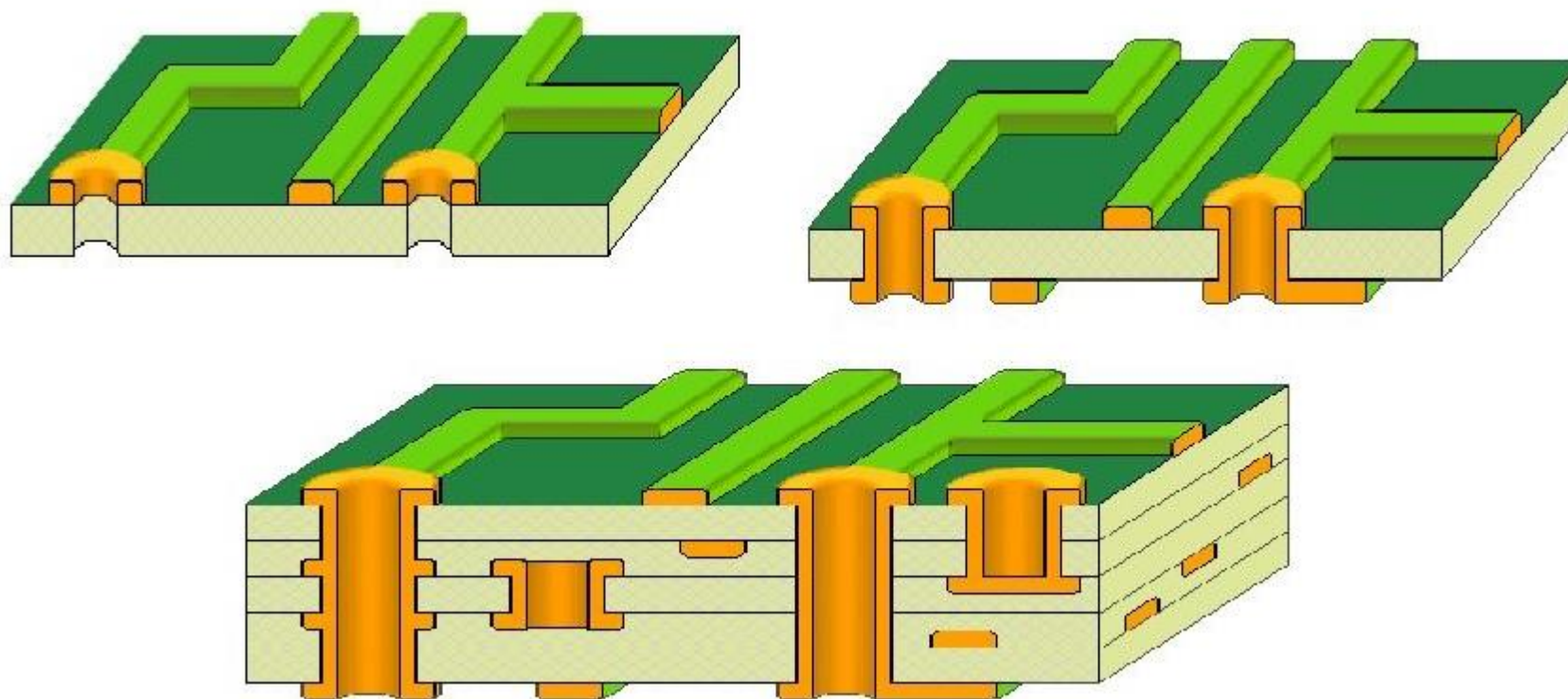
На бумажном
основании



СВЧ



Классификация: по количеству слоев



Классификация: по классу точности

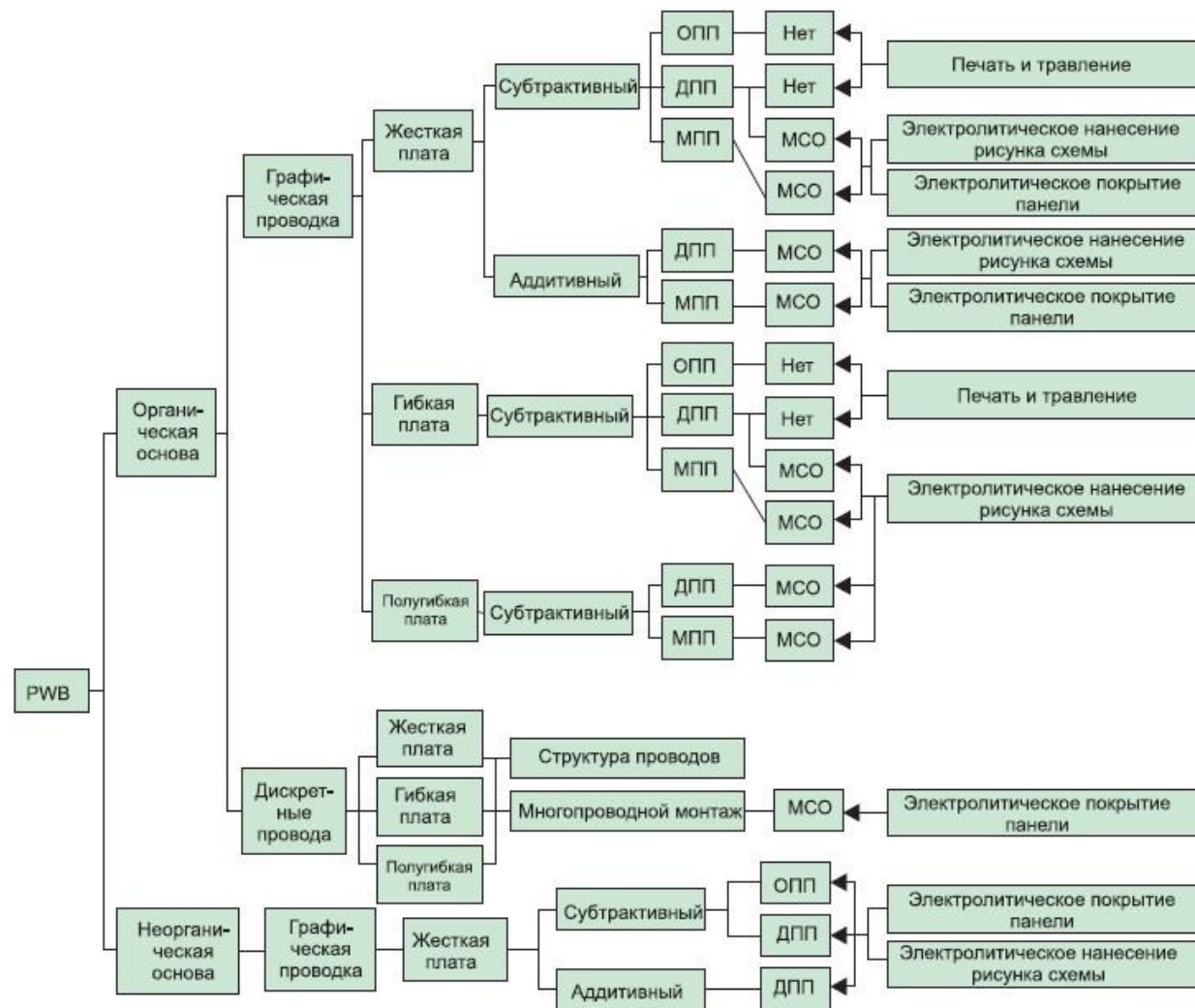
Условное обозначение	Номинальное значение основных параметров для класса точности				
	1	2	3	4	5
t, mm (mil)	0.75 (29.5)	0.45 (17.7)	0.25 (9.84)	0.15 (5.9)	0.1 (3.937)
S, mm (mil)	0.75 (29.5)	0.45 (17.7)	0.25 (9.84)	0.15 (5.9)	0.1 (3.937)
b, mm (mil)	0.3 (11.81)	0.2 (7.874)	0.1 (3.937)	0.05 (1.97)	0.025 (0.984)
f / min диаметр отверстия, mm (mil) для стандартного текстолита толщиной 1.5 мм	0.4 / 0.6 (23.6)	0.4 / 0.6 (23.6)	0.33 / 0.495 (19.5)	0.25 / 0.375 (14.76)	0.2 / 0.3 (11.8)

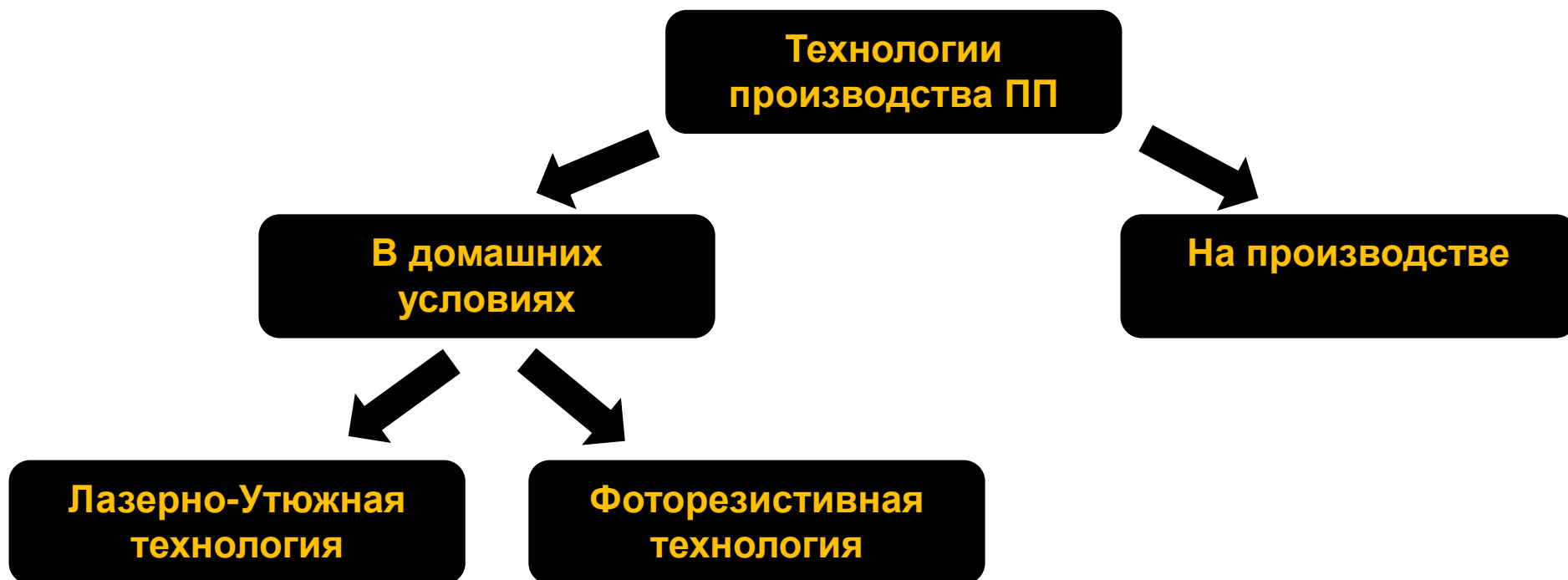
В таблице: t - ширина печатного проводника; S - расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка; b - гарантированный поясок; f - отношение номинального значения диаметра наименьшего из металлизированных отверстий, к толщине печатной платы.

Полная классификация

https://www.tech-e.ru/2011_4_12.php

Л. А. Брусницына Е. И. Степановских
«ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ
ПЛАТ» Технология изготовления печатных плат :
[учеб. пособие] / Л. А. Брусницына,
Е. И. Степановских ; [науч. ред. В. Ф. Марков] ;
М-во образования и науки Рос. Федерации,
Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург :
Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 200 с.





Распечатываем рисунок ПП
на лазерном принтере
(цвета инвертированы)

Накладываем распечатку на
очищенный текстолит

Гладим))

Счищаем бумагу в воде

Травим в хлорном железе

Покрываем оловом



ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ



Это заготовка двусторонней печатной платы, вырезанной из стекла фольгированного диэлектрика. Диэлектрическое основание стеклоэпоксидная композиция: стеклоткань пропитанная эпоксидной смолой. Медная фольга может иметь толщину от 5ти до 100мкм.

СВЕРЛЕНИЕ СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ



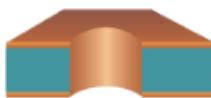
В плате высверливаются отверстия на специализированных станках с чпу.

ОЧИСТКА ОТВЕРСТИЙ ОТ НАНОСА СМОЛЫ (DESMEAR) (для дпп этап необязательный, нежелательный)



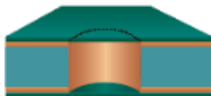
Отверстия платы очищаются от наноса смолы на медные торцы слоев. Варианты способов очистки: травление в серной кислоте, в растворе перманганата, плазмохимическая очистка, гидроабразивная обработка.

ХИМИЧЕСКОЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКОГО СЛОЯ МЕДИ (альтернатива - прямая металлизация)



Этот этап нужен для придания проводимости стенкам отверстий, необходимой для последующей гальванической металлизации. Рыхлый слой химически осажденной меди быстро разрушается, поэтому его усиливают тонким слоем гальванической меди. Для химической металлизации появилась альтернатива прямая металлизация, при которой стенки отверстий покрываются очень тонким слоем палладия. Тогда химическая и предварительная гальваническая металлизация не требуются.

НАНЕСЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА



Нанесение фоточувствительного материала (фоторезиста) на заготовку. Как правило, это пленочный фоторезист, настилаемый на заготовку специальным валковым устройством ламинатором. Поверхность заготовки очищается для обеспечения адгезии фоторезиста. Этот этап проходит в чистой комнате с неактивным (желтым) освещением, фоторезист светочувствителен ультрафиолетовому спектру.

СОВМЕЩЕНИЕ ФОТОШАБЛОНА ПОЗИТИВА



С заготовкой совмещается фотошаблон. Круг, часть которого изображена, контактная площадка. Изображение на фотошаблоне позитивное по отношению к будущей схеме.

ЭКСПОНИРОВАНИЕ ФОТОРЕЗИСТА



Участки поверхности, прозрачные на фотошаблоне, засвечиваются. Засвеченные участки фотополимеризуются и теряют способность к растворению, фотошаблон снимается.

ПРОЯВЛЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА



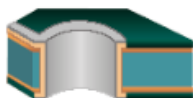
Изображение на фоторезисте проявляется: незасвеченные участки растворяются, засвеченные фотополимеризуются и остаются на плате, потеряв способность к растворению. В результате фоторезист остается в тех областях, где проводников на плате не будет. Таким образом, на плате остается негативное изображение топологии схемы. Назначение фоторезиста обеспечить избирательное гальваническое осаждение меди.

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ (ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ) ОСАЖДЕНИЕ МЕДИ



Медь наносится на поверхность стенок отверстий до толщины 25 мкм. При такой толщине металлизация обеспечивает необходимую прочность при термодинамических нагрузках, свойственных последующим пайкам. При металлизации отверстий неизбежно металлизировуются поверхности проводников.

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЗИСТА



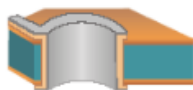
Металлорезист служит защитой проводников и металлизированных отверстий от травления. Это, во-первых. Во-вторых, он потом защищает медь от окисления. В-третьих, он необходим для длительного сохранения способности платы к пайке, если он остается как финишное покрытие (в этом случае применяют составы основанные например на золоте). Если в качестве металлорезиста используется гальванический сплав олова-свинца, он может быть оплавлен для получения сплава, длительно сохраняющего способность к пайке.

УДАЛЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА



фоторезист удаляется, оставляя металлорезист на проводниках и в отверстиях, и обнажает медь в пробельных местах (зазорах). Медь, покрытая металлорезистом, останется не вытравленной и формирует топологию слоев платы.

ТРАВЛЕНИЕ МЕДИ



На этом этапе металлорезист защищает медь от травления. Незащищенная медь растворяется в травящем растворе, оставляя на плате рисунок будущей схемы.

УДАЛЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЗИСТА ОЛОВО-СВИНЕЦ



Металлорезист удаляется с поверхности меди в специальном растворе. Это начало процесса, называемого SMOBC (solder mask over bare copper - маска поверх необработанной меди). В других процессах, например если нанесение защитной маски не осуществляется, оловянно-свинцовая смесь оплавляется для дальнейшего использования (лужение).

НАНЕСЕНИЕ ПАЯЛЬНОЙ МАСКИ



Для защиты поверхности платы наносится паяльная маска- электроизоляционное нагревостойкое покрытие. Существует несколько типов масок и методов ее нанесения, фоточувствительные композиции могут быть жидкими и пленочными. Тогда маска наносится и обрабатывается методами фотолитографии, т.е. теми же способами, что и фоторезист. Этот процесс обеспечивает высокую точность совмещения. Способ трафаретной печати не обладает такой точностью, но этот процесс более производителен в массовом производстве.

ОБЛУЖИВАНИЕ МОНТАЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ HAL-ПРОЦЕСС (hot air leveling - выравнивание горячим воздухом)



Открытые маской участки меди (монтажные отверстия, контактные площадки) облуживаются горячим припоем методом погружения. Чтобы не оставлять на плате натеков припоя и освободить отверстия от припоя, плата при изъятии из ванны облуживания обдувается горячими воздушными ножами. Кроме сдувания излишков воздушные ножи выравнивают припой на поверхностях контактных площадок и монтажных отверстий. Теперь плата готова для заключительных этапов: нанесения надписей (трафаретная печать или фотолитография), обрезки по контуру, тестированию и упаковке.

Process



- 1 MI
- 2 Drilling
- 3 Copper Deposition
- 4 Image the outer layers
- 5 Pattern Plating
- 6 Automatic Optical Inspection(AOI)
- 7 Solder Mask
- 8 Silkscreen
- 9 Hot Air Solder Leveling(HASL)
- 10 Electrical Test
- 11 Profiling,V-cut scoring
- 12 Final inspection



Production file

- | | |
|--|---------------------|
| | 2019-07-25 16:13:56 |
| | 2019-07-25 18:22:21 |
| | 2019-07-25 21:22:45 |
| | 2019-07-25 21:37:23 |
| | 2019-07-25 22:57:58 |
| | 2019-07-26 01:15:29 |
| | 2019-07-26 01:36:09 |
| | 2019-07-26 04:24:58 |
| | 2019-07-26 07:38:39 |
| | 2019-07-26 07:48:31 |
| | 2019-07-26 16:27:20 |
| | 2019-07-26 18:12:33 |

Перспективные пути минимизации ПП

Технологии внутреннего монтажа

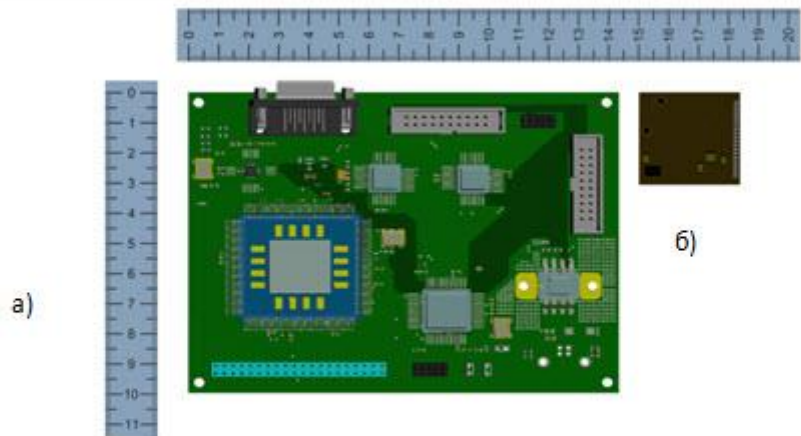
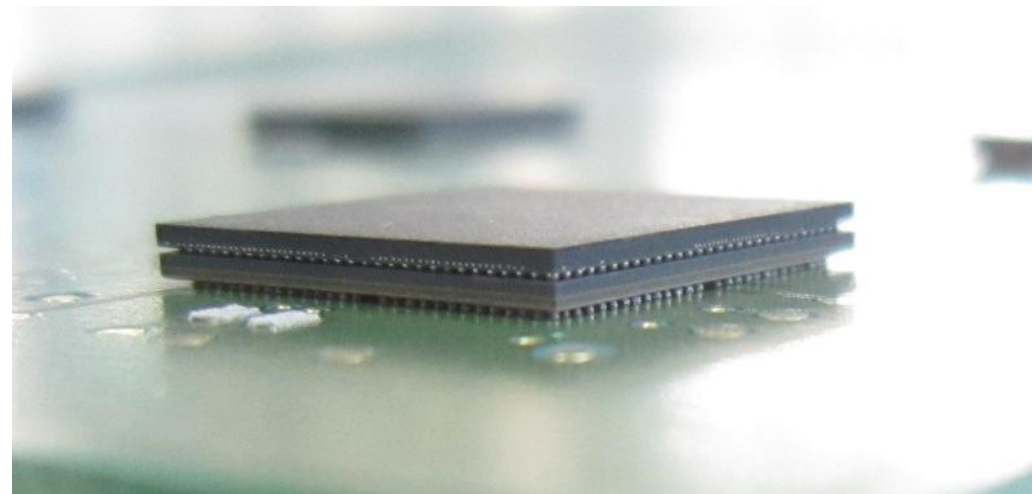


Рисунок 2. Сравнение габаритов моделей изделия МКМ беспроводной передачи данных выполненных: а) по традиционной технологии в корпусном исполнении; б) по технологии внутреннего монтажа

Корпус на корпусе (Package on package)



ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ



РЕЗОНИТ

КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ





AltiumTM

Занятие №3

ПРАКТИКА

Постановка задачи

1. Вспоминаем схемотехнику
2. Спроектировать схему для подключения МК
3. Спроектировать схему питания
4. Спроектировать схему периферийных устройств
5. Объединить спроектированные узлы
6. Скомпилировать проект (исправить ошибки, проверить ворнинги)

Схема подключения МК

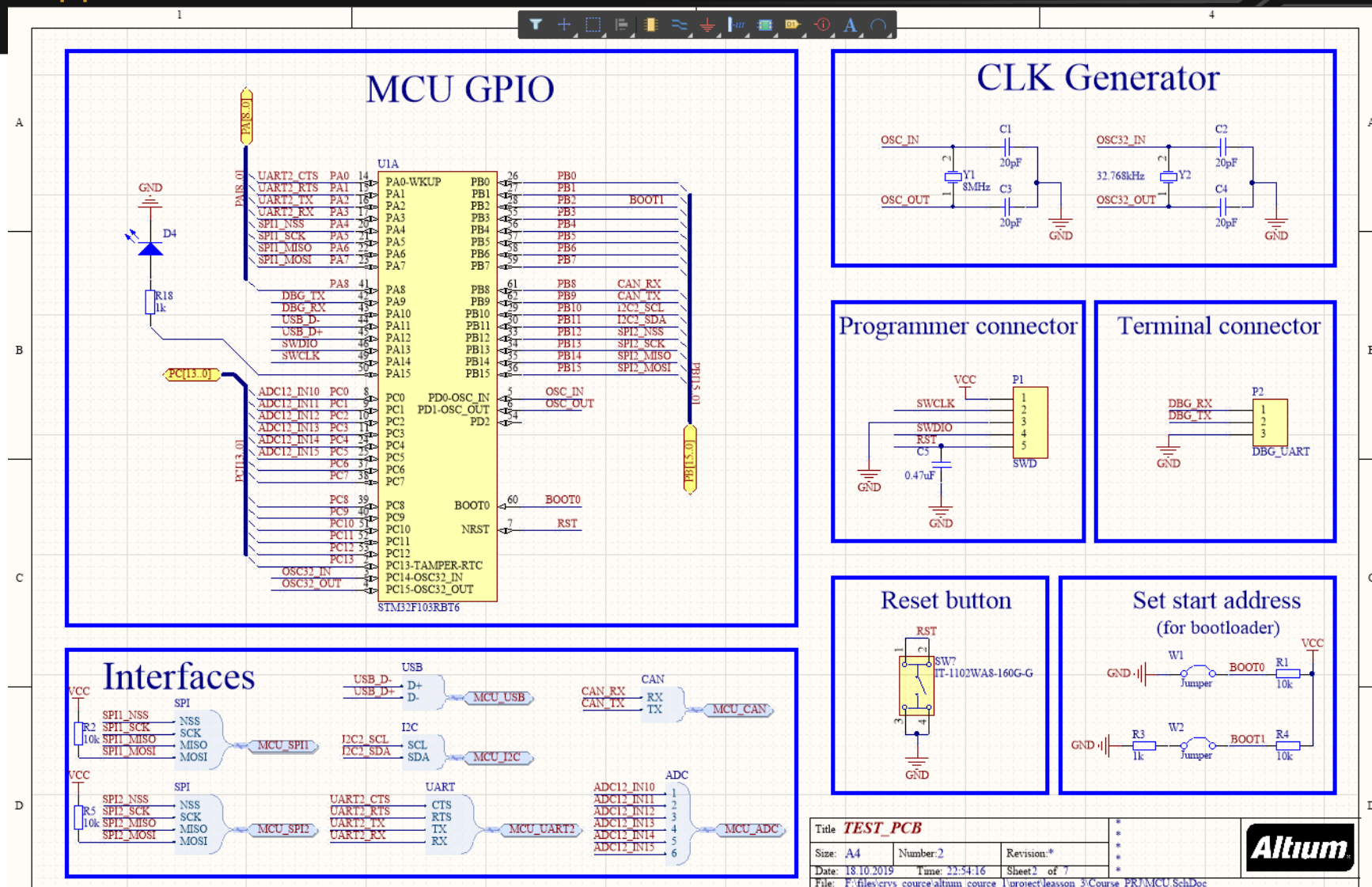
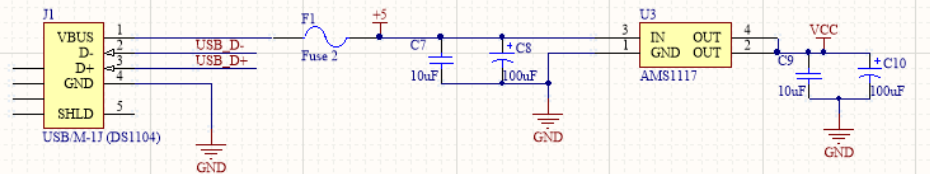
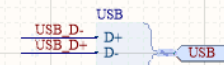


Схема питания

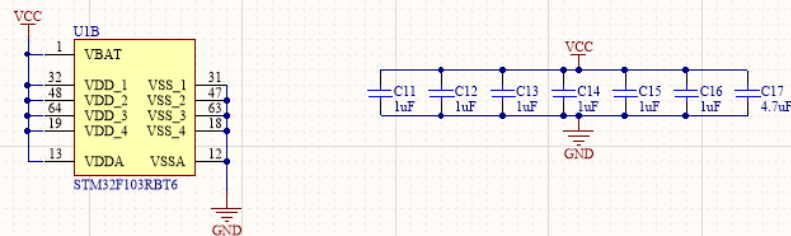
USB Connector with stabilization



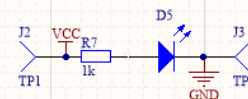
Interface



MCU Power



Indication



Title **TEST_PCB**

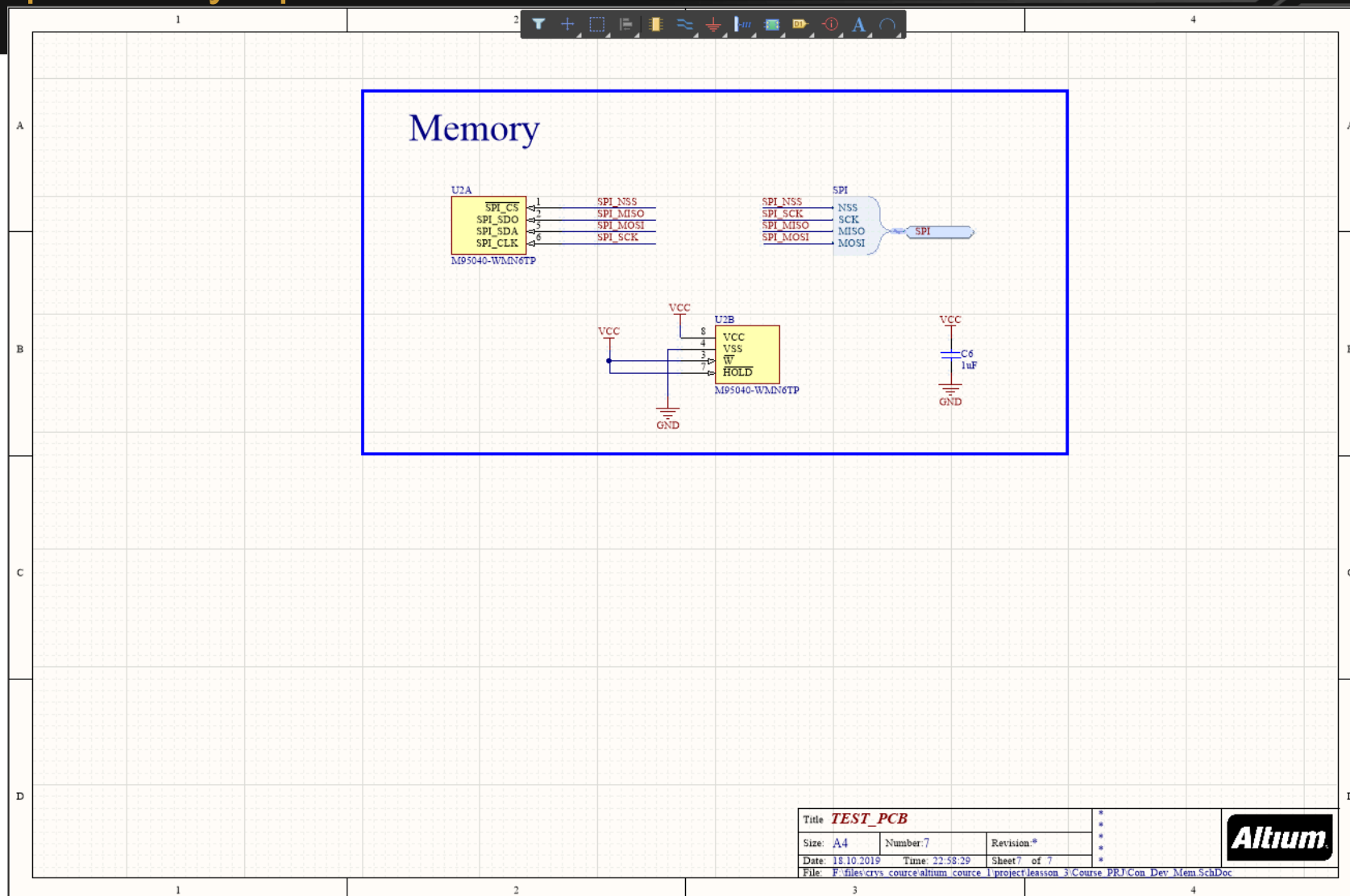
Size: A4

Number: 3

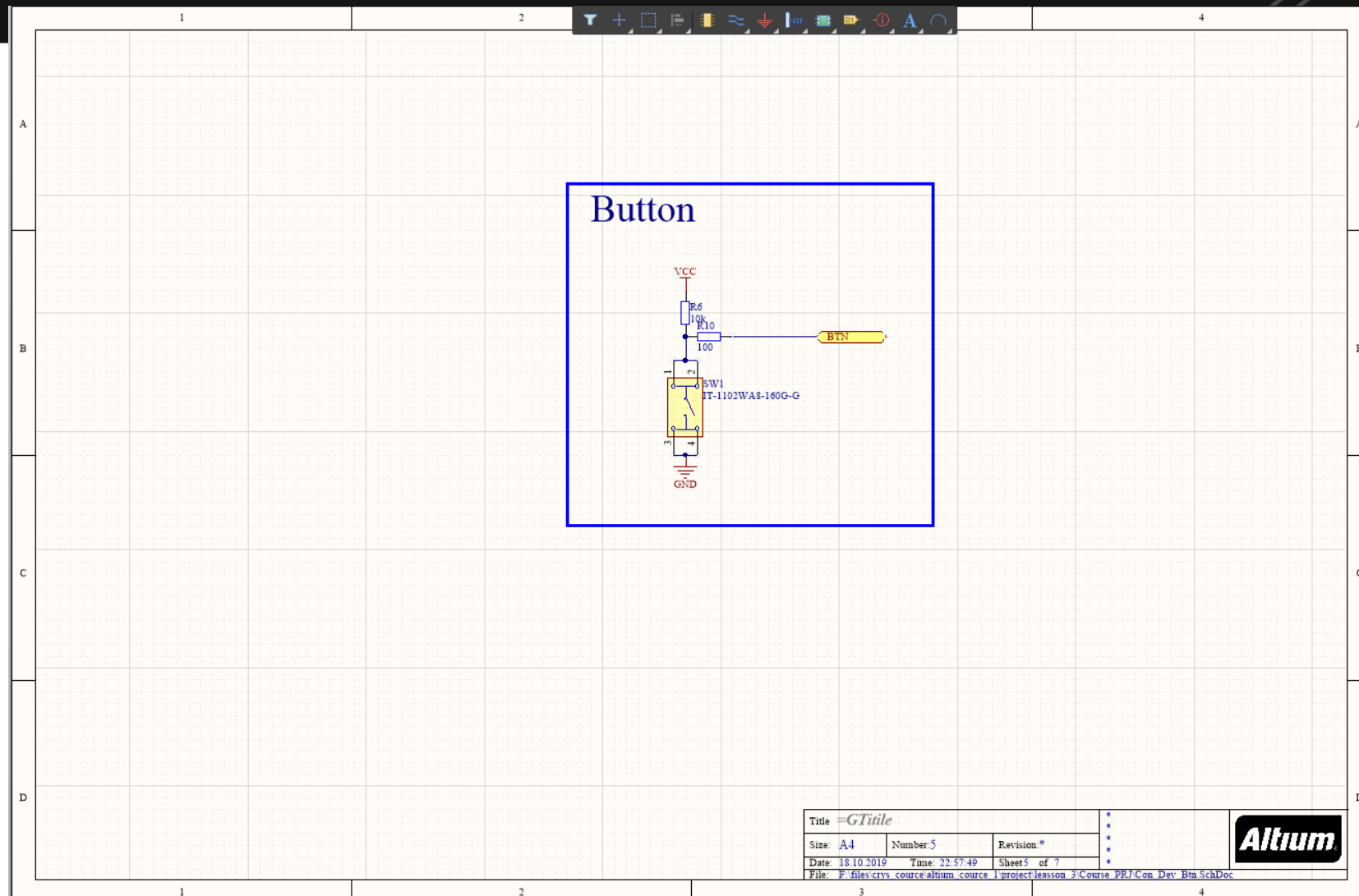
Revision: *

Altium

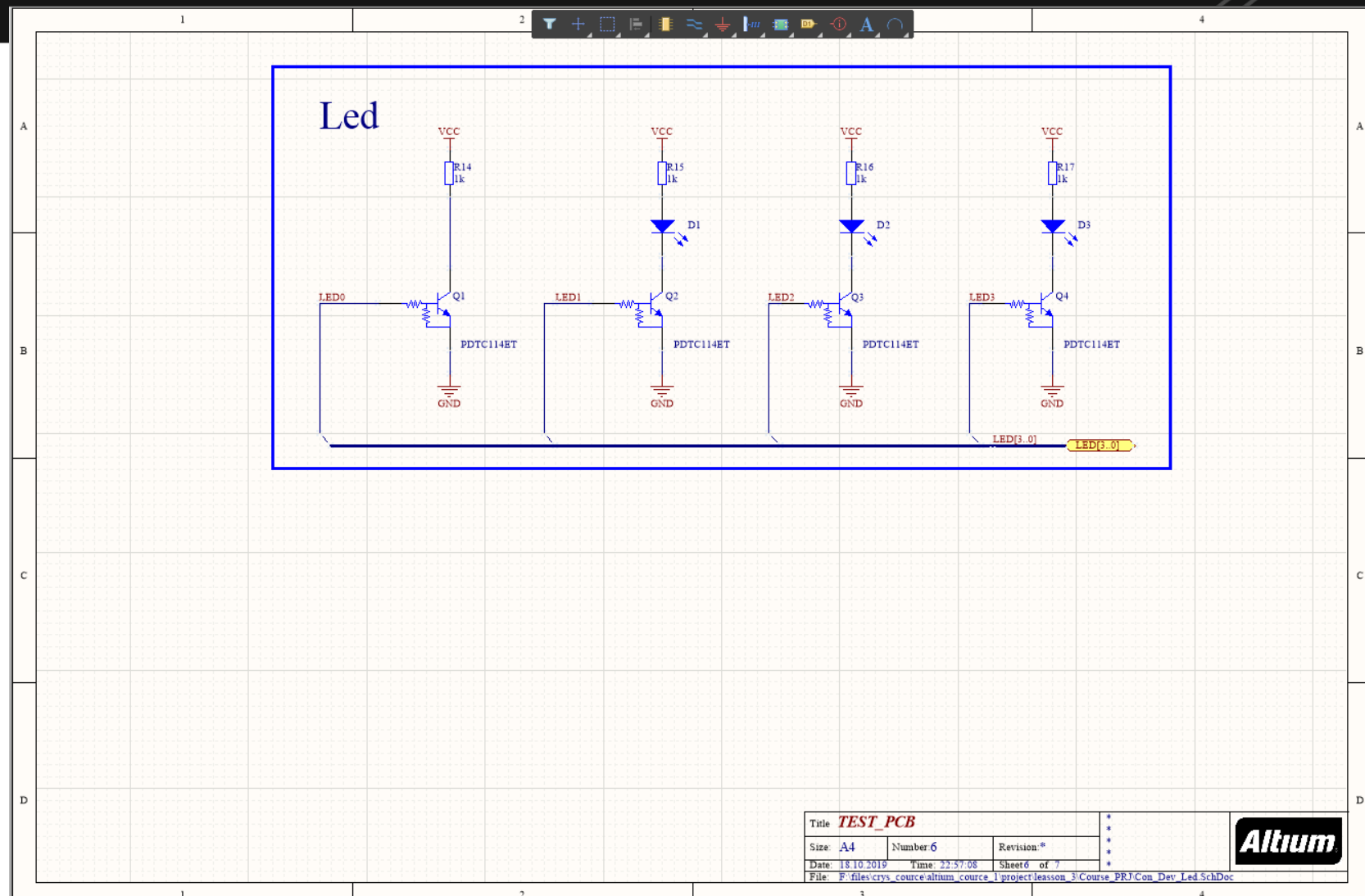
Периферийные устройства: память



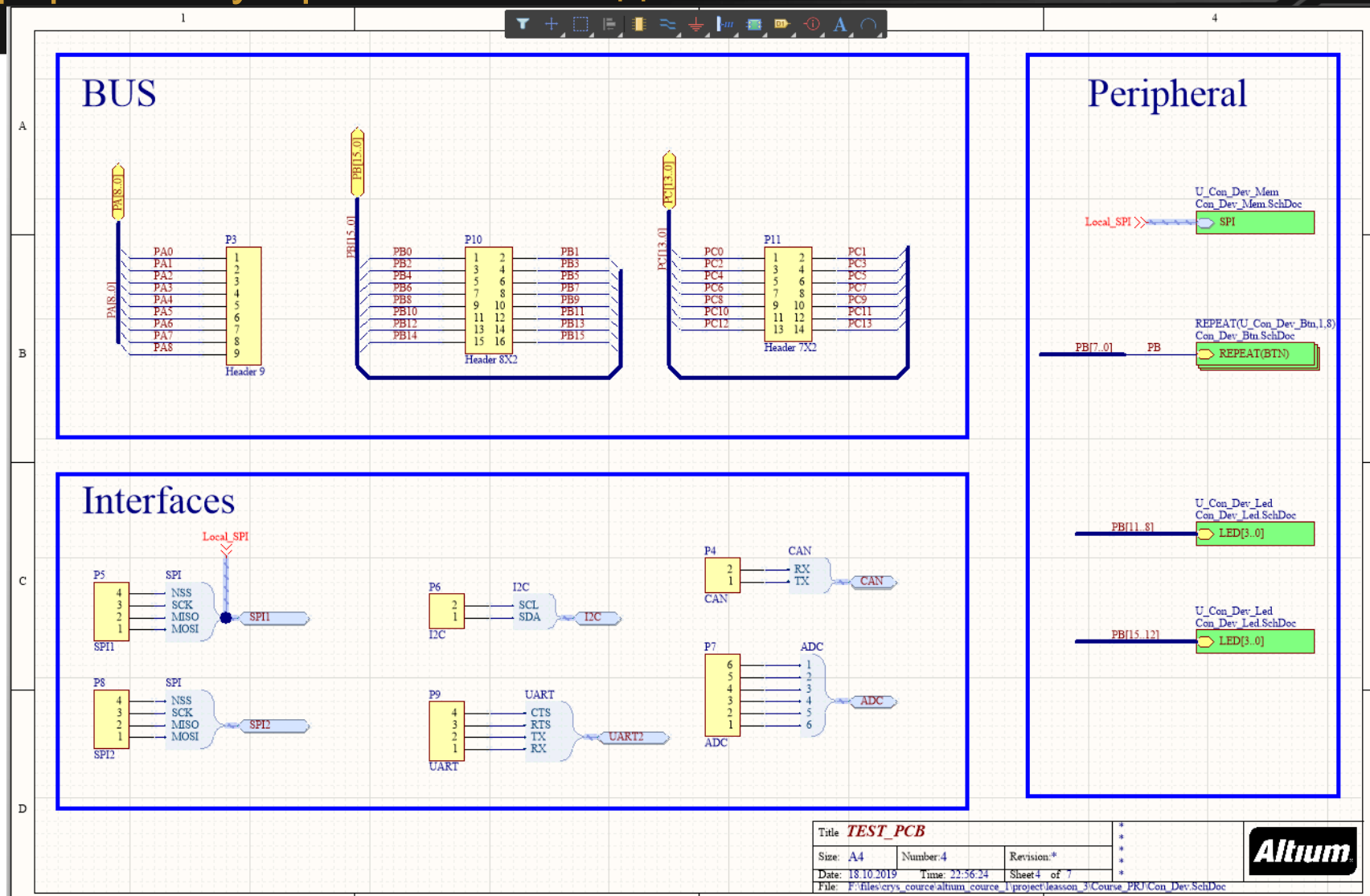
Периферийные устройства: кнопки



Периферийные устройства: светодиоды



Периферийные устройства: объединяем

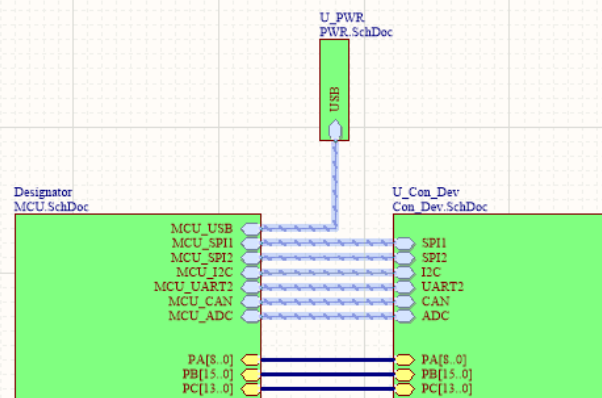



Объединяем блоки

Copyright by Vladimir Khrustalev © 2019. ALL RIGHTS RESERVED.

This is example pcb board for student

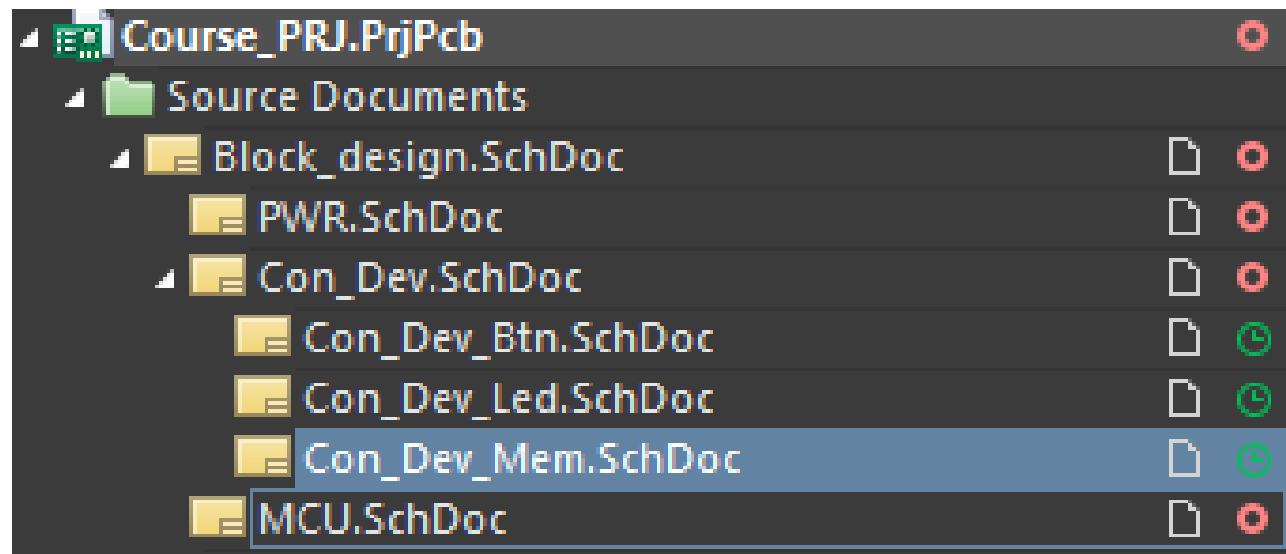
All source https://github.com/v-crys/AD19_C1_L1





Title TEST_PCB			* * * *	
Size: A4	Number: 1	Revision: *		
Date: 18.10.2019	Time: 23:05:18	Sheet 1 of 7		
File: F:\files\crvs_source\altium_source\1\project\lesson_3\Course_PRJ\Block_design\SchDoc				



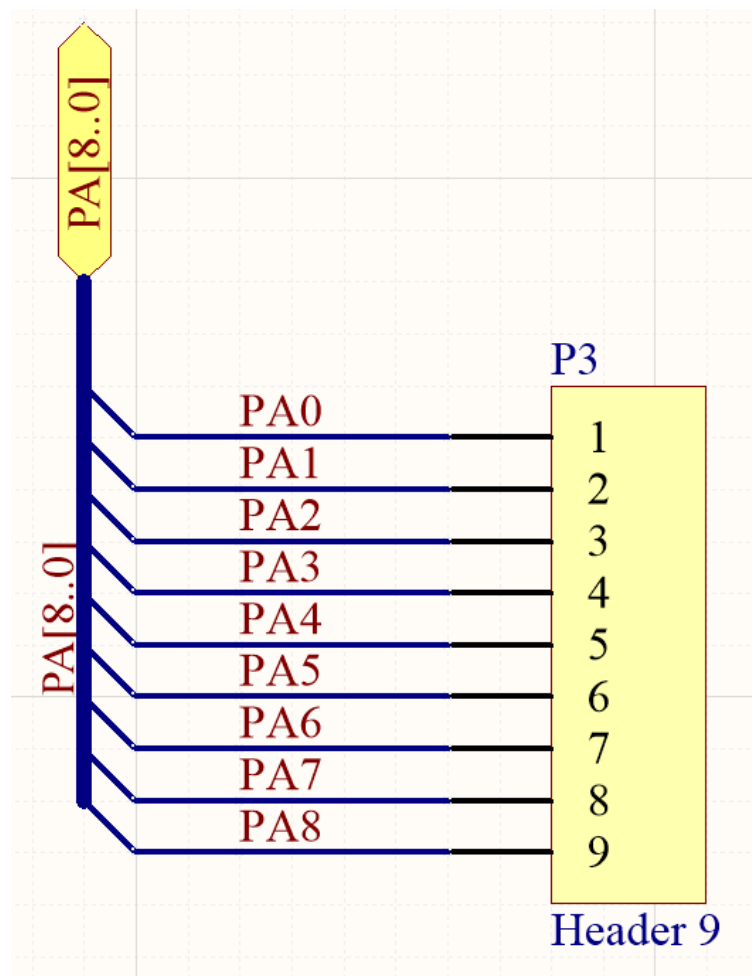
Структура полученного проекта



Компилируем

Messages							
Class	Document	Source	Message	Time	Date	No.	
 [Warning]	MCU.SchDoc	Compiler	Net BOOT0 has no driving source (Pin R1-1,Pin U1-60,Pin W1-2)	23:14:06	18.10.2019	1	
 [Info]	Course_PRJ.PrjPcb	Compiler	Compile successful, no errors found.	23:14:06	18.10.2019	2	

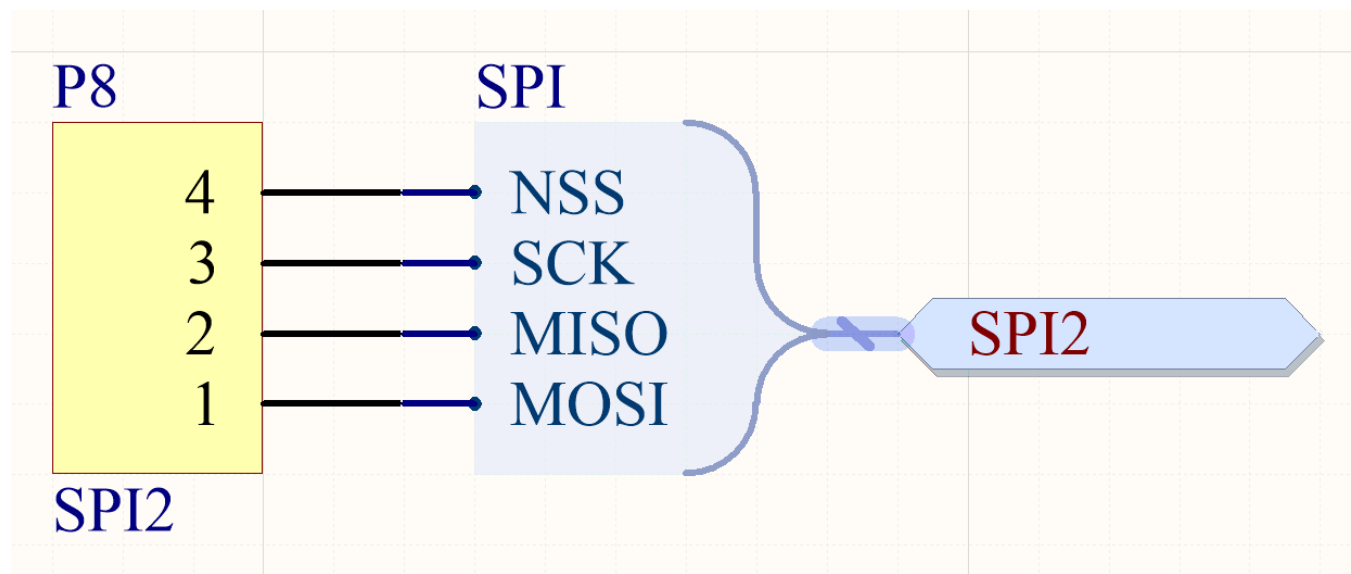
Обратите внимание!!!



Шина должна иметь:

- 1) Название на каждом проводе**
- 2) Вход в шину от проводов**
- 3) Название на самой шине!!!**
- 4) Префикс должен совпадать**

Обратите внимание!!!



Жгут должен иметь:

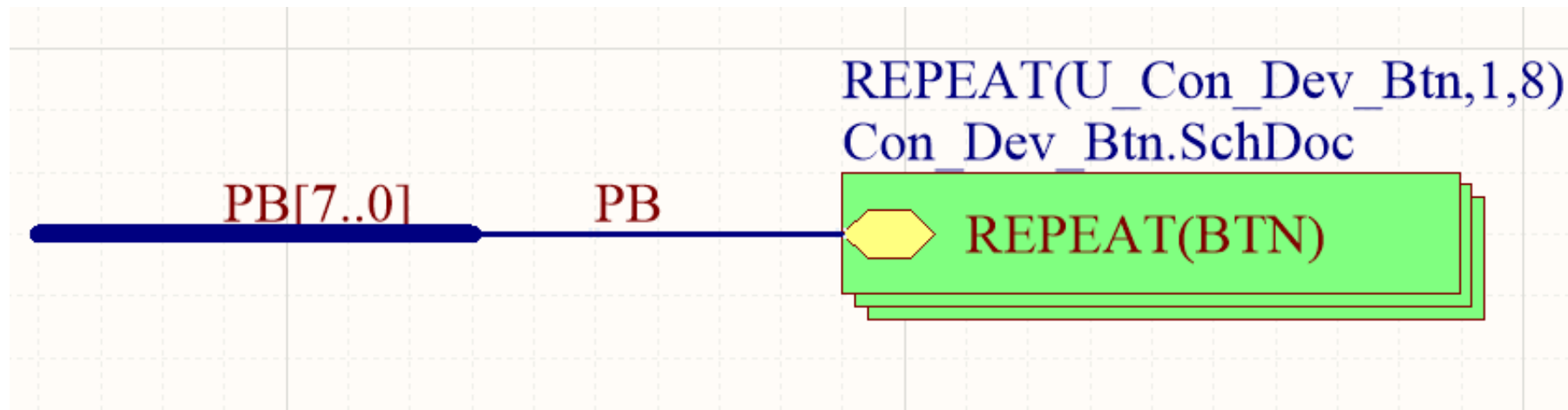
- 1) Название
- 2) Точки подключения
- 3) Различные названия сигналов

Жгут позволяет объединять:

- 1) разнородные провода
- 2) Шины
- 3) Другие жкuty

Является иерархической структурой проводников!

Обратите внимание!!!



В Altium есть возможность циклического дублирования блоков. Для этого используется оператор REPEAT.

- 1) Если необходимо объединить одни и те же порты у всех модулей – REPEAT у названия порта писать не нужно**
- 2) Если необходимо вывести все порты в шину, необходимо использовать REPEAT в названии порта, вывести провод, который переходит в шину и корректно их назвать. (см. Рис)**

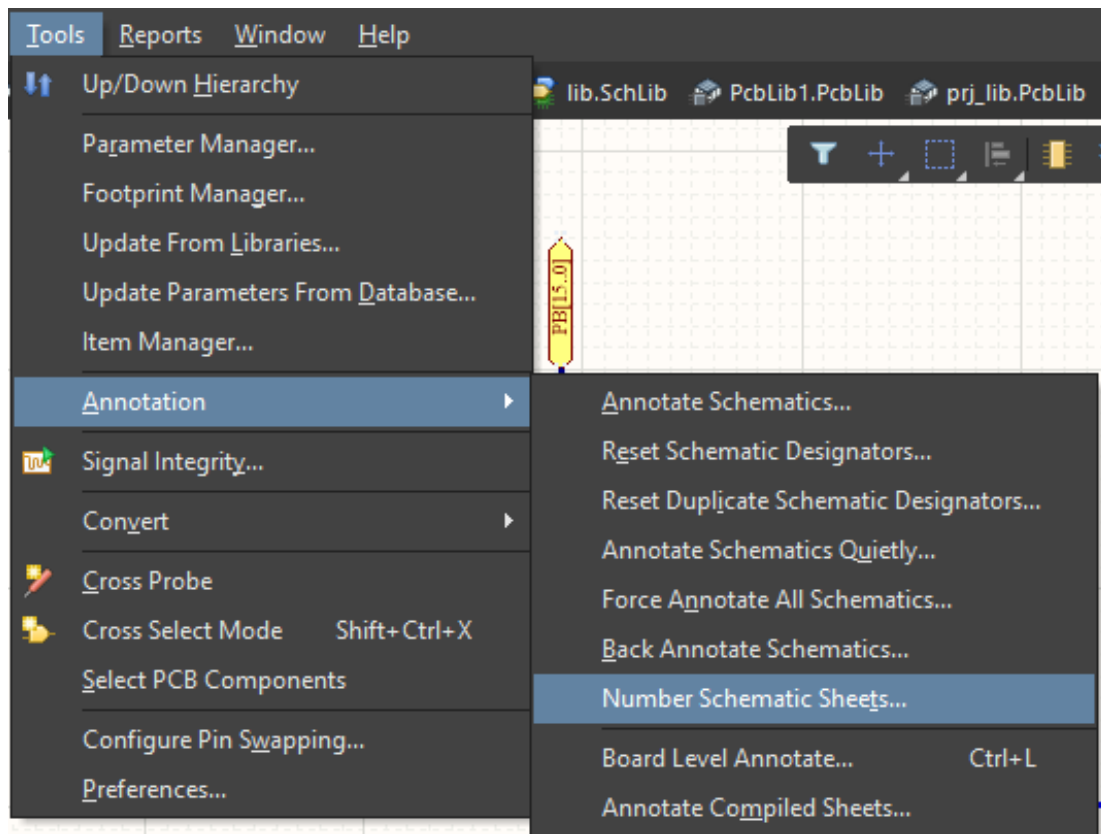
Обратите внимание!!!

Названия проводников, шины, порты и жгуты имеют различные области видимости в проекте. Область видимости может задана в настройках альтиума. По умолчанию альтиум автоматически определяет область видимости элементов исходя из определенных правил.

В сложном иерархическом проекте следующие области видимости по умолчанию:

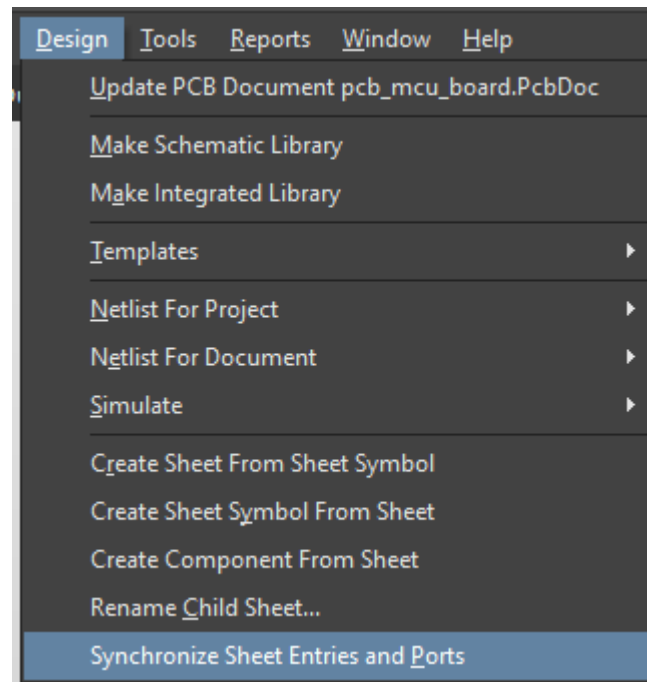
- 1) Названия проводников: внутри листа
- 2) Межсетевой соединитель: среди листов в горизонтальной плоскости проектов
- 3) Порты и жгуты: в вертикальной плоскости проекта (соединяются на более высоком уровне)

Обратите внимание!!!



Соблюдайте корректную нумерацию!

Обратите внимание!!!



**Соблюдайте соответствие
портов внутри схемы и
снаружи ее**

Обратите внимание!!!

Используйте GIT!

**Думайте о том,
что вы делаете**

**Решайте возникающие
проблемы, а не
закрывайте на них глаза**

Экспериментируйте

Читайте документацию



AltiumTM

**Спасибо за внимание,
спасибо за старания!**

GitHub https://github.com/v-crys/AD19_C1_L1