

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина

**Методические указания к выполнению курсового проекта**  
**«Проектирование гибко-жестких печатных плат в Altium Designer»**

**По курсу**  
**«Проектирование печатных плат»**

Москва, Зеленоград

2024

## Оглавление

Оглавление .....	2
Общая информация .....	3
Определение компоновки проекта .....	4
Определение стека .....	5
Определение гибких и жестких зон .....	9
Особенности подготовки правил разводки топологии .....	20
Особенности разводки топологии .....	23
Добавление механических элементов крепежа.....	26
Особенности выпуска комплекта конструкторский документации .....	28
Литература .....	35

## Общая информация

В данном указании описано как с помощью Altium Designer спроектировать гибко-жесткую (Rigid-Flex) печатную плату. Гибко-жесткая печатная плата состоит из нескольких областей с различным стеклом, что позволяет выделить жесткие (Rigid) и гибкие (Flex) зоны. Гибко-жесткую печатную плату может быть полезно применять в случаях, когда изделие должно иметь сложную объемную структуру или необходимо вписаться в малый объем, а разбиение на несколько маленьких печатных с добавлением соединителей необоснованно усложняет изделие с одновременным снижением его надежности. Гибкие части в этом случае выступают в роли шлейфов между участками и при этом обладают достаточной прочностью.

Другое частое применение гибко-жестких печатных плат – размещение выносных датчиков на гибких частях или размещение некоторых компонентов на некоторой сложной по форме поверхности.

При проектировании опирались на рекомендации ООО «Резонит» [12, 13].

В текущем методическом указании приведены не все использованные приемы разводки топологии и выпуска конструкторской документации на печатный узел, показаны только особенности построения проекта с гибко-жесткой печатной платой.

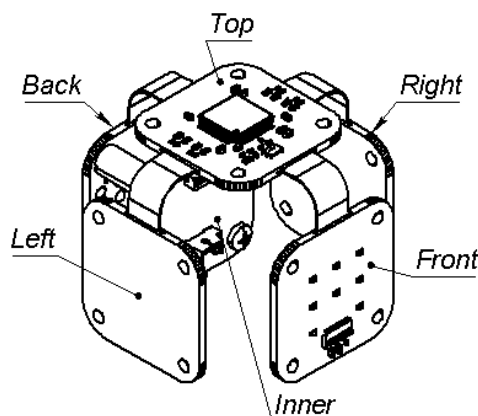
Последняя версия данного методического указания вместе с остальными по предмету «Проектирование печатных плат» находится на github в отдельном репозитории автора [6].

## Определение компоновки проекта

При проектировании гибко-жестких плат необходимо как можно раньше определиться с компоновкой печатной платы, расположением основных компонентов и геометрией гибких и жестких зон.

Нужно помнить, что проектирование печатной платы в САД-системах идет в развертке и последующие правки на разведенной гибко-жесткой печатной плате как правило гораздо сложнее, чем у обычных жестких плат.

Решено спроектировать небольшое автономное цифровое устройство, центральным мозгом которого является микроконтроллер STMicroelectronics STM32F103RBT6 [14]. Компоновка выбрана в виде пяти одинаковых граней кубика (кроме нижней грани) плюс дополнительная внутренняя грань. На передней грани расположен разъем для подключения TFT-экрана (в проект печатной платы не входит) через FPC-разъем Molex 503480-1000 [15] и модуль подсветки на контроллере Texas Instruments TPS61160DRVT [16] с восемью светодиодами Vishay VLMW1300 [17]. На боковых гранях расположены по четыре контактные части под мембранные кнопки. Микроконтроллер расположен на верхней грани. На задней грани располагается вертикальный USB-C разъем Molex 217182-0001 [18] для подачи управления и зарядки, а также служебные кнопки и контактные точки для шлейф-зонда Tag-Connect TC2030-CTX-NL-STDC14 [19], совместимого с программатором STMicroelectronics STLINK-V3 [20]. На внутренней грани расположены основной контроллер зарядки и питания Analog Devices LTC4067EDE [21] и трехпиновый разъем Molex 53398-4003 [22] для подключения LiPol-аккумулятора с контролем нагрева. Сам LiPol-аккумулятор располагается в получающемся внутреннем объеме и в проект печатной платы не входит. Предлагаемая компоновка показана ниже.

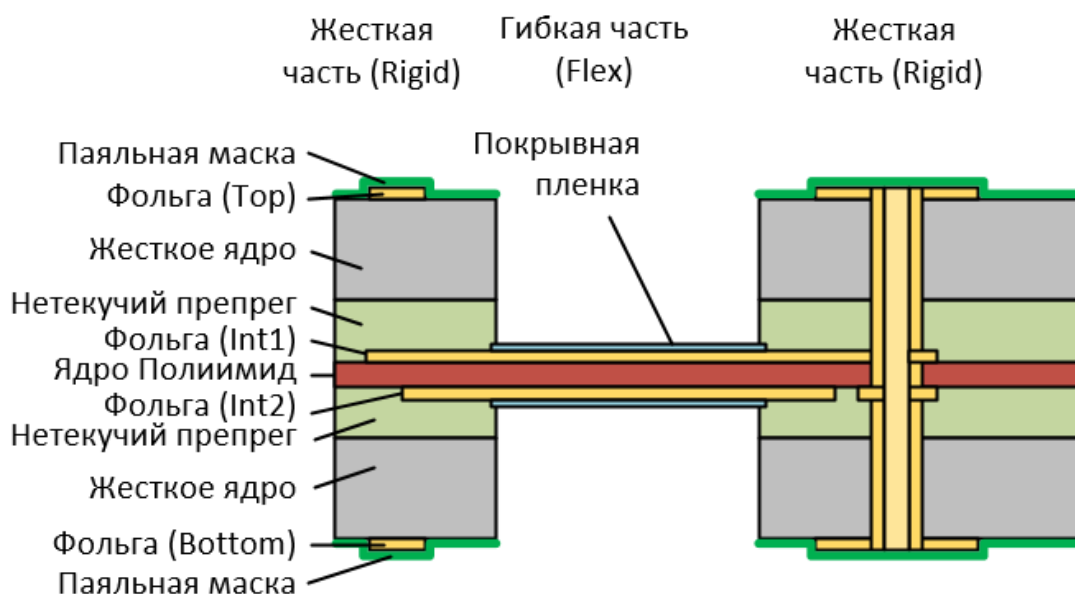


## Определение стека

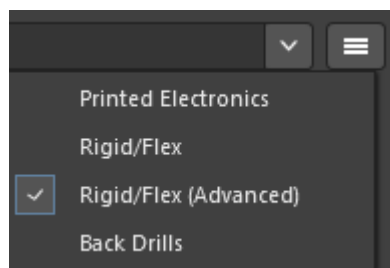
Проектируемое устройство довольно простое, поэтому воспользуемся минимальным по сложности стеком гибко-жесткой платы, где жесткая часть четырехслойная, а гибкая – двухслойная.

Общий вид стека показан на рисунке ниже. Несмотря на то, что технология позволяет изготавливать гибко-жесткие печатные платы с несимметричным стеком, гораздо технологичнее будет, если стек сделать симметричным. Также гораздо технологичнее выходит, если жесткие части одинаковы по всей печатной плате.

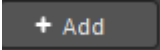
Полиимидная пленка выступает в качестве центрального ядра и находится во всех частях печатной платы. Соответственно, слои металлизации Int1 и Int2, накатанные вокруг полиимидного ядра, будут доступны на всей плате. Жесткая часть получается как бы наращенная поверх гибкого ядра через дополнительные препреги и слои металлизации Top и Bottom доступны для разводки только в жесткой части.

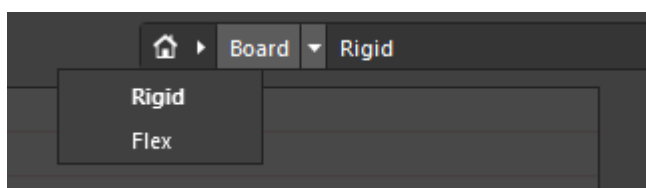


В Altium Designer в последних версиях поддерживается два режима работы с гибко-жесткими платами. Включаются они в редакторе стека по кнопке ниже.



В режиме Rigid/Flex (Advanced) появляется возможность задать субстеки, а также их расположение по отношению друг к другу. Затем эти субстеки необходимо присвоить выделенным областям (Board Region) в печатной плате. Также в этом режиме гораздо удобнее задавать линии сгиба (Bending Lines).


По кнопке  создаются ветки (Branch) и субстеки (Substack). Множественные ветки в текущем проекте не нужны, будем добавлять субстеки к основной ветви Board. Определим два субстека Rigid для жесткой части, гибкий – Flex для гибкой. Полная схема созданные ветвей и субстеков показывается в выпадающем списке.



При выборе субстека на уровне основной ветви, можно его поименовать и дать описание, как показано ниже для жесткой части.

**Branch**

Branch Name: Board

Status:  Match

Realistic Ratio: ☐

**Substack**

Name: Rigid

Description: Жесткая часть

Material Usage: Common Individual

Далее отредактируем стек жесткой части. По ДЛКМ переходим в него. Исходя из рекомендаций ООО «Резонит» [12] определим его в следующем виде.

+ Add    Modify    Delete    Board   Rigid							
#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df
	Board Layer Sta...	SM-001	Solder Mask		0.0254mm	4	0.03
	Top Surface Fini...	Nickel, Gold	Surface Finish		0.004mm		
1	Top Layer	Cu	Signal	1oz	0.035mm		
	Dielectric 1	FR4 HiTg170	Core		0.51mm	4.7	0.016
	Dielectric 6	FR4_HiTg170 PR	Prepreg		0.069mm	4.2	0.017
	Dielectric 7	FR4_HiTg170 PR	Prepreg		0.069mm	4.2	0.017
	Adhesive 1	LF0100	Adhesive		0.025mm	3.6	0.02
2	Int1 (GND)	Cu	Signal	1/2oz	0.018mm		
	Dielectric 4	AP8545R	Core		0.1mm	3.4	0.002
3	Int (PWR)	Cu	Signal	1/2oz	0.018mm		
	Adhesive 2	LF0100	Adhesive		0.025mm	3.6	0.02
	Dielectric 3	FR4_HiTg170 PR	Prepreg		0.069mm	4.2	0.017
	Dielectric 5	FR4_HiTg170 PR	Prepreg		0.069mm	4.2	0.017
	Dielectric 2	FR4 HiTg170	Core		0.51mm	4.7	0.016
4	Bottom Layer	Cu	Signal	1oz	0.035mm		
	Bottom Surface...	Nickel, Gold	Surface Finish		0.004mm		
	Board Layer Sta...	SM-001	Solder Mask		0.0254mm	4	0.03
	Board Layer Sta...		Overlay				

Центральное ядро – полиимидная пленка толщиной 0,1 мм с толщиной фольги 18 мкм DuPont AP 8545R [23]. Поверх центрального ядра с обеих сторон укажем адгезивную пленку толщиной 25 мкм DuPont Pyralux LF0100 [24]. Далее по два слоя препрега FR-4 Tg170 толщиной по 69 мкм. В качестве жестких внешних ядер возьмем FR-4 Tg170 толщиной 0,51 мм с фольгой 35 мкм [25], при этом фольгу оставим только для внешнего слоя. Окончательно нанесем финишное покрытие ENIG (для гибко-жестких плат не рекомендовано использовать финишное покрытие опрaвлением припоем) и паяльную маску.

В жесткой части в данном стеке доступны только сквозные отверстия.

После возвращаемся на корневой уровень и субстеку Flex переключаем режим материалов в Individual (т.к. они не будут по слоям совпадать с жестким стеклом) и также укажем ввод в пределы жесткого стека некоторых элементов гибкой части на 0,5 мм (Intrusion).

При правке гибкого субстека удалим все слои до адгезива. Затем с обеих сторон нанесем покрывную пленку (Coverlay) DuPont Pyralux LF0110 толщиной 25 мкм.

<div> <div>+ Add</div> <div>Modify</div> <div>Delete</div> </div> <div>Board Flex</div>								
#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df	Note
	Stack1 Top Cov...	FC-001	Coverlay		0.025mm	4	0.005	
	Adhesive 1	LF0100	Adhesive		0.025mm	3.6	0.02	
1	Int1 (GND)	Cu	Signal	1/2oz	0.018mm			
	Dielectric 4	AP8545R	Core		0.1mm	3.4	0.002	
2	Int (PWR)	Cu	Signal	1/2oz	0.018mm			
	Adhesive 2	LF0100	Adhesive		0.025mm	3.6	0.02	
	Stack1 Bottom...	FC-001	Coverlay		0.025mm	4	0.005	

Также этому субстеку необходимо включить галку Is Flex.

Также надо учесть, что переходные отверстия в используемом стеке в гибкой части доступны только по предварительному согласованию с технологом производителя, в базовой версии стека они недоступны. Т.к. в текущем проекте гибкая часть выступает в роли шлейфов между жесткими зонами без установки на нее компонентов, то нам это подходит.

В итоговом режиме, на верхнем уровне структура стека должна выглядеть приблизительно как показано ниже.

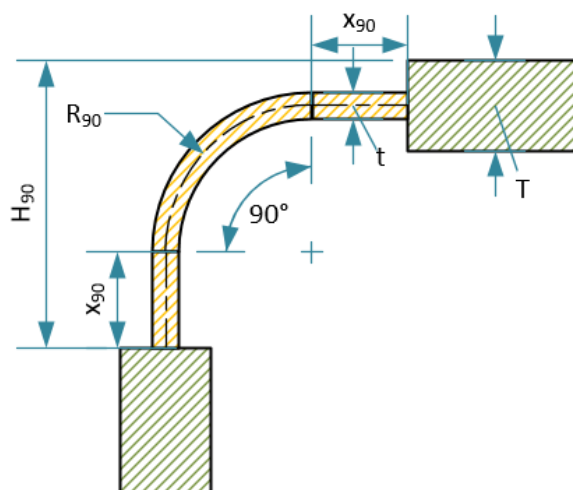


+ Add		Delete		Board ▶ Rigid			
Substack(s)	Rigid			Flex			
Layer Count	4			2			
Via Structure	Thru 1:4						
Surface Finish	ENIG			Not Defined			
Total Thickness	1.6108mm			0.23601mm			
Top Layer	Solder Mask		0.0254mm				
	Surface Finish		0.004mm				
	L1	Signal	0.035mm				
	Core		0.51mm				
	Prepreg		0.069mm				
	Prepreg		0.069mm				
Int1 (GND)	Adhesive		0.025mm				
	L2	Signal	0.018mm	L1	Signal	0.018mm	
	Core		0.1mm	Core		0.1mm	
Int (PWR)	L3		Signal	0.018mm	L2	Signal	0.018mm
	Adhesive		0.025mm	Adhesive		0.025mm	
	Prepreg		0.069mm	Prepreg		0.069mm	
	Prepreg		0.069mm				
	Core		0.51mm				
	Bottom Layer		L4	Signal	0.035mm		
		Surface Finish		0.004mm			
		Solder Mask		0.0254mm			
		Overlay					

Для дальнейших расчетов нам отсюда понадобятся толщины жесткой части  $T = 1,61$  мм и гибкой части  $t = 0,23$  мм.

### Определение гибких и жестких зон

После того, как определен стек и выбраны самые высокие компоненты, можно переходить к расчету и определению гибких и жестких зон. В проекте решено жесткие части выполнить в виде скругленных квадратов 30x30 мм. Зоны поворотов гибких частей на 90° углов решено построить так, чтобы поверхности плат создавали прямой угол со сдвигом  $H_{90} = 10$  мм, как показано ниже. Соответственно, можно посчитать, как будет выглядеть геометрия гибких участков для поворотов на 90° (показан вид сбоку для сгиба).



Можно вывести следующие соотношения размеров

$$H = x_{90} + R_{90} + T / 2, \text{ где}$$

$R_{90}$  - радиус сгиба областей под  $90^\circ$ ,

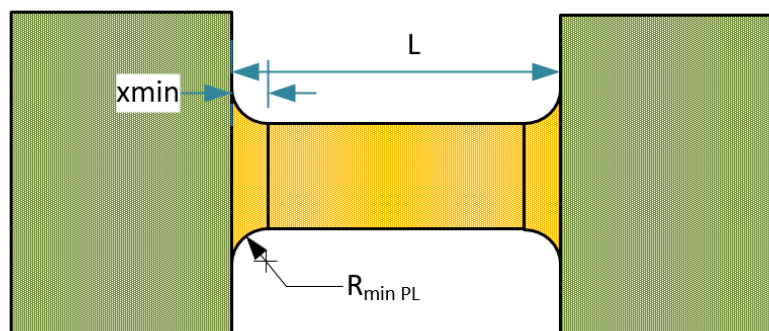
$x_{90}$  - отступ от зоны сгиба до жесткой части,

$T$  – толщина жесткой части пп.

Отсюда общая длина шлейфа на  $90^\circ$  получается из соотношения

$$L_{90} = 2x_{90} + \frac{2\pi R_{90}}{4}$$

Выбранное производство [13] требует либо иметь сглаженный переход от гибкой к жесткой части минимального радиуса 1 мм либо внедрить в твердую часть вырез минимального диаметра 1 мм. Мы остановимся на сглаженном переходе. Область этого перехода также не стоит сгибать, значит появляется дополнительное ограничение  $x \geq R_{\min PL} \geq 1 \text{ мм}$ . Общая длина шлейфа рекомендована не меньше 5 мм.



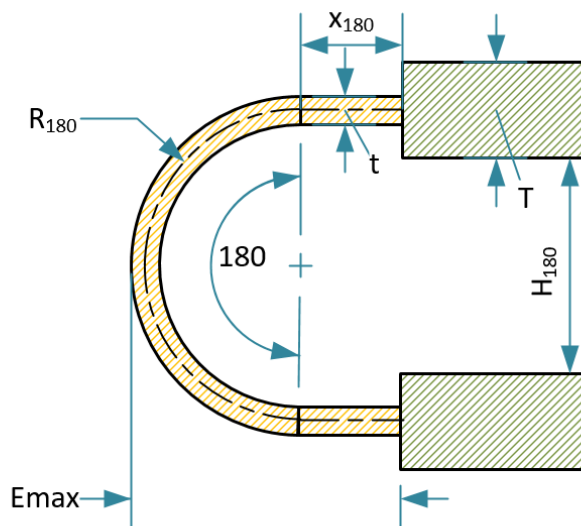
Также нужно помнить, что на радиус сгиба двуслойной гибкой части есть свое ограничение  $R \geq 10 \times t$ , где  $t$  – толщина гибкой части [13]. Если гибкая часть имеет более двух слоев, то требование минимального радиуса сгиба ужесточается до  $R \geq 20 \times t$ .

Отсюда можно вывести несколько соотношений, по которым будем выбирать длину шлейфа  $L_{90}$  и радиус сгиба  $R_{90}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{90} + R_{90} = H_{90} - T / 2 \approx 9,2 \text{ мм} \\ L_{90} = 2x_{90} + \frac{\pi R_{90}}{2} \\ x_{90} \geq 1 \text{ мм} \\ R_{90} \geq 10t \approx 2,3 \text{ мм} \\ L_{90} \geq 5 \text{ мм} \end{array} \right.$$

Для проектирования удобно, если шлейф имеет целую длину, пусть это будет значение  $L_{90} = 16 \text{ мм}$ . Отсюда можно вывести значение для радиуса сгиба  $R_{90} \approx 5,57 \text{ мм}$  и отступа  $x_{90} \approx 3,62 \text{ мм}$ . Оба эти значения проходят по ограничениям с запасом, что дает запас на неточность изготовления.

Для поворота на  $180^\circ$  можно вывести аналогичные соотношения исходя из рисунка, дополнительно проконтролировав, насколько торчит за пределы платы гибкий шлейф  $E_{180}$ . Расстояние  $H_{180}$  выберем равным 10 мм, чтобы можно было встречные платы соединить стандартной стойкой высотой 10 мм.

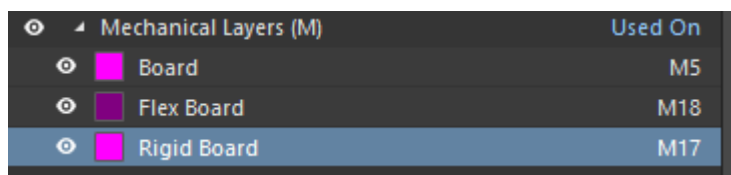


$$\begin{cases} 2R_{180} = H_{180} + T \approx 11,6 \text{ мм} \\ L_{180} = 2x_{180} + \pi R_{180} \\ E_{\max} = x_{180} + R_{180} < 10 \text{ мм} \\ x_{180} \geq 1 \text{ мм} \\ R_{180} \geq 10t \approx 2,3 \text{ мм} \\ L_{180} \geq 5 \text{ мм} \end{cases}$$

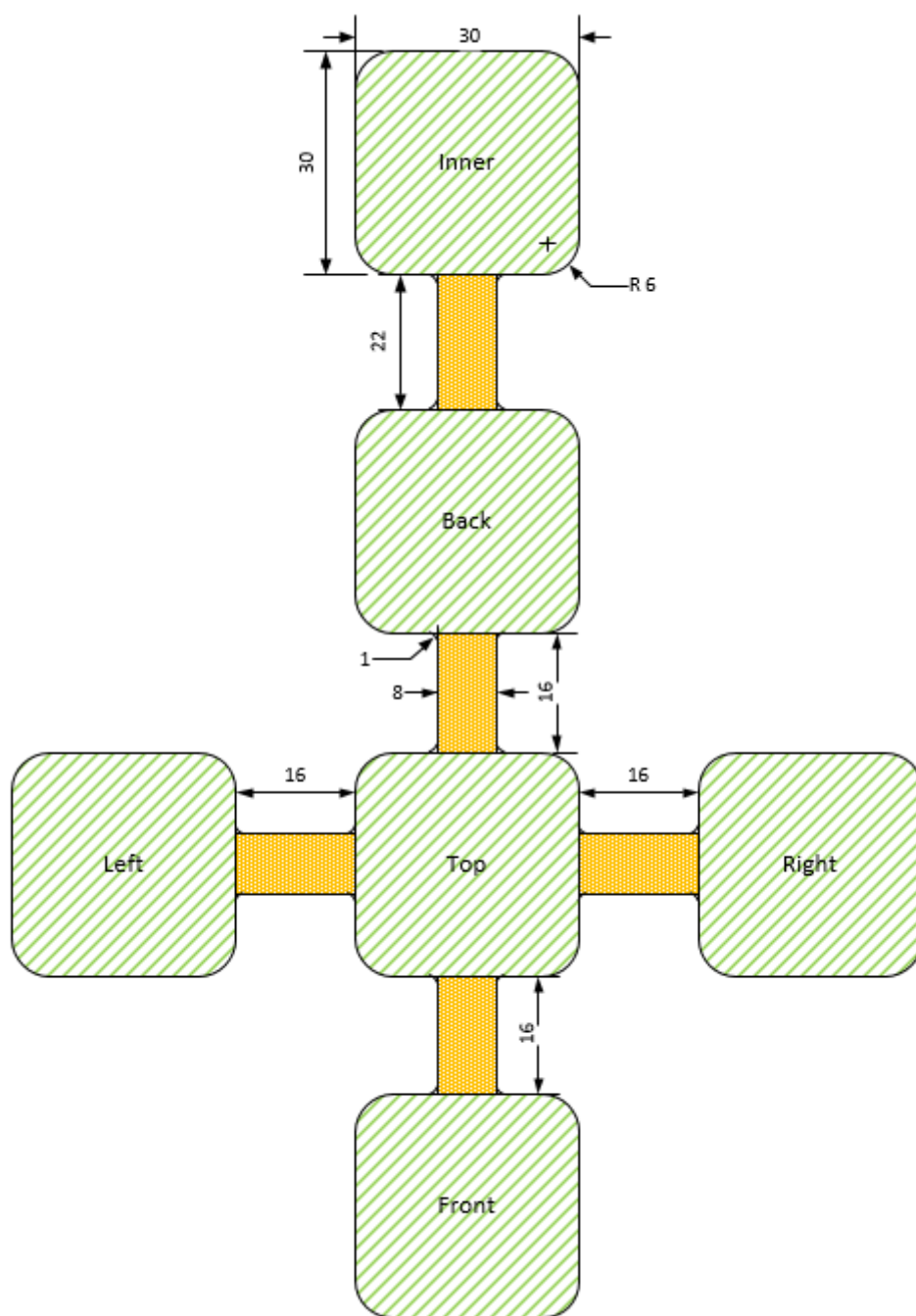
Здесь сразу получается радиус сгиба  $R_{180} \approx 5,8 \text{ мм}$ . Выберем длину шлейфа  $L_{180} = 22 \text{ мм}$ , тогда отступ выходит  $x_{180} \approx 1,9 \text{ мм}$  и шлейф торчит за пределы плат на  $E_{\max} = 7,7 \text{ мм}$ . По всем ограничениям проходим с запасом, что дает запас на неточность изготовления.

Можно переходить к указанию зон. Дальнейшее справедливо для режима гибко-жестких плат Rigid/Flex (Advanced).

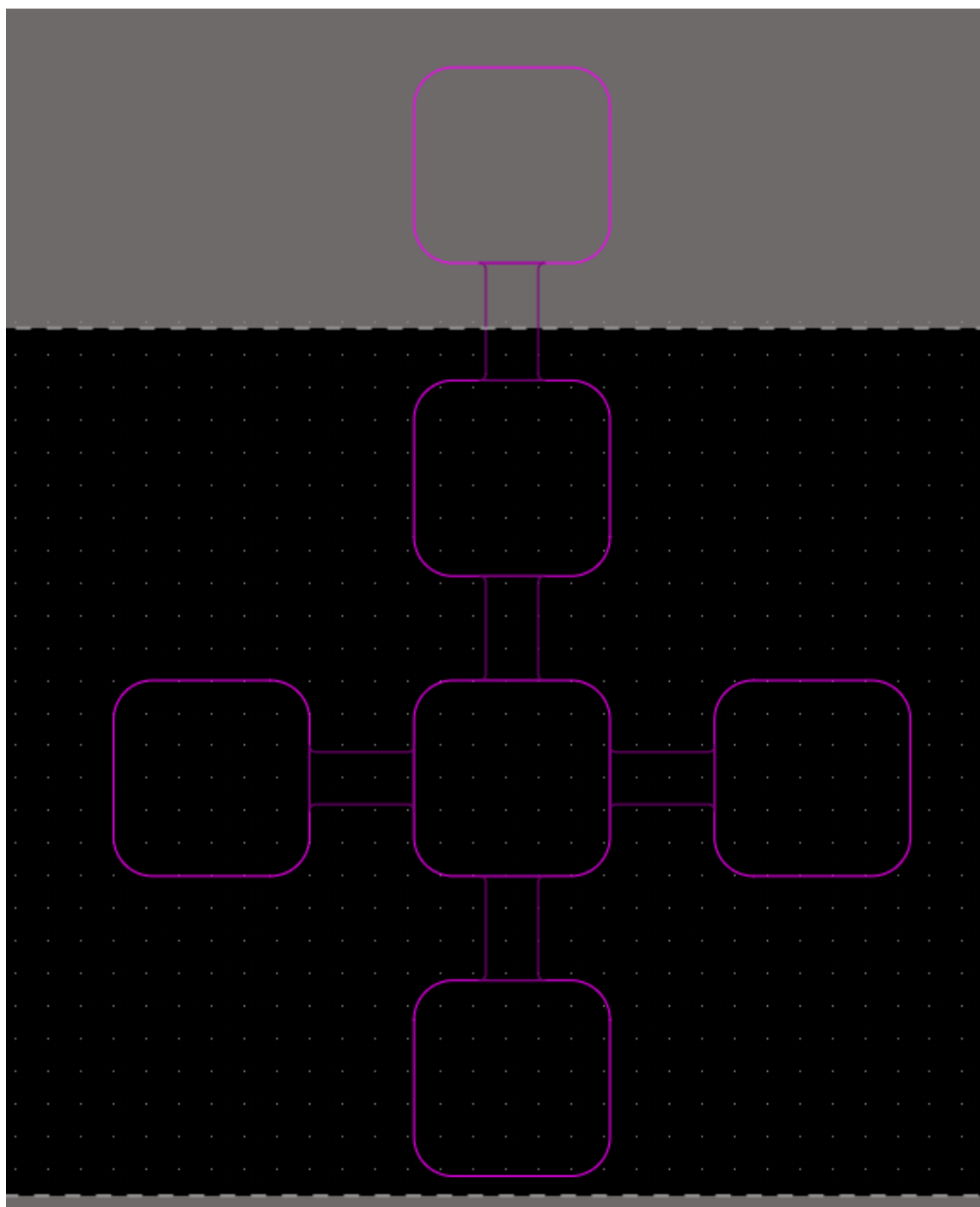
Для удобства формирования герберов и работы с зонами дополнительно к основному слою M5 Board, где будет находится общий контур печатной платы, доопределим два дополнительных механических слоя, M17 Rigid Board (только для жестких зон) и M18 Flex Board (только для гибких зон).



Гибко-жесткая печатная плата проектируется в развертке, поэтому общий вид развертки будет приблизительно следующим. Углы жестких зон сгладим радиусом 6 мм. Ширины шлейфов возьмем по 8 мм.

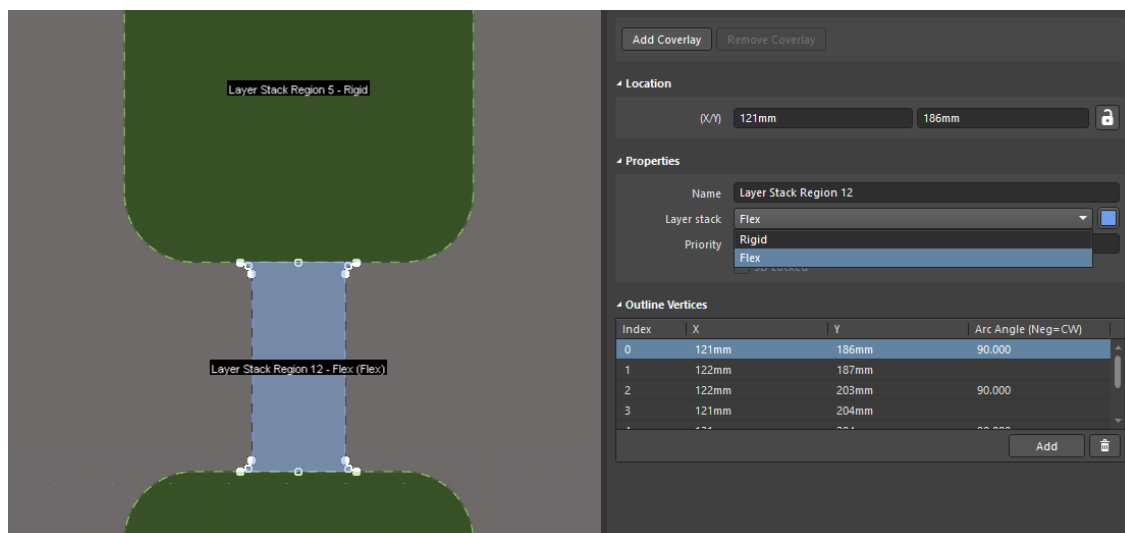


В слое Rigid Board создадим 6 сглаженных прямоугольников, а в слое Flex Board пять контуров шлейфов. В контурах шлейфов добавляем сглаживающие уголки.

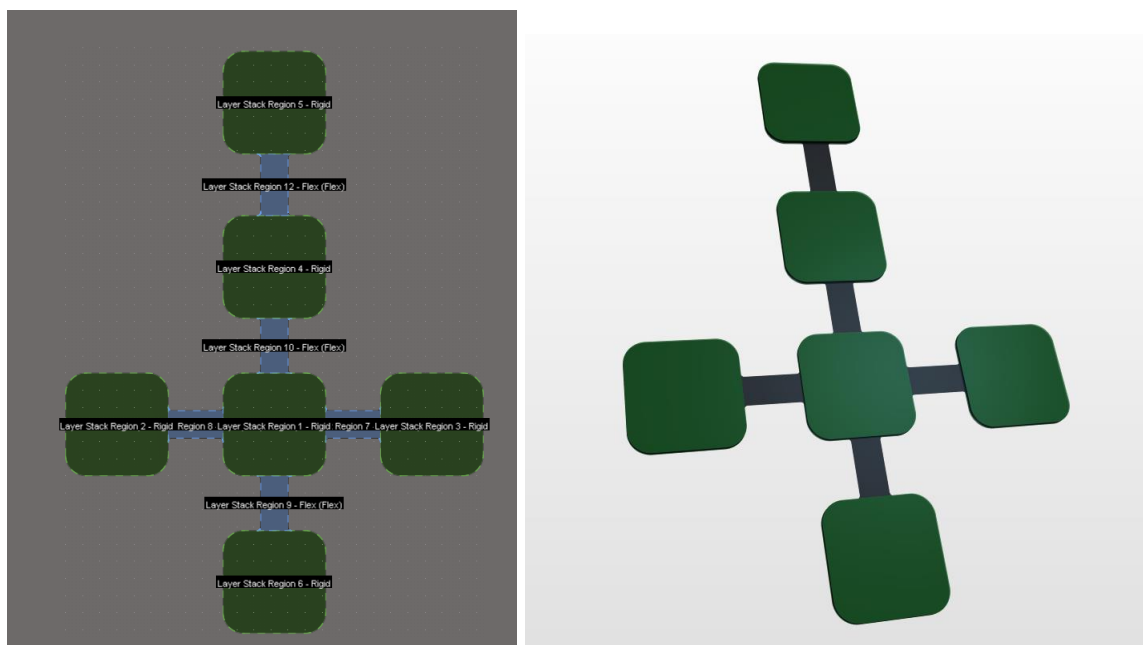


Далее выбираем последовательно контур каждой зоны и по команде Design – Board Shape – Create Board Region from Selected Primitives (D, S, R) создаем поочередно все зоны. При создании зон режим редактирования перескачет в Board Planning Mode (1), в котором также можно определять зоны. В этом режиме также можно определять зоны, но он не очень удобен для задания хоть сколько-нибудь сложных геометрий.

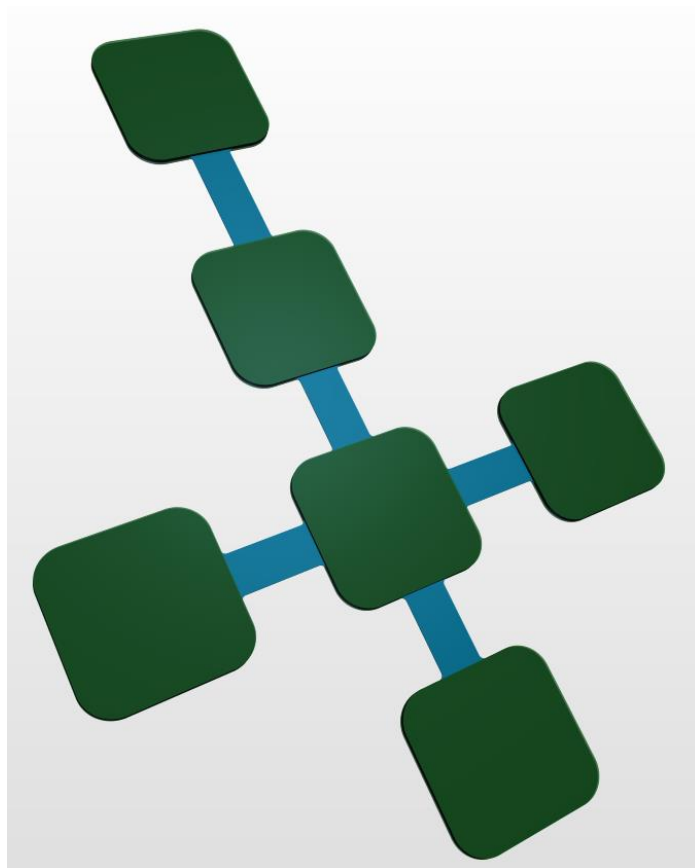
После создания всех зон, необходимо им всем задать нужный субстек. Жестким участкам присвоим субстек Rigid, гибким – Flex.



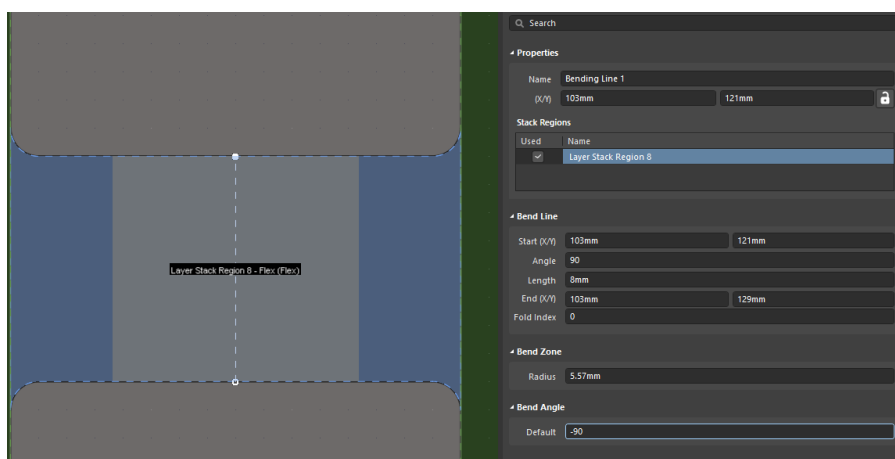
В режиме 3D-будет удобно проконтролировать разложение субстеков по зонам.



Также решено гибкие части закрывать защитной покрывной пленкой. В гибкой зоне зоне нужно выполнить команду ПКМ – Coverlay Actions – Add Coverlay или в свойствах субстека кнопка Add Coverlay. В 3D-режиме гибкие части с покрывной пленкой будут иметь голубой цвет.



Далее нужно задать шлейфам линии сгиба. Линия создается задается в режиме Board Planning Mode через команду Place – Define Bending Line (P, E). Их необходимо построить поперек гибких зон с привязкой к середине. В настройках указывается радиус и угол сгиба. Радиусы были посчитаны ранее (5,57 мм для углов 90°, 5,8 мм для 180°), знак углам введем отрицательным, чтобы направление сгиба было вглубь от плоскости экрана.

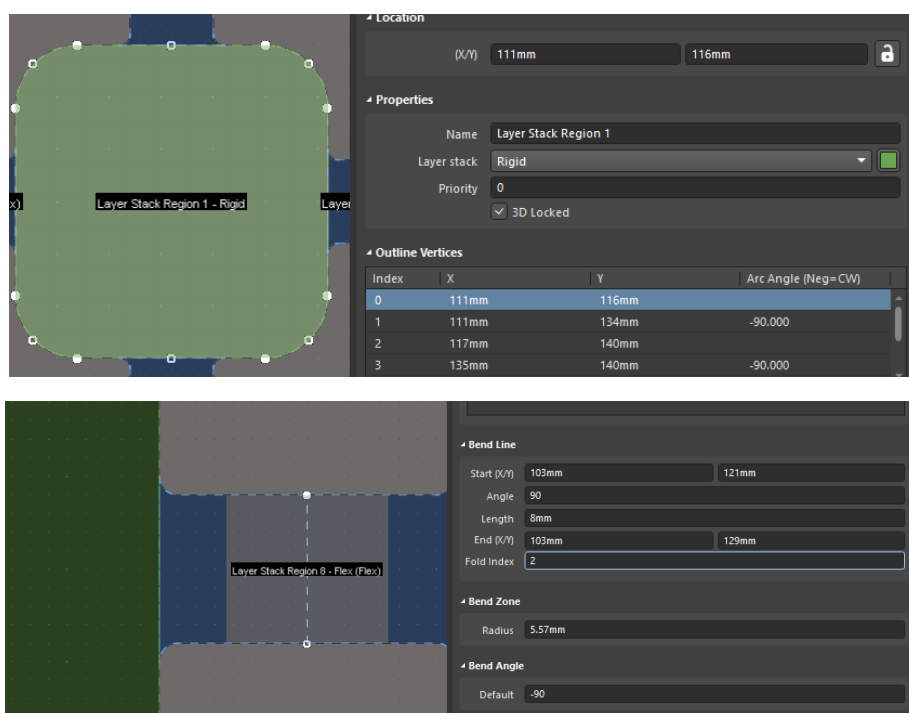


В режиме 3D можно по команде View – 3D View Control – Fold/Unfold (Num5) свернуть и развернуть гибко-жесткую печатную плату, чтобы увидеть, как она будет выглядеть в свернута в 3D.





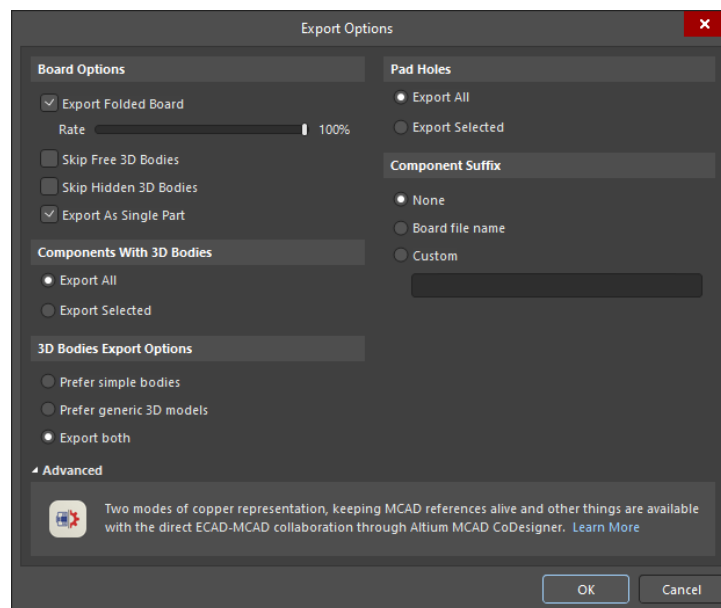
Дополнительно через две настройки еще можно управлять режимом сворачивания. В настройках жестких зон есть галка 3D Locked, с помощью которой можно выбрать, какая из жестких зон будет опорной (останется в плоскости экрана), тогда остальные будут сворачиваться относительно нее. В настройках линий сгиба есть поле Fold Index, целыми числами в котором указывается порядок выполнения сгибов.



Далее по идее можно переходить к собственно разводке топологии. Однако, прежде чем к этому переходить, стоит сначала в 3D проанализировать заготовку гибко-жесткой печатной платы в свернутом состоянии, чтобы убедиться, что проведенные выше вычисления размеров гибких зон и

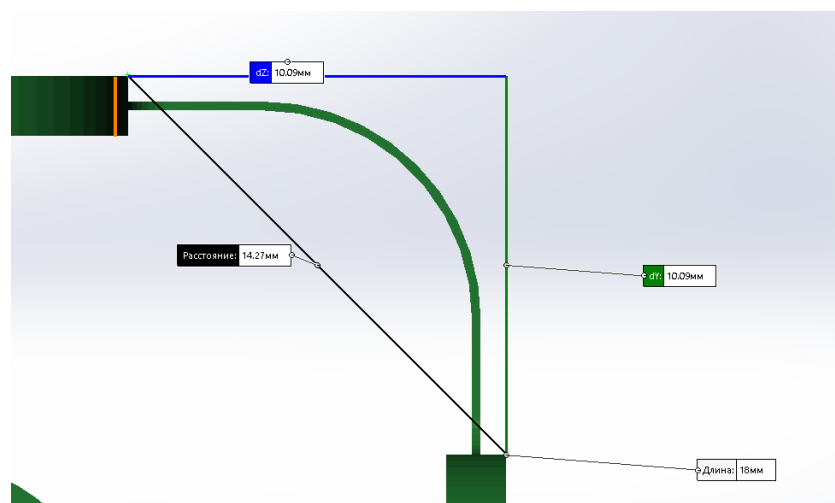
параметров линий сгиба корректны. К сожалению, 3D-режим в Altium Designer не позволяет удобно измерить размеры в 3D, для этого придется перенести ее в механический САПР.

По команде File – Export – Step 3D экспортируем заготовку печатной платы в формат step и проанализируем его в MCAD. После указания имени экспортированного файла в окне настроек экспорта укажем, что плату надо экспортировать в свернутом состоянии Export Folded Board и единой деталью Export As Single Part. Остальные настройки на текущем этапе не имеют значения, т.к. компонентов на печатной плате еще нет.

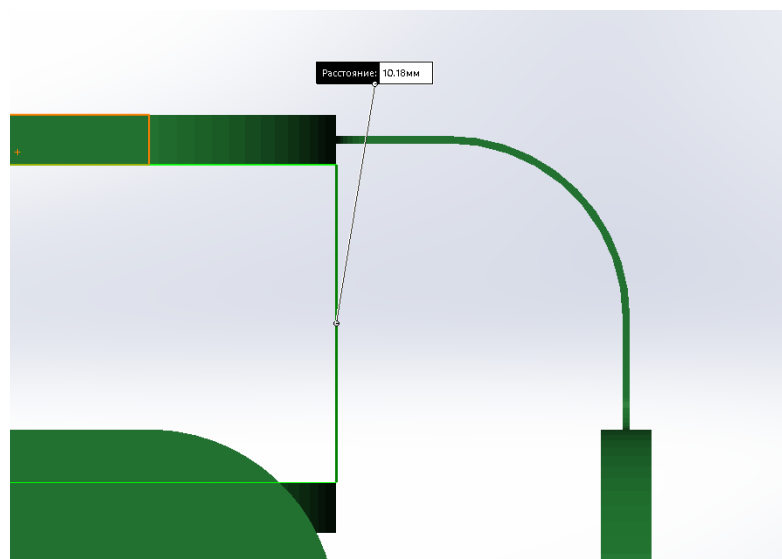


В MCAD после импорта step-файла измерим следующие размеры:

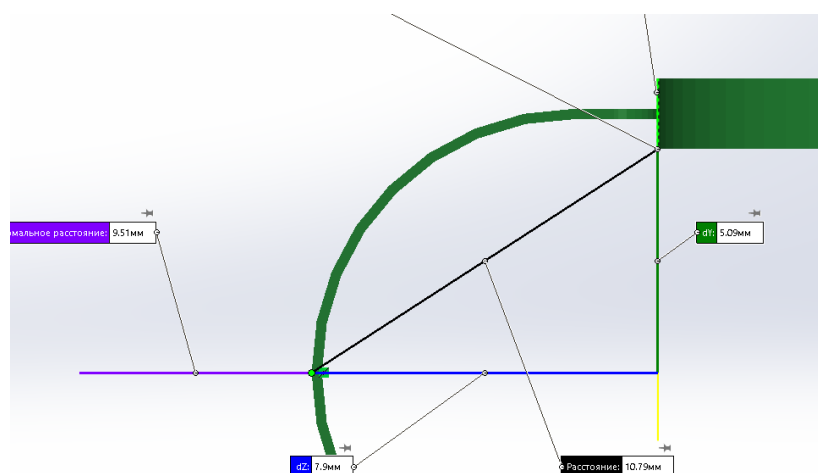
- сдвиг для поворотов на  $90^\circ$  ( $H_{90}$ ), получился 10,09 мм



- расстояние между параллельными платами ( $H_{180}$ ) на повороте  $180^\circ$ , получилось 10,18 мм



- размер вылета шлейфа ( $E_{\max}$ ) на повороте  $180^\circ$ , получилось 7,9 мм



Размеры получились с небольшой ошибкой, чем были рассчитаны изначально. Связано это с тем, что в расчетах не учитывалась физическая толщина гибкой части и модель ее сгиба. На текущем этапе рекомендовано подобрать параметры радиусов сгиба  $R_{90}$  и  $R_{180}$ , чтобы получить более чистую 3D-модель.

При подборе были обновлены значения  $R_{90} = 5,15 \text{ мм}$  и  $R_{180} = 5,71 \text{ мм}$ , введем их в соответствующие параметры линий сгиба.

Подготовка контура печатной платы закончена, можно переходить к разводке топологии.

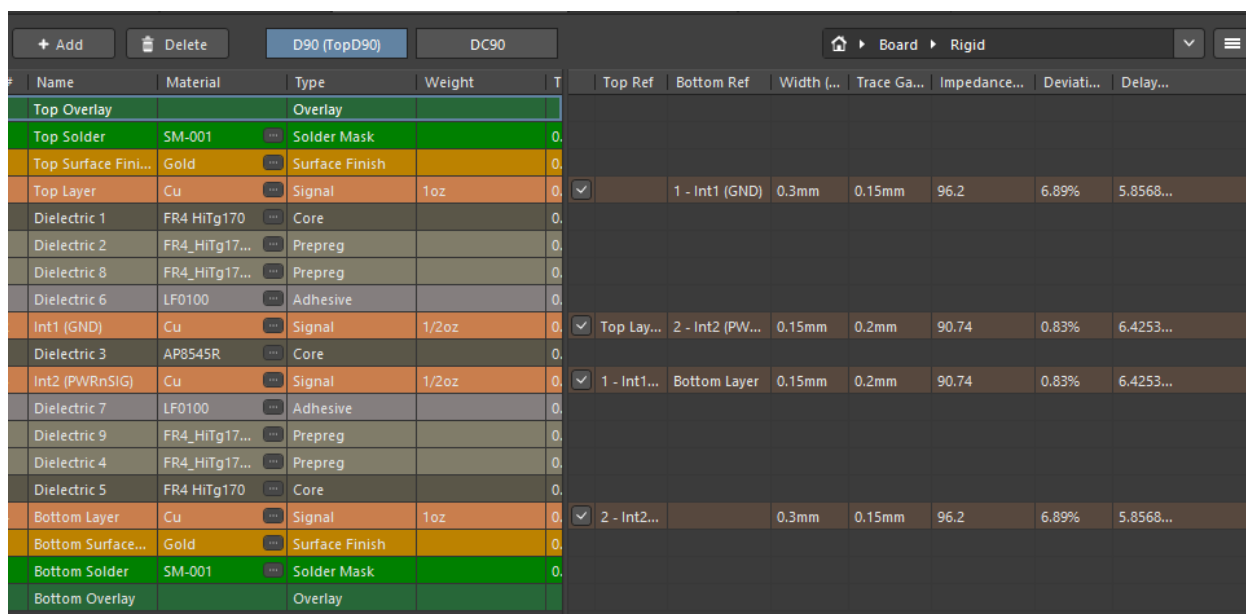
## Особенности подготовки правил разводки топологии

Подготовка правил разводки топологий гибко-жестких печатных плат требует учета нескольких дополнительных моментов по отношению к обычной жесткой печатной плате.

Если в проекте есть линии с контролируемым импедансом и используется инструмент профиля импедансов, то расчеты необходимо провести расчеты на всех субстеках. Нужно помнить, что т.к. в жесткой и гибкой части стек все-таки отличается, то и значения ширин/зазоров в общем случае даже для одинакового слоя, но в разных стеках будут отличаться. В примере необходимо подготовить правила для дифпары USB на 90 Ом дифференциального сопротивления. Решено остановиться на следующих размерах для жесткой части:

Слои Top и Bottom – 0,3 мм/0,15 мм/0,3 мм (w/gap/w);

Слои Int1 и Int2 – 0,15 мм/0,2 мм/0,15 мм (w/gap/w).



#	Name	Material	Type	Weight	T	Top Ref	Bottom Ref	Width (...)	Trace Ga...	Impedance...	Deviati...	Delay...
	Top Overlay		Overlay									
	Top Solder	SM-001	Solder Mask		0.							
	Top Surface Fini...	Gold	Surface Finish		0.							
	Top Layer	Cu	Signal	1oz	0.	1 - Int1 (GND)		0.3mm	0.15mm	96.2	6.89%	5.8568...
	Dielectric 1	FR4 HiTg170	Core		0.							
	Dielectric 2	FR4 HiTg17...	Prepreg		0.							
	Dielectric 8	FR4 HiTg17...	Prepreg		0.							
	Dielectric 6	LF0100	Adhesive		0.							
	Int1 (GND)	Cu	Signal	1/2oz	0.	Top Lay...	2 - Int2 (PW...	0.15mm	0.2mm	90.74	0.83%	6.4253...
	Dielectric 3	AP8545R	Core		0.							
	Int2 (PWRnSIG)	Cu	Signal	1/2oz	0.	1 - Int1...	Bottom Layer	0.15mm	0.2mm	90.74	0.83%	6.4253...
	Dielectric 7	LF0100	Adhesive		0.							
	Dielectric 9	FR4 HiTg17...	Prepreg		0.							
	Dielectric 4	FR4 HiTg17...	Prepreg		0.							
	Dielectric 5	FR4 HiTg170	Core		0.							
	Bottom Layer	Cu	Signal	1oz	0.	2 - Int2...		0.3mm	0.15mm	96.2	6.89%	5.8568...
	Bottom Surface...	Gold	Surface Finish		0.							
	Bottom Solder	SM-001	Solder Mask		0.							
	Bottom Overlay		Overlay									

Для гибкой части:

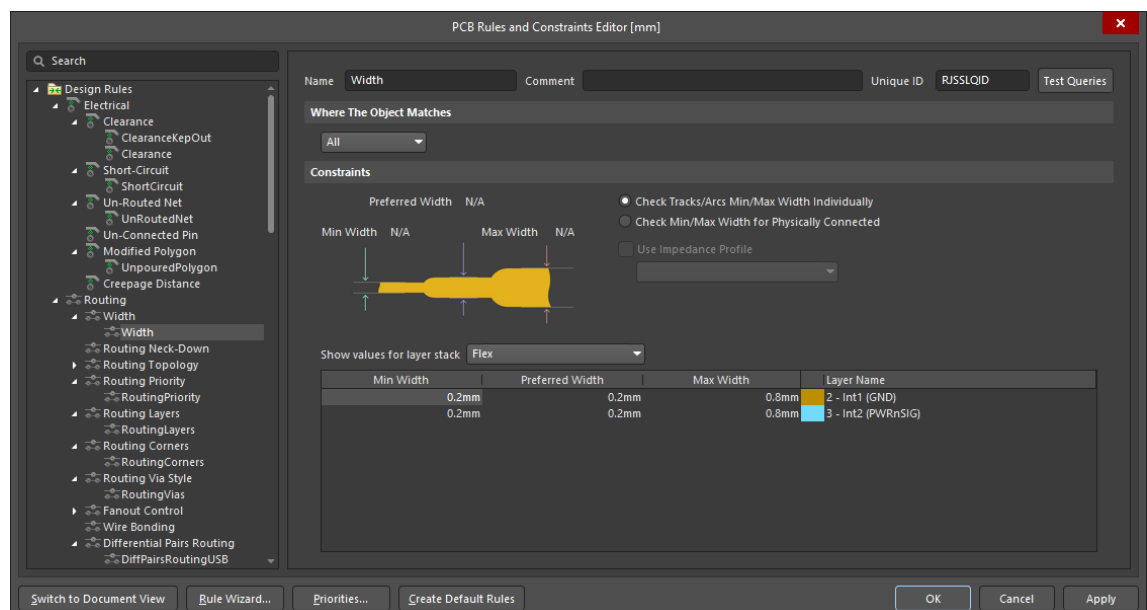
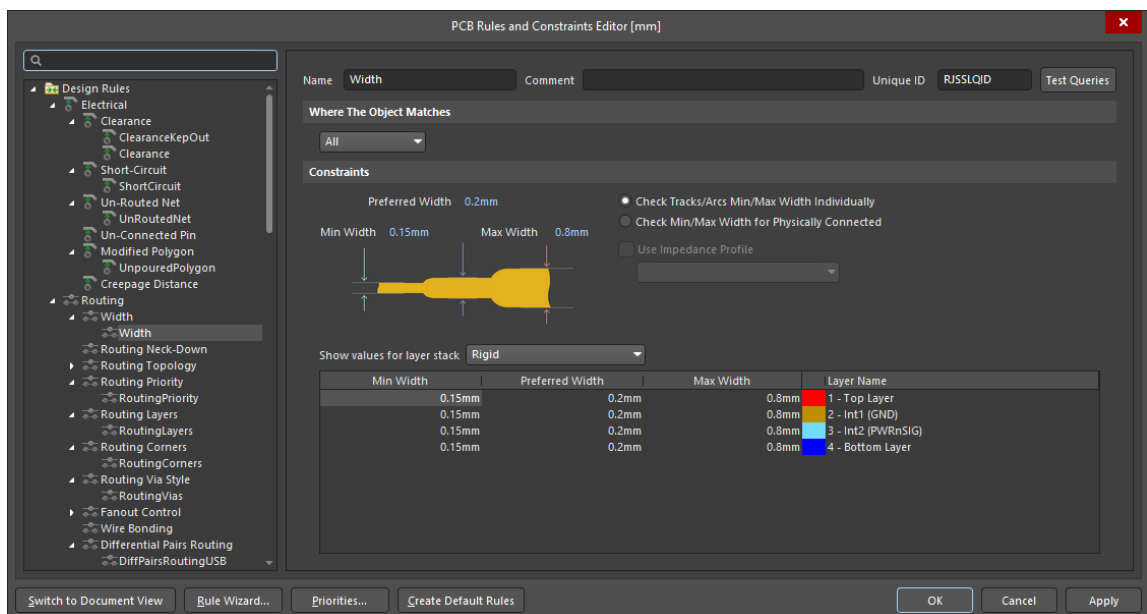
Слои Top и Bottom недоступны;

Слои Int1 и Int2 – 0,2 мм/0,2 мм/0,2 мм (w/gap/w).

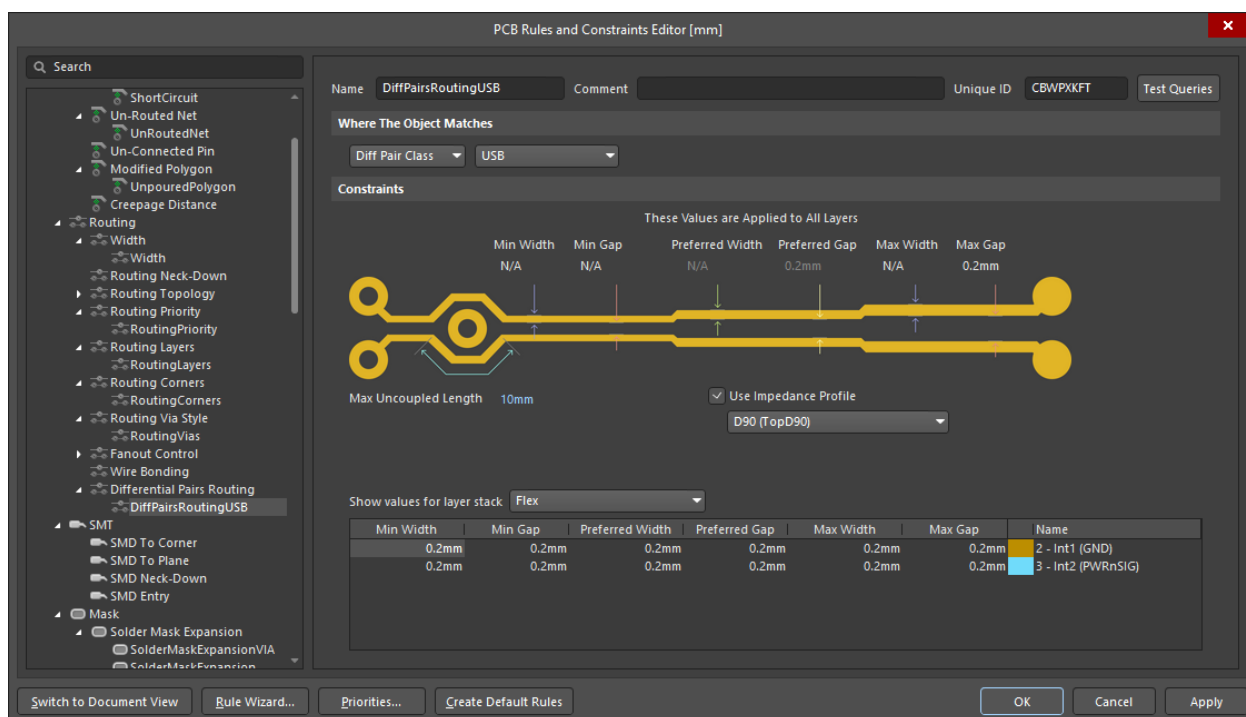
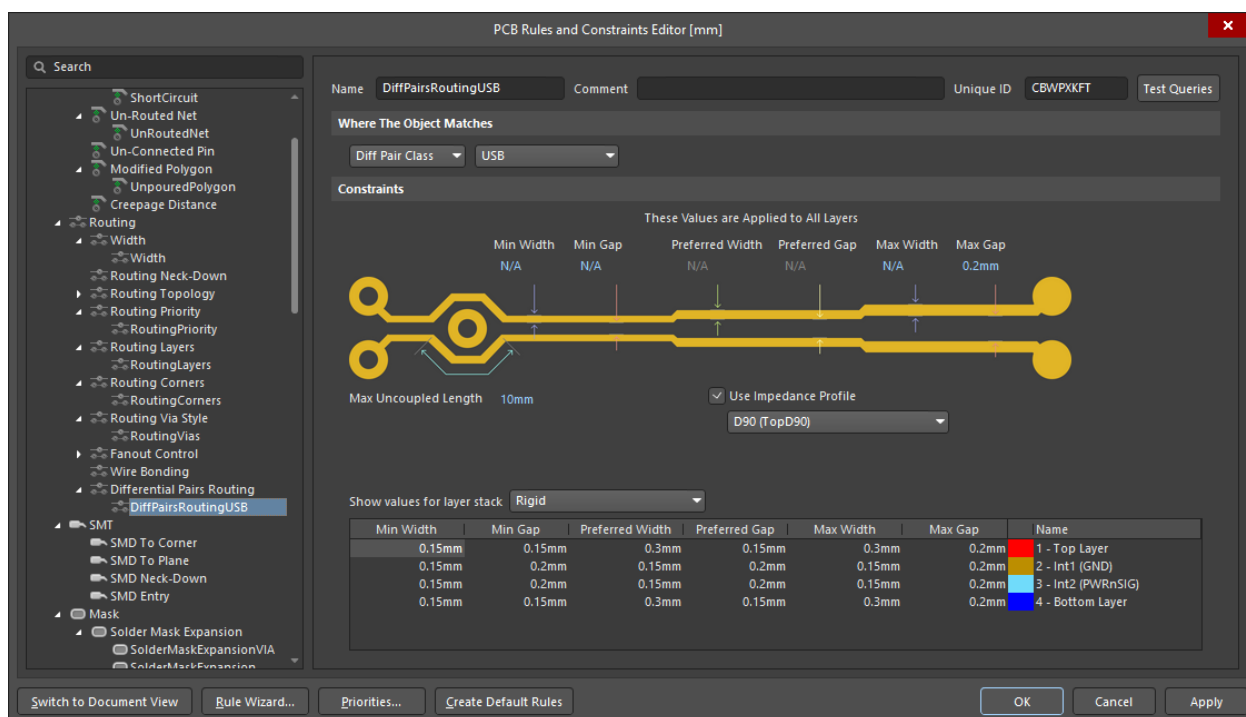
<div><div>+ Add</div><div>Delete</div><div>D90 (TopD90)</div><div>DC90</div></div>						<div><div>🏠</div><div>▶ Board ▶ Flex</div><div>▼</div><div>☰</div></div>						
#	Name	Material	Type	Weight	T	Top Ref	Bottom Ref	Width (...)	Trace Ga...	Impedance...	Deviati...	Delay...
	Flex Top Coverlay	FC-001	Coverlay		0							
	Dielectric 6	LF0100	Adhesive		0							
1	Int1 (GND)	Cu	Signal	1/2oz	0	☑	2 - Int2 (PW...	0.2mm	0.2mm	89.64	0.4%	5.6961...
	Dielectric 3	AP8545R	Core		0							
2	Int2 (PWRnSIG)	Cu	Signal	1/2oz	0	☑	1 - Int1...	0.2mm	0.2mm	89.64	0.4%	5.6961...
	Dielectric 7	LF0100	Adhesive		0							
	Flex Bottom Cov...	FC-001	Coverlay		0							

В правилах Routing - Width и Routing - Differential pairs Routing появляется переключатель стека. Эти правила теперь содержат в себе несколько независимых правил, действующих в пределах соответствующего стека. Управляется в выпадающем списке Show values for layer stack. Соответственно, нужно заполнить размеры ширин для всех стеков.

Ниже показано правило ширин Width для жесткой и гибкой части.



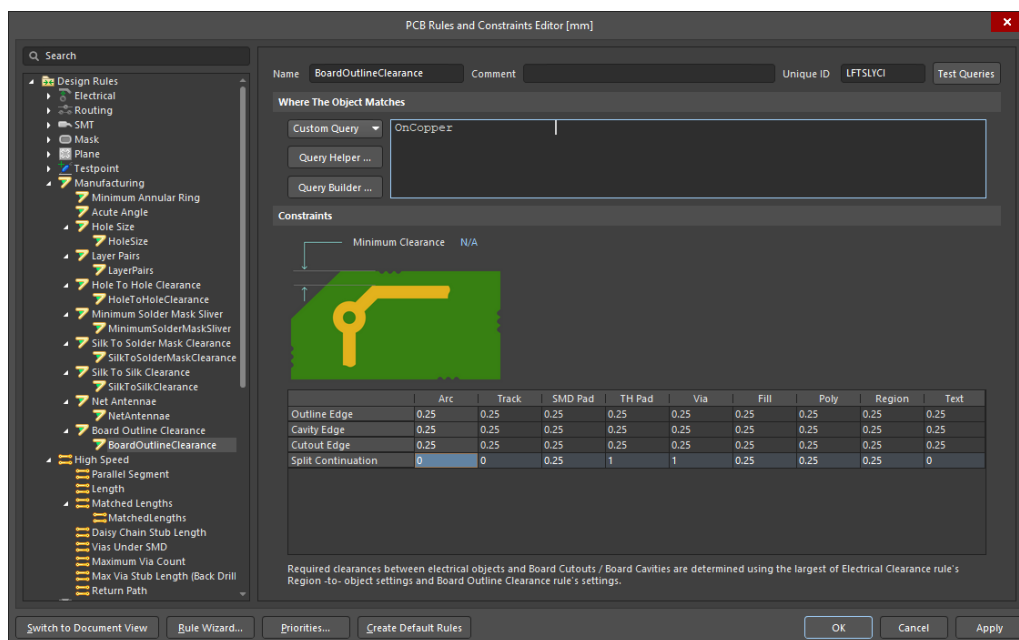
Для USB-цепей, определенных в классе USB, сошлемся на профиль импеданса D90, также для жесткой и гибкой части.



*Примечание: по состоянию на версию Altium Desginer 24.10 присутствует баг. При разводке режимы интерактивной разводки берут размеры из правил с учетом жесткой и гибкой части, и все работает ожидаемо. А вот проверка DRC по непонятной причине игнорирует размеры для гибкой зоны и использует размеры жесткой зоны. Обойти это можно, добавив комнату под размер гибкой зоны и добавив дополнительное правило*

с запросом *WithinRoom()*. Или можно использовать запрос *InLayerStackRegion()*, где указать имя зоны субстека.

Также необходимо будет отредактировать правило Manufacturing – Board Outline Clearance, действующей на металлизированные слои (OnCopper). Строке Outline Edge укажем стандартные зазоры 0,25 мм для фрезеруемых контуров [13]. Для строки границы между зонами (Split Continuation) нужно определить свой список зазоров. Зазор до разводки цепей (Arc и Track) нужно поставить 0, чтобы можно было провести цепи через границу. SMT-падам и полигональным объектам поставим зазор 0,25 мм – стандартный зазор от границ платы, кроме того сплошные заливки по гибким частям делать нежелательно. Сквозным падам и отверстиям поставим зазор 1 мм. Положение монтажных отверстий мы будем контролировать вручную.



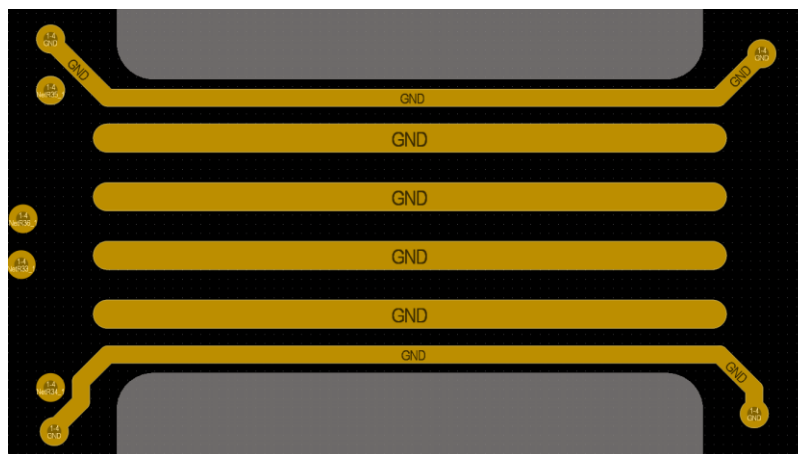
## Особенности разводки топологии

При использовании гибкий частей как шлейфов между жесткими зонами, стоит подумать, на каком слое что разводить. В обычном типовом четырехслойном стеке как правило, основная разводка ведется на внешних слоях Top и Bottom, на втором слое Int1 как правило земля, на третьем слое Int2 питание и часть управления. В выбранном гибко-жестком стеке слой Int1 становится верхним слоем для гибкой части, на нем будем располагать земляную цепь. А слой Int2 становится нижним слоем для гибкой части, в нем будем разводить питание и управляющие цепи между жесткими зонами.

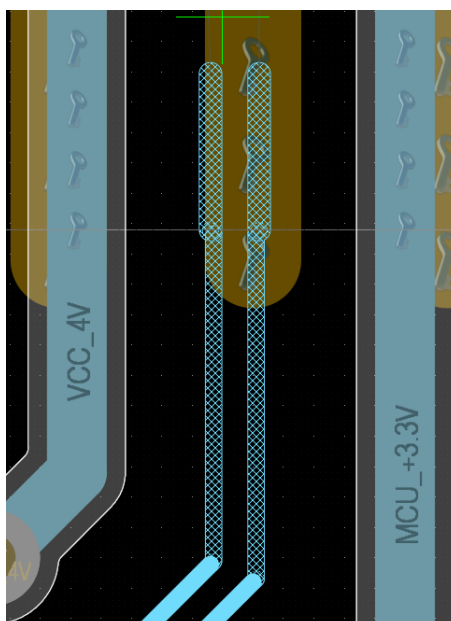
При этом, с учетом выбранной конструкции может даже выйти так, что слои поменяются местами. Например, на грани Inner на слое Top вы оставим

только разъем к LiPol-аккумулятору, а компоненты из цепи питания переместим на слой Bottom. В этом случае, на слое Int1 в этой зоне будут цепи питания и управления, а на слое Int2 будет земля.

Выбранное производство [13] настоятельно рекомендует для надежности добавить относительно широкие медные полосы по краям гибкой части с отступом от края гибкой части на 0,25 мм. В каждом из гибких переходов добавим таких защитных линий на слое Int1 и Int2 шириной 0,5 мм и подключим к цепи GND. Также на слое Int1 сразу добавим несколько широких линий, имитирующих земляную заливку, т.к. использование именно заливок на гибких частях технологически нежелательно. При последующей работе с земляными заливками нужно будет проследить, чтобы данные линии к ней присоединились.

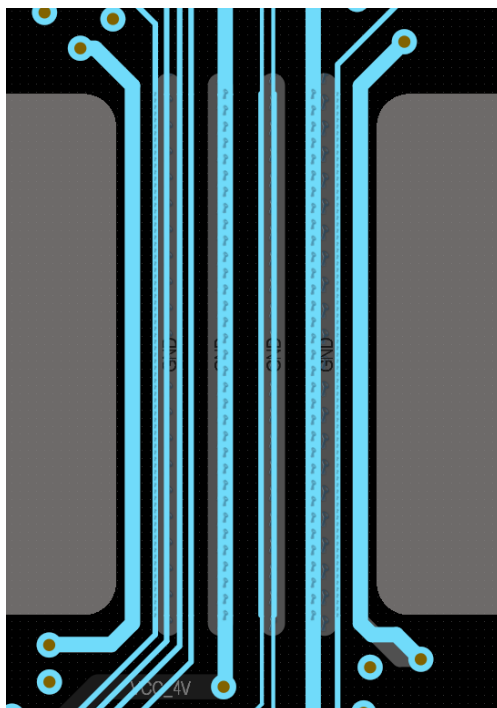


При разводке цепей при переходе между жесткой и гибкой зоной будут автоматически перестраиваться ширины в зависимости от правил ширин. В примере это видно по разводке USB-цепи.

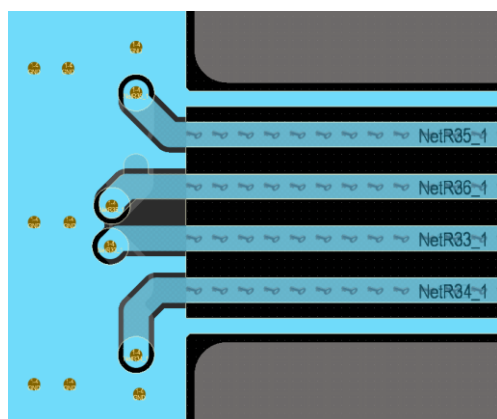




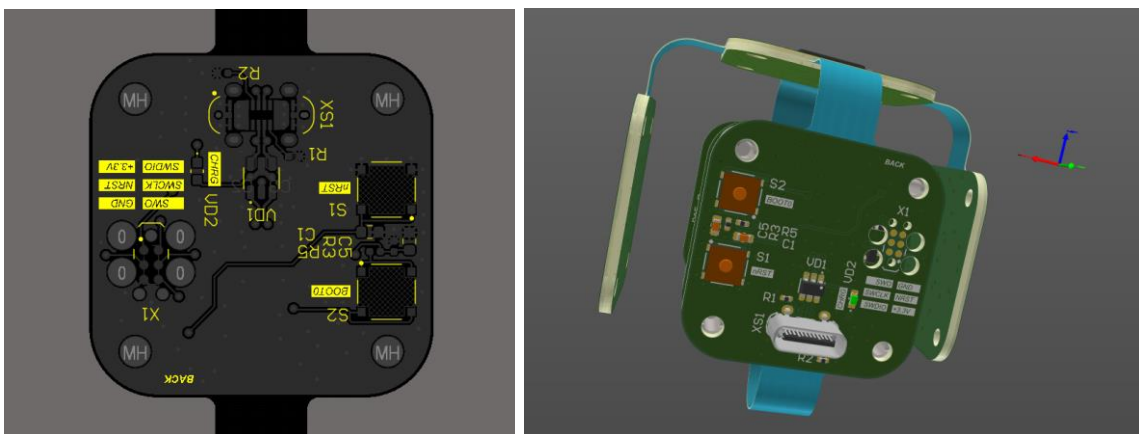
На гибких зонах не стоит без необходимости поворачивать цепи, а также цепи лучше если расположены более-менее равномерно по всей ширине шлейфа. Ну и при подводе к гибким зонам нужно помнить про зазор 1 мм от отверстий до перехода между зонами.



При работе с заливками не нужно без необходимости добавлять их на гибкие зоны. Можно в гибкие в зоны добавить зоны запрета заливок в виде Кеероут-ов с запретом на заливки или вырезы в полигонах Polygon Cutout. Или формировать заливки индивидуально для каждой жесткой зоны.



При финализации шелкографии можно развернуть позиционные обозначения так, чтобы их было удобно читать будущему пользователю устройства, т.е. в свернутом состоянии, а не в развертке. В примере это имеет смысл для боковых и задней грани.

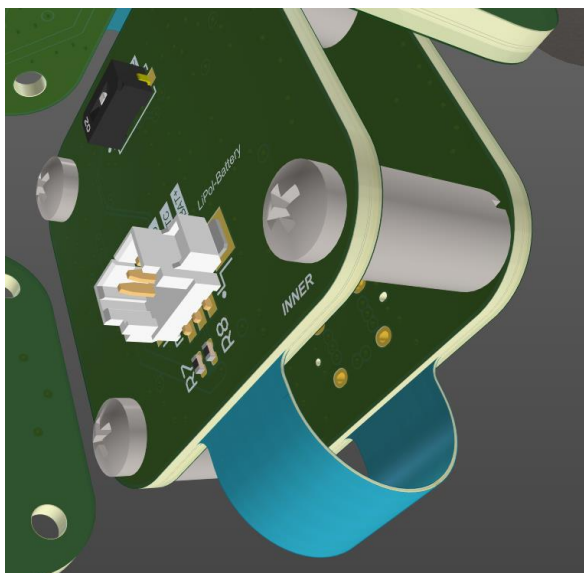


### Добавление механических элементов крепежа

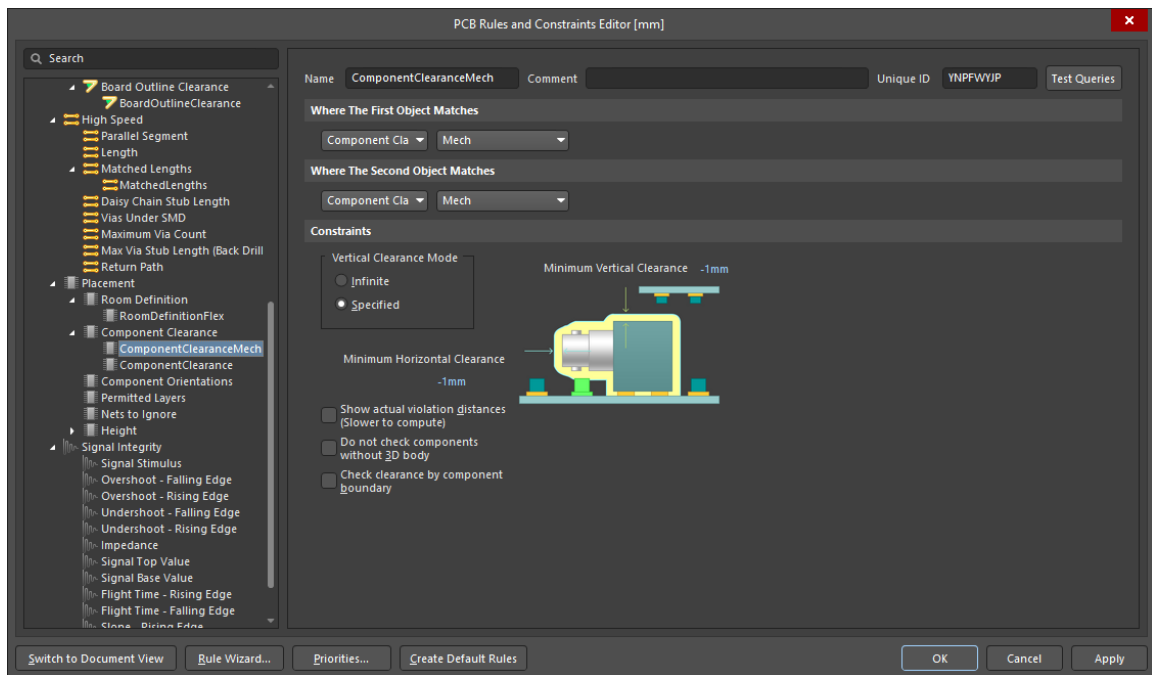
Если гибко-жесткая плата при сворачивании будет иметь элементы крепежа, то можно еще до передачи проекта конструктору-механика, внести их в проект, чтобы иметь возможность как можно ранее учитывать их в проекте.

В проекте грани Back и Inner заворачиваются друг на друга и будут располагаться параллельно на расстоянии 10 мм. Предполагается, что будут использованы стойки на 10 мм. Стойки M2,5x10 расположим на обратной стороне на грани Inner, а винты M2,5 их крепящие – на той же грани, но сверху.

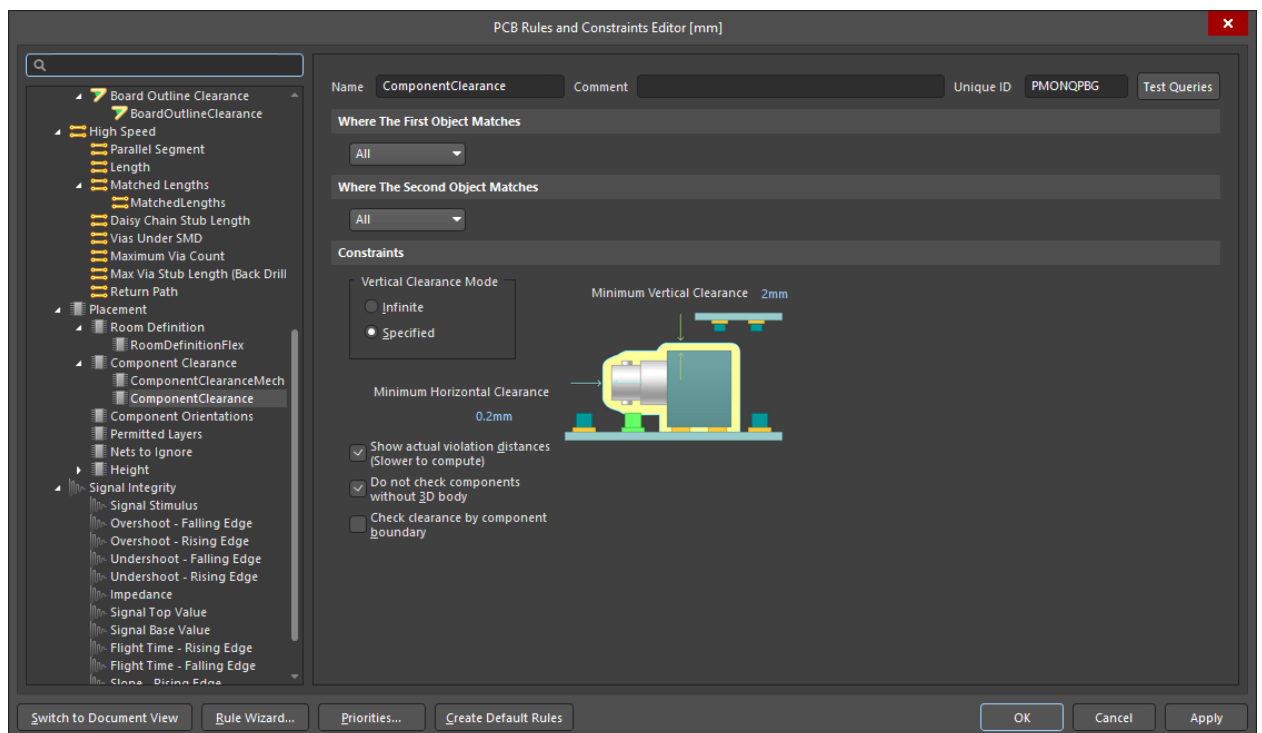
В 3D-режиме в свернутом режиме будет хорошо видно, как они установлены.



Для того, чтобы винт и стойка не порождали ошибки Component Clearance, добавим все механические компоненты в класс Mech и размерим им накатываться друг на друга.



В текущей версии Altium Desginer есть одна особенность с использованием правила Component Clearance для проверки 3D-режима. Пусть, например, установлен компонентам зазор по вертикали 2 мм, а по горизонтали 0,2 мм.



Если в 3D-режиме плата развернута, то ошибок не показывается. Однако, если плату свернуть, то появляется большое число ошибок. При этом, если покрутить модель, то визуально никаких наложений не видно.





Лист	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Лист	МПСУ.687281.024						
		A3	МПСУ.687281.024.СБ	Сборочный чертеж			
		A4	МПСУ.687281.024.Д1	Данные проектирования			
Лист	МПСУ.687281.024			МПСУ.687281.024.Т5М	Данные конструкции		
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						
Лист	МПСУ.687281.024						

1 \*Размеры для справок

2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002: H12, h12, IT 12/2

3 Неуказанные предельные отклонения размеров между осями двух любых отверстий  $\pm 0,1$  мм

4 Смещение центра металлизированного отверстия относительно центра контактной площадки не более 0,1 мм

5 Плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79, группа жесткости 3.  
Класс точности 5 по ГОСТ Р 53429-2009

6 Проводящий рисунок на плате выполнить в соответствии с  
данными проектирования МПСУ.687281.024Д1 и данными конструкции МПСУ.687281.024Т5М

7 Шероховатость обрабатываемой поверхности Rz40

8 Геометрия жестких слоев показана в зонах А. Стек показан в табл.1.

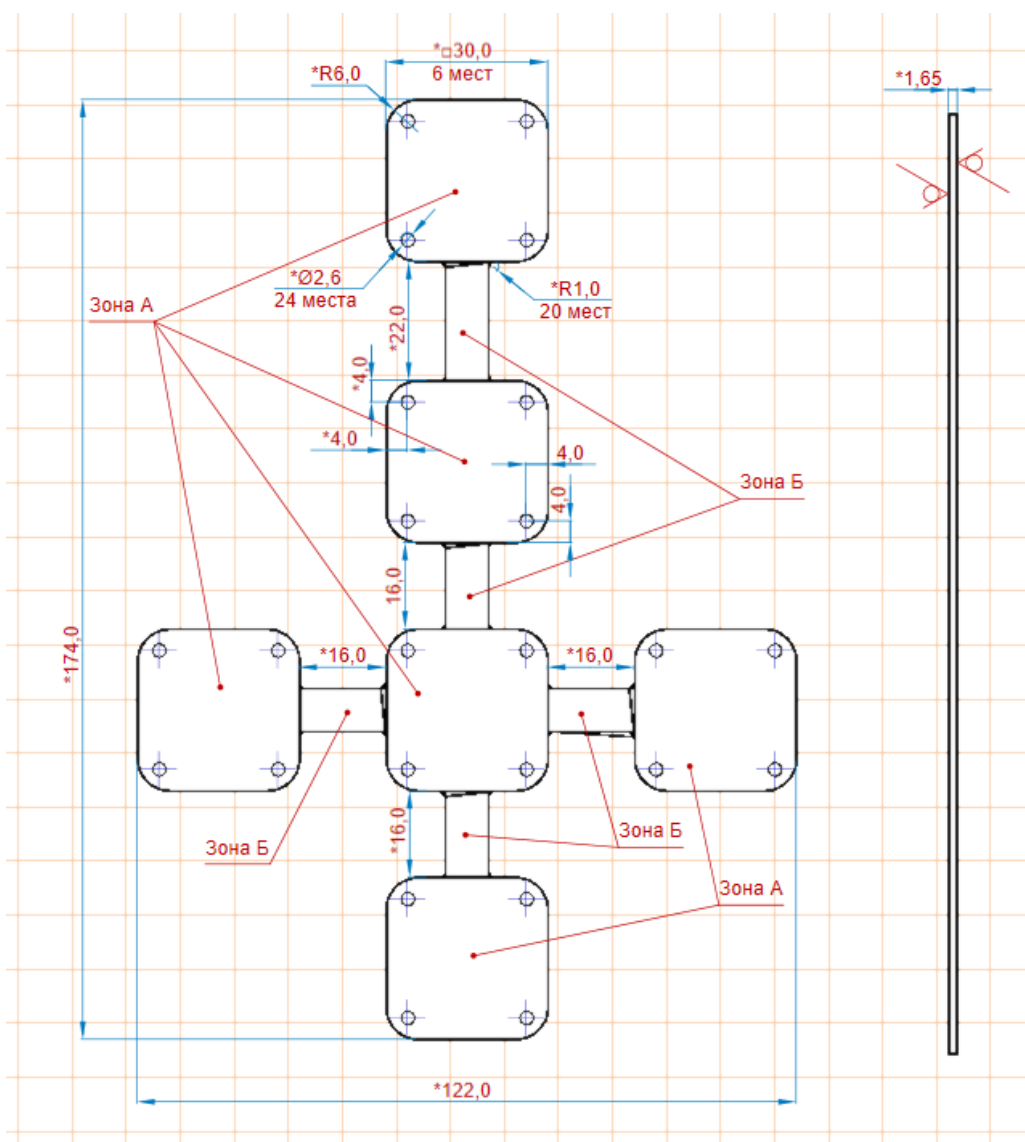
9 Геометрия гибких частей показана в зонах Б. Стек показан в табл.2

10 На наружных жестких слоях платы защитная паяльная маска по  
технологии изготовителя

11 Покрытие жестких слоев платы О-Н(68)З Зл-Ко(99,5)0,25

12 Покрытие гибких слоев платы защитной пленкой DuPont Pyralux LF0110 по технологии  
производителя

Основной вид приводится в развернутом виде.





Расшифровку стека можно сделать как вид сбоку или через использование Layer Stack Legend для соответствующих участков печатной платы.

Табл. 1

Слой	Толщина	Тип слоя	Материал
Legend			
Top Overlay		Solder Mask	SunChemical XV501-T LDI
Top Solder	0,03	Surface Finish	O-H(68)3 3л-Ко(99,5)0,25
Top Surface Finish	0,00	Signal	Фольга 35мкм
Top Layer	0,04	Dielectric	Стеклотекстолит FR-4 HiTg170 0,51мм
	0,51	Dielectric	Нетекучий эпоксидный препрег Tg170 70мкм
	0,07	Dielectric	Нетекучий эпоксидный препрег Tg170 70мкм
	0,07	Dielectric	Нетекучий эпоксидный препрег Tg170 70мкм
Dielectric 6	0,03	Adhesive	Адгезивная пленка DuPont Pyralux 25мкм
Int1 (GND)	0,02	Signal	Фольга 35мкм
	0,10	Dielectric	Полиимидная пленка DuPont AP8545R 0,1мм
Int2 (PWRnSIG)	0,02	Signal	Фольга 35мкм
Dielectric 7	0,03	Adhesive	Адгезивная пленка DuPont Pyralux 25мкм
	0,07	Dielectric	Нетекучий эпоксидный препрег Tg170 70мкм
	0,07	Dielectric	Нетекучий эпоксидный препрег Tg170 70мкм
	0,51	Dielectric	Стеклотекстолит FR-4 HiTg170 0,51мм
Bottom Layer	0,04	Signal	Фольга 35мкм
Bottom Surface Finish	0,00	Surface Finish	O-H(68)3 3л-Ко(99,5)0,25
Bottom Solder	0,03	Solder Mask	SunChemical XV501-T LDI
Bottom Overlay		Legend	
Общая толщина: 1,61			

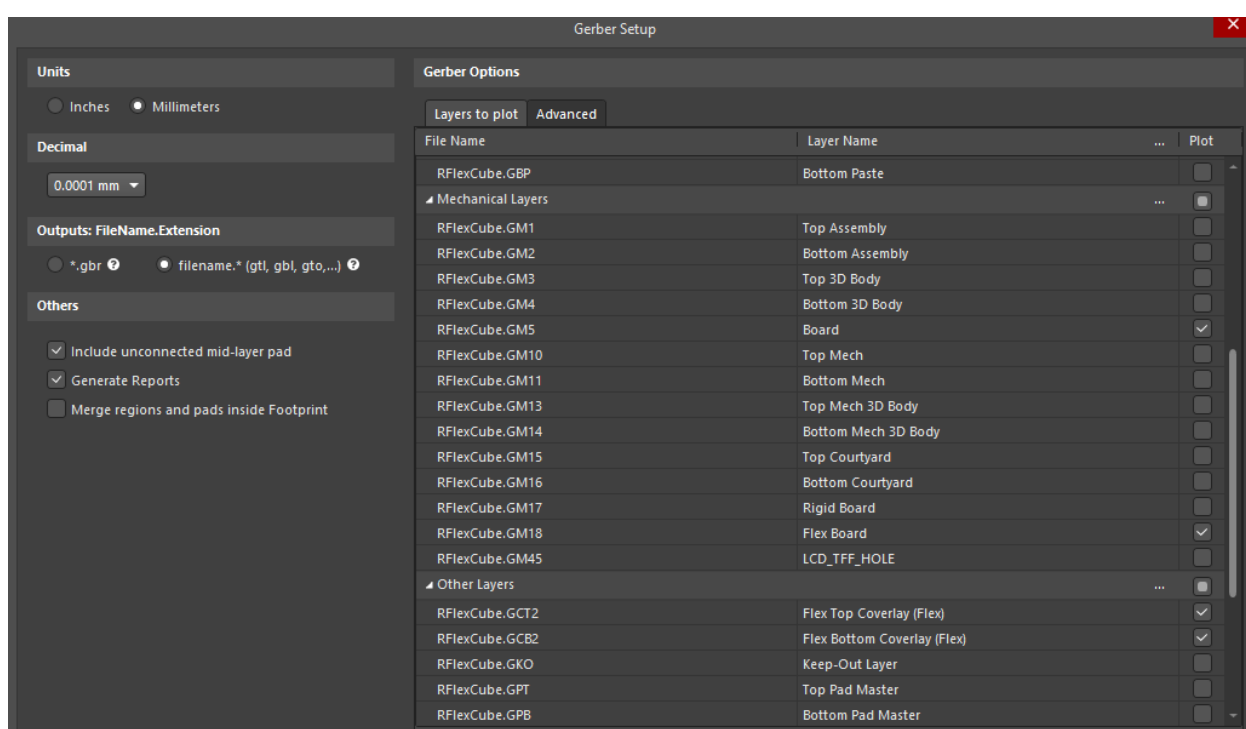
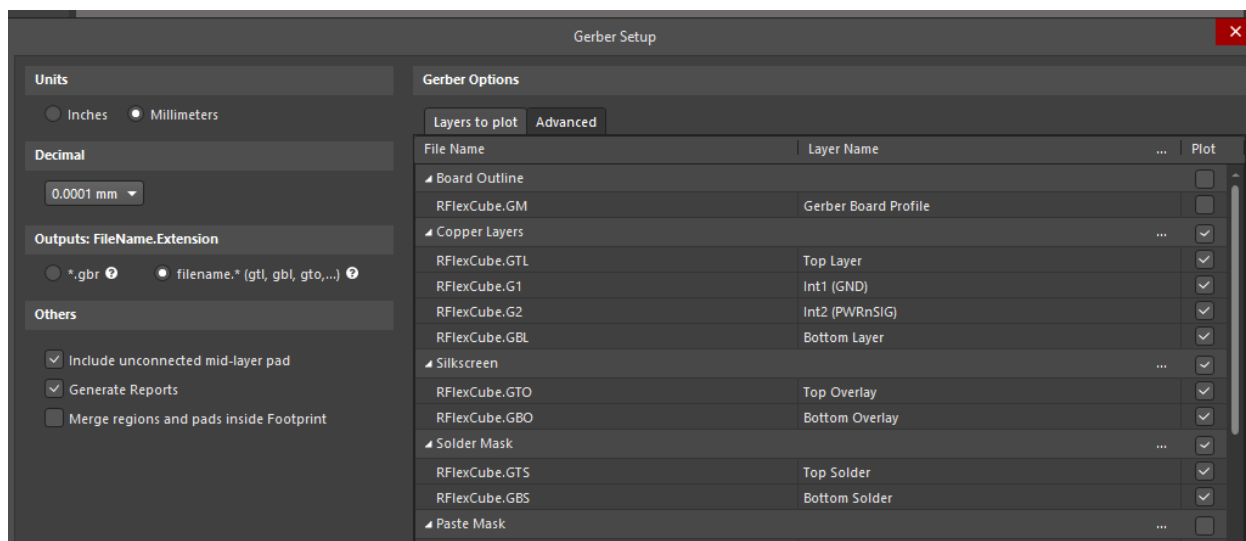
Табл. 2

Слой	Толщина	Тип слоя	Материал
Legend			
Flex Top Coverlay	0,03	Solder Mask	Покрывная пленка DuPont Pyralux LF0100 25мкм
Dielectric 6	0,03	Adhesive	Адгезивная пленка DuPont Pyralux 25мкм
Int1 (GND)	0,02	Signal	Фольга 35мкм
	0,10	Dielectric	Полиимидная пленка DuPont AP8545R 0,1мм
Int2 (PWRnSIG)	0,02	Signal	Фольга 35мкм
Dielectric 7	0,03	Adhesive	Адгезивная пленка DuPont Pyralux 25мкм
Flex Bottom Coverlay	0,03	Solder Mask	Покрывная пленка DuPont Pyralux LF0100 25мкм
Общая толщина: 0,24			

Перед экспортом герберов нужно обновить контура печатной платы и ее зон. В слое Board M5 должен быть полный внешний контур печатной платы, в слое M17 Rigid Board – контура жестких частей, в слое M18 Flex Board – контура гибких частей.

При экспорте герберов (данных конструкции) кроме слоев с металлизацией, паяльной маски, шелкографии, контура печатной платы и файлов сверловки, еще нужно экспортировать слои с контуром гибкой части (Flex Board) и слои с покрывной маской (Top и Bottom Flex Coverlay). Слой с контурами жестких частей экспортировать необязательно, он выводится из общего контура печатной платы.





В данных проектирования необходимо расписать назначение экспортированных герберов.

[illegible]

## Литература

1. Лопаткин, А. Проектирование печатных плат в Altium Designer. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2016. — 400 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/93565>
2. Суходольский В.Ю. Altium Designer: сквозное проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах: учеб. Пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 560 с.
3. Желобаев А.Л. Методические указания к лабораторным работам по курсу «САПР Altium Designer»: М.:МИЭТ, 2019 – 104с.
4. Приходько Д.В., Айрапетян А.А. Учебно-методическое пособие по работе с библиотеками в Altium Designer: учеб. Пособие. М.: МИЭТ, 2022 – 180 с.

### *Перечень ресурсов сети «Интернет»*

5. Репозиторий автора с учебной библиотекой  
<https://github.com/dee3mon/StudentsLibraryGIT>
6. Репозиторий автора с учебными материалами по Altium Designer  
<https://github.com/dee3mon/altium-methodic>
7. Репозиторий автора с шаблонами для Altium Designer  
<https://github.com/dee3mon/altium-templates>
8. Онлайн-документация Altium Designer  
<https://www.altium.com/documentation/altium-designer>
9. Тематический форум [electronix.ru](http://electronix.ru), раздел «Разрабатываем ПП в САПР - PCB development», <https://electronix.ru/forum/index.php?showforum=17>, доступно после свободной регистрации
10. Сайт Eurointech, раздел «Учебные материалы»  
<http://www.eurointech.ru/education/selftraining/>
11. Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов ОК 012-93 <http://classinform.ru/ok-eskd/kod>
12. Раздел «Гибко-жесткие печатные платы» базы знаний ООО «Резонит»  
<https://www.rezonit.ru/directory/baza-znaniy/tekhnologiya-izgotovleniya-pechatnykh-plat-v-kartinkakh/gibko-zhestkie-pechatnye-platy/>

13. Раздел «Технологические возможности/ Стандартные гибко-жесткие печатные платы» ООО «Резонит» <https://www.rezonit.ru/pcb/gibko-zhestkie/serial/>

14. Микроконтроллер STMicroelectronics STM32F103RBT6 <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103rb.html>

15. FPC-разъем Molex 503480-1000 <https://www.molex.com/en-us/products/part-detail/5034801000>

16. Модуль контроля подсветки светодиодов Texas Instruments TPS61160DRVT <https://www.ti.com/product/TPS61161>

17. Белый светодиод Vishay VLMW1300 <https://www.vishay.com/en/product/82435/>

18. Вертикальный USB-C разъем Molex 217182-0001 <https://www.molex.com/en-us/products/part-detail/2171820001>

19. Шлейф-зонд Tag-Connect TC2030-CTX-NL-STDC14 <https://www.tag-connect.com/product/tc2030-ctx-6-pin-cable-for-arm-cortex>

20. Программатор STMicroelectronics STLINK-V3 <https://www.st.com/en/development-tools/stlink-v3set.html>

21. Контроллер зарядки и питания Analog Devices LTC4067EDE <https://www.analog.com/en/products/ltc4067.html>

22. Разъем Molex 53398-4003 <https://www.molex.com/en-us/products/part-detail/533984003>

23. Полиимидная пленка DuPont AP 8545R <https://www.dupont.com/electronics-industrial/pyralux-ap.html>

24. Адгезивная пленка DuPont Pyralux LF0100 <https://www.dupont.com/electronics-industrial/pyralux-lf.html>

25. Стеклотекстолит FR-4 Tg170 [https://www.rezonit.ru/upload/spetsifikatsii/KB-6167\\_H1170.pdf](https://www.rezonit.ru/upload/spetsifikatsii/KB-6167_H1170.pdf)

### ***Каналы Youtube с видеоуроками по Altium Designer***

26. Официальный канал Altium Designer <https://www.youtube.com/channel/UCpCi8Hpe4nIg4qvy2vpCGNQ>

27. Канал

Алексея

Сабунина

<https://www.youtube.com/user/SabuninAlexey>

28. Плейлист «Altium Designer» на канале Сергея Булавинова

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLgUwXvgNkHqJ3G5UoLGMfHJM2c-m4Afdx>

29. Канал официального представительства Altium Russia

[https://www.youtube.com/channel/UCvZ\\_kyV4ATrQfjmtVpuj0LQ](https://www.youtube.com/channel/UCvZ_kyV4ATrQfjmtVpuj0LQ)

30. Плейлист «Altium Designer» на канале консультационного центра

АМКАД <https://www.youtube.com/watch?v=PcStOG7sRqk&list=PLUk9KaCJSP-UAcH1uLu6mOQmDTmZGCND8>

31. Канал Robert Feranec - автора образовательного сообщества Fedevel

Academy <https://www.youtube.com/user/matarofe/featured>

**Разработчик:**

Ст. преподаватель Института МПСУ

Приходько Д.В.