

# Элементы механического проектирования

## Оглавление

Оглавление .....	1
Общая информация .....	1
Предварительное размещение рамки и создание контура платы в Altium Designer.....	3
Первоначальный экспорт из Altium Designer .....	4
Проектирование рамки .....	5
Проектирование корпуса .....	11
Анализ сборки.....	16
Исправление ошибок в SolidWorks .....	19
Проектирование крышки .....	22
Правка платы в Altium Designer .....	23
Финальная сверка в SolidWorks .....	30
Литература .....	32

## Общая информация

При проектировании узлов СВЧ-узлов и устройств кроме собственно проектирования печатной платы необходимо озаботиться элементами конструкции. Для СВЧ-узлов это обычно корпус, рамка, разбивающая узел на ячейки меньше критического так, чтобы не создавать резонаторы, и элементы крепежа.

При расчете максимальных размеров ячеек в рамке можно пользоваться определением предельного волновода, которое позволяет оценить максимальные линейные размеры ячейки, при котором не возникает резонансной структуры. В этом случае применима формула

$$b[\text{мм}] \leq 150 / f_{\text{max}} [\text{ГГц}],$$

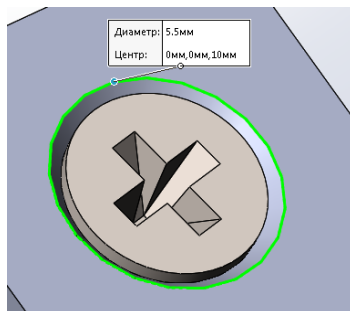
где  $b$  – максимальный линейный размер ячейки, мм,  $f_{\text{max}}$  - максимальная возможная частота рабочего сигнала, в ГГц.

При проектировании печатной платы в Altium Designer необходимо уже на этапе разводки приблизительно прикинуть расположение ячеек в рамке и крепежа.

Обычно корпус и рамка делаются фрезерованием на горизонтальном столе, т.е. внутренние углы обычно имеют некоторый радиус. Разумным будет считать, что нам для корпуса и рамки доступна фреза радиусом 2мм.

Толщина стенок рамки определяется точностью изготовления и надежностью конструкции, разумным будет брать толщину порядка 3-3,5мм с возможностью утончения до 2мм в отдельных местах.

Для крепежа рамки будем использовать винты M2,5 с потайной головкой под крестообразную отвёртку. В этом случае диаметр зенковки равен 5,5мм. Таким образом, минимальный диаметр прилива, необходимый для крепежа будем брать 6,2мм.



Необходимо помнить, что плата не будет иметь чисто прямоугольную форму из-за наличия приливов для крепежа в углах и выступа для соединения с фланцевым СВЧ-разъемом.

Для правильного соединения СВЧ-выводов надо сделать выступы в плате и утончение в корпусе. Выступ в плате будет 1мм, шириной в 2-3 ширины основного вывода СВЧ-разъема. Утончение корпуса будет ему соответствовать (с учетом точности изготовления ~0,2мм).

При работе в Altium Designer по сравнению с базовыми нам понадобятся три дополнительных механических слоя:

Mechanical 20 – в нем будем изначально рисовать предварительный контур рамки при разводке цепей, а также позднее в него будем импортировать из SolidWorks готовую 3D-модель рамки для визуального контроля правильности как самой рамки, так и вырезов в максе для нижней грани этой рамки;

Mechanical 17 – в него будем переносить из SolidWorks нижнюю грань уже спроектированного корпуса, для того, чтобы править контур платы, опираясь на существующий габарит в корпусе.

Mechanical 18 - в него будем переносить из SolidWorks специально расширенную временную нижнюю грань спроектированной рамки чтобы быстро спроектировать регионы вырезов в паяльной маске под рамку.

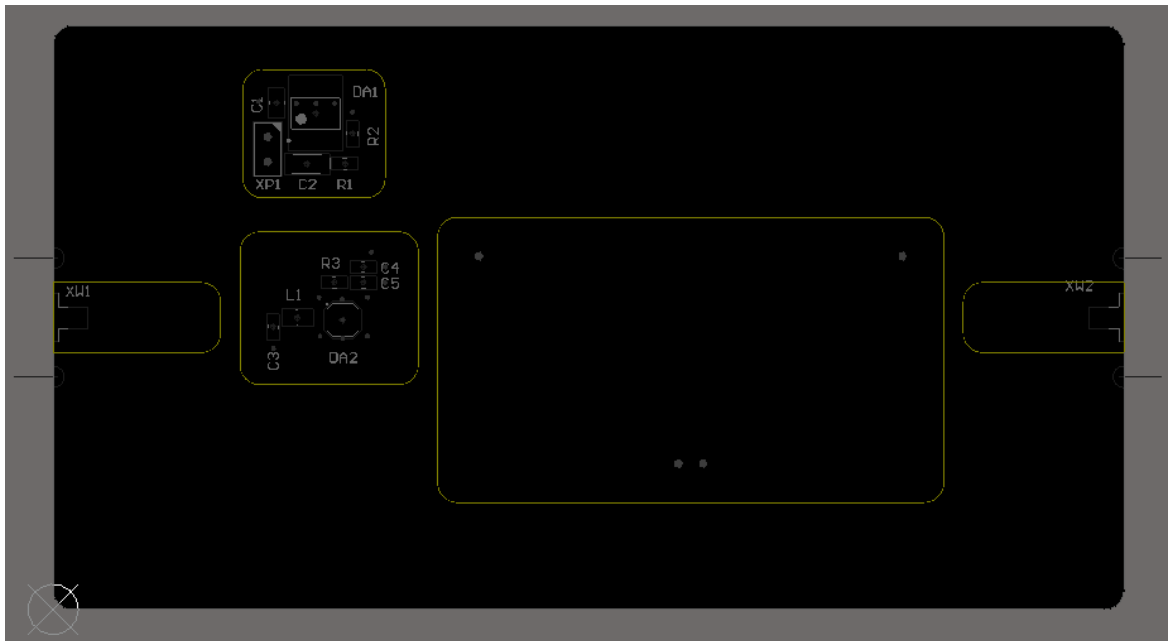
Предполагается, что читатель знаком собственно с Altium Designer и SolidWorks, понимает идеологию работы с ними, знает основные подходы к формированию схем и разводке топологий (в Altium Designer), созданию деталей и сборок (в SolidWorks), а также привык к их интерфейсу.

Материал написан для версии Altium Designer 17.2 и SolidWorks 2010

## Предварительное размещение рамки и создание контура платы в Altium Designer

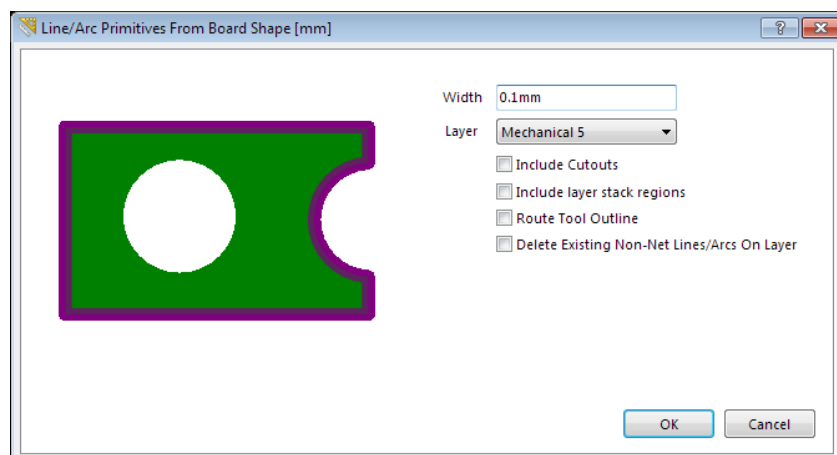
Выберем механический слой Mechanical 20 для предварительного размещения рамки.

Разместим в нем линии в сетке 0,1мм, соответствующие нашему оценочному расположению ячеек (пока не всей рамки). Между ячейками с высокочастотным сигналом сделаем стенку 2мм, между остальными 3мм. углы у ячеек сразу делаем скругленными радиусом 2мм.



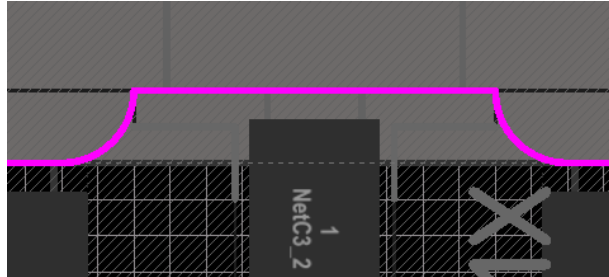
В исходном проекте плата была прямоугольная, надо скорректировать контур платы. С контуром мы работаем в слое Mechanical 5.

Если у нас нет контура, соответствующего контуру платы, то получить его можно по команде Design – Board Shape – Create Primitives from Board Shape. В открывшемся окне указываем, в каком слое создать контур.

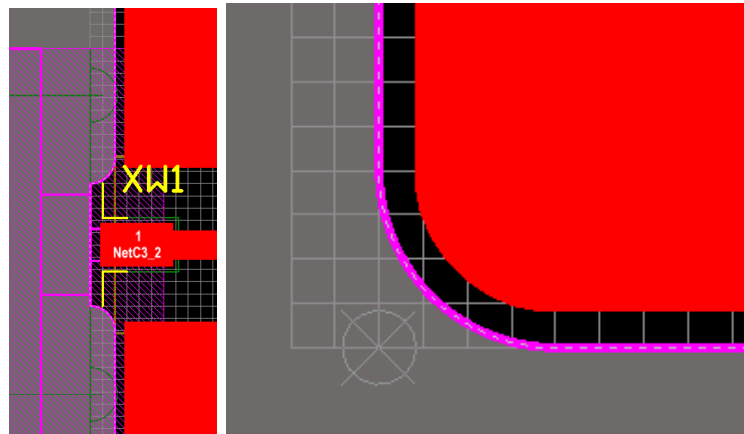


Сначала сделаем скругление радиусом 2мм для внешних углов.

Также, для правильного соединения СВЧ-выводов надо сделать выступы. Выступ будет 1мм, шириной в 2-3 ширины основного вывода СВЧ-разъема.



После выбираем весь контур, затем по команде Design – Board Shape – Define from selected objects сформируем контур платы со скругленными выводами и выступами по СВЧ-разъемам.



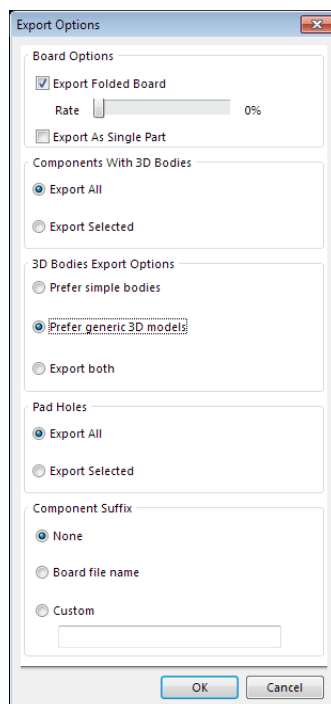
Необходимо учитывать, что это прикидочные контуры платы и рамки, далее покажем как по результатам проектирования рамки и корпуса может возникнуть необходимость правок в плате.

### **Первоначальный экспорт из Altium Designer**

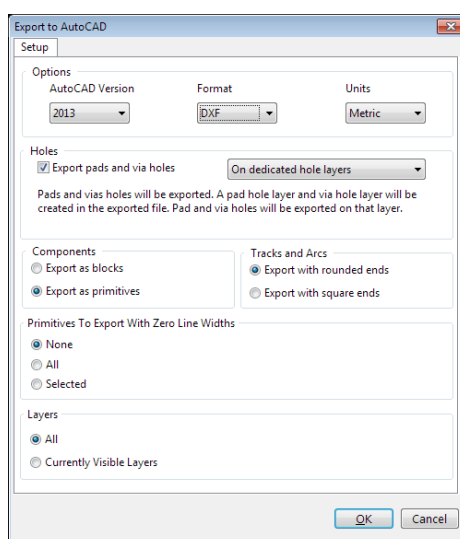
Для совместной работы между SolidWorks и Altium Designer есть несколько вариантов. Покажем один из них (через генерацию промежуточных dxf и step-файлов).

При экспорте из Altium Designer создадим два файла: step-модель платы, содержащая контур платы и 3D-модели компонентов, но не содержащая информации о дорожках; dxf-файл, в который нам понадобятся слои Top Layer (металлизация верхнего слоя), Mechanical 1 (контур платы), Mechanical 20 (предварительное размещение ячеек рамки).

Настройки экспорта step (по команде File – Export – STEP 3D).



Настройки экспорта dxf (по команде File – Export – DXF/DWG).

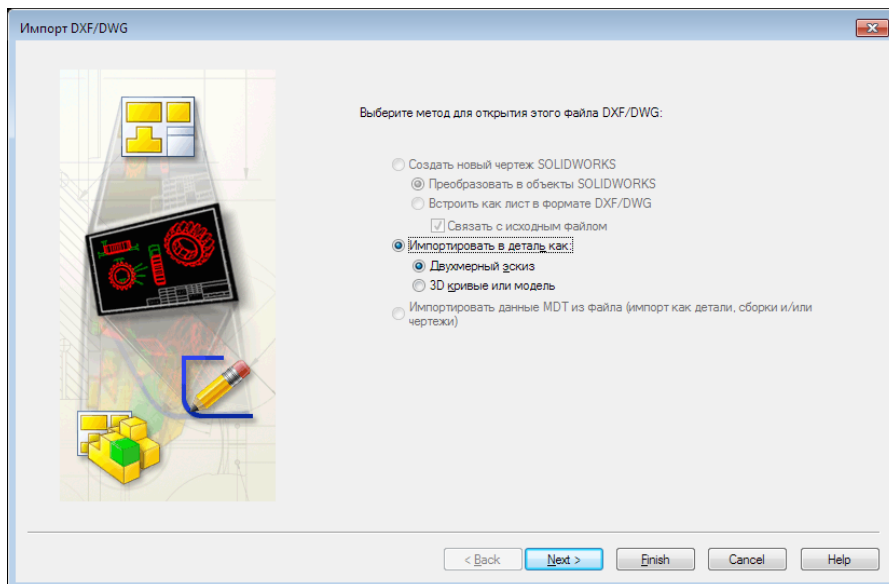


## Проектирование рамки

В SolidWorks создаём деталь. Оси в SolidWorks будем использовать так, чтобы на вверх смотрела ось Z.

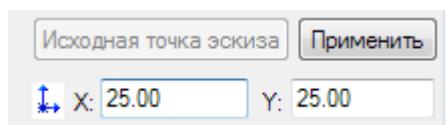
Импортируем контур платы, металлизацию верхнего слоя и предварительное размещение ячеек рамки в три отдельных эскиза на плоскости «вид спереди». Мы их будем использовать как информационные.

Начнем с контура платы. В дереве проекта выбираем вид спереди и по команде Вставка – DXF/DWG... запускаем импорт dxf.

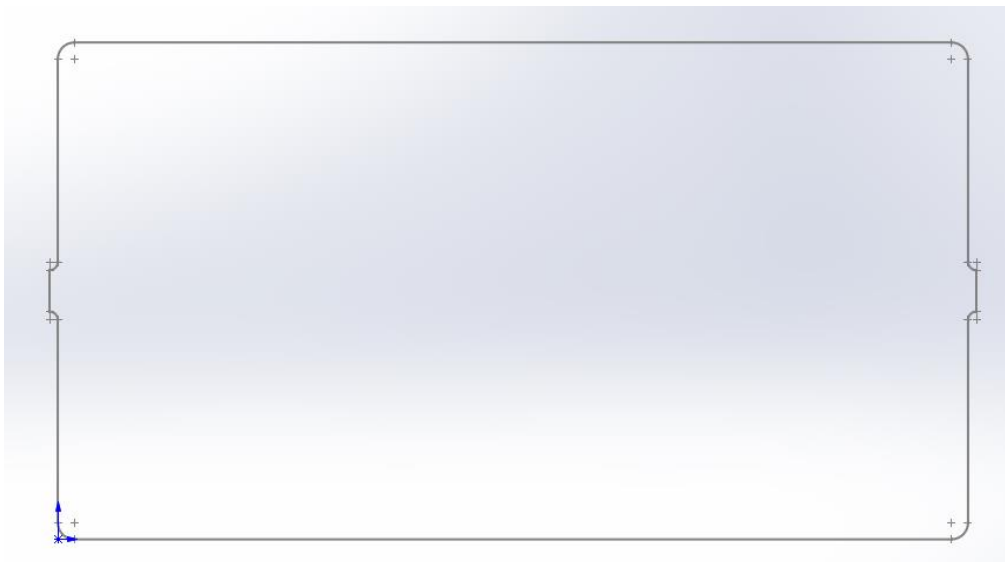


В списке импортируемых слоев оставляем только Mechanical1.

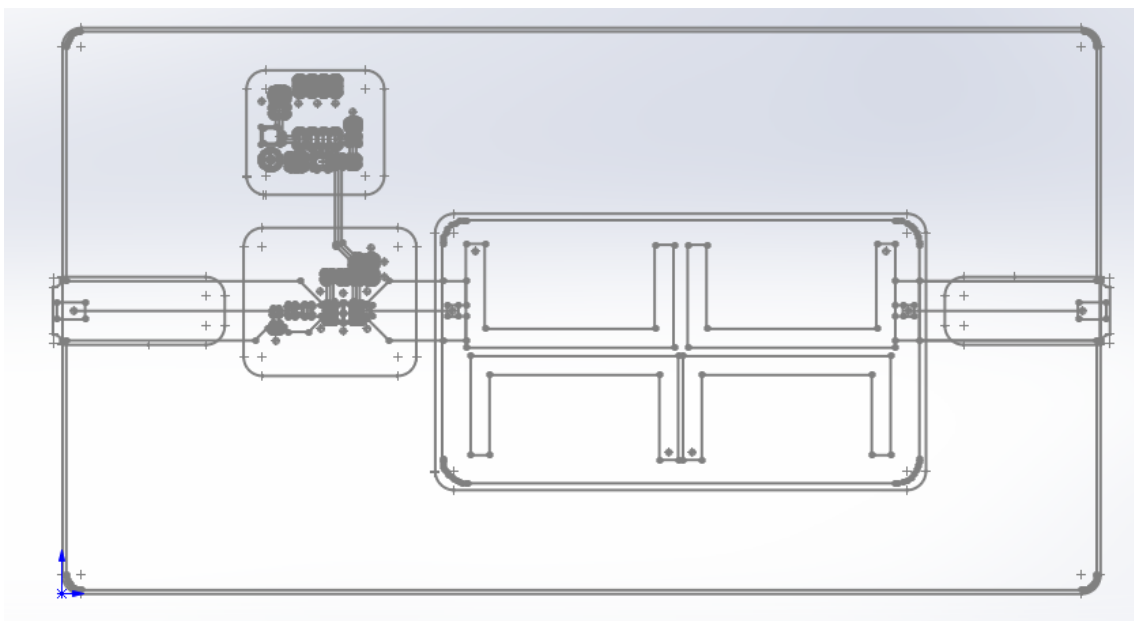
Altium Designer экспортирует dxf относительно нижней левой точки своего рабочего пространства (по умолчанию -25,-25), т.е. чертеж смещен. По кнопке «Исходная точка эскиза» смещаем центр на 25 по x и по y.



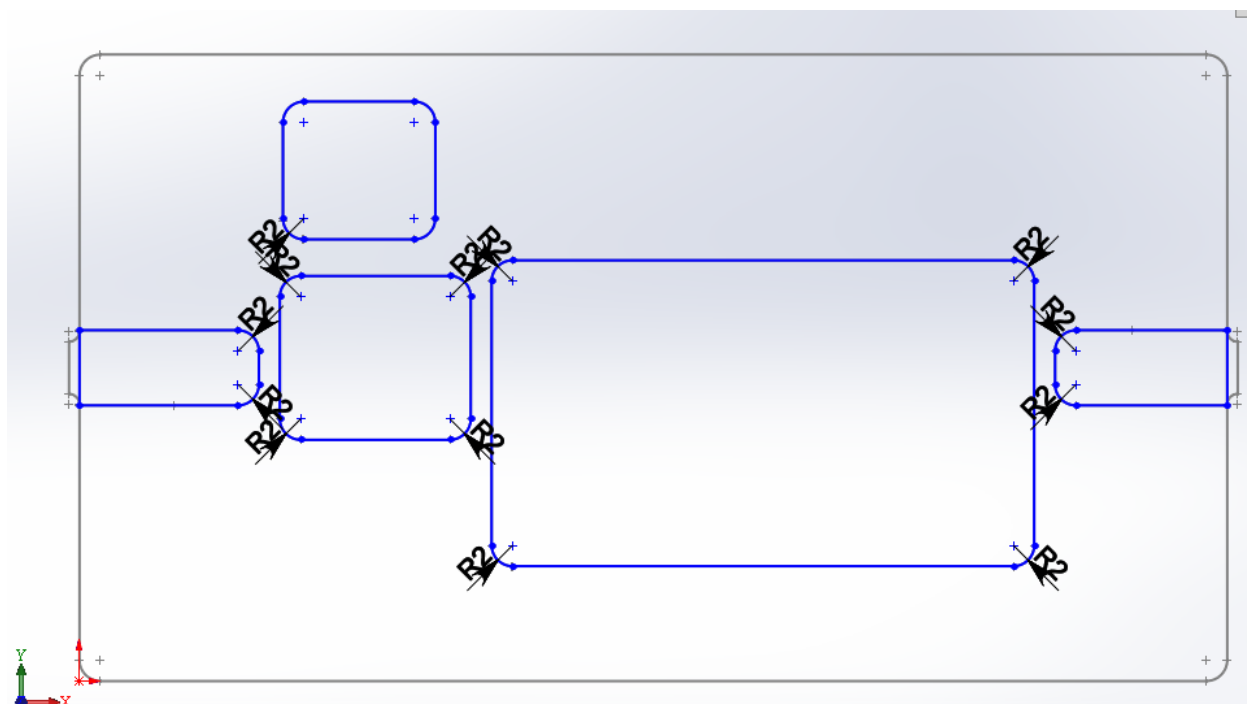
Завершаем импорт. Закрываем эскиз и переименовываем его в Board.



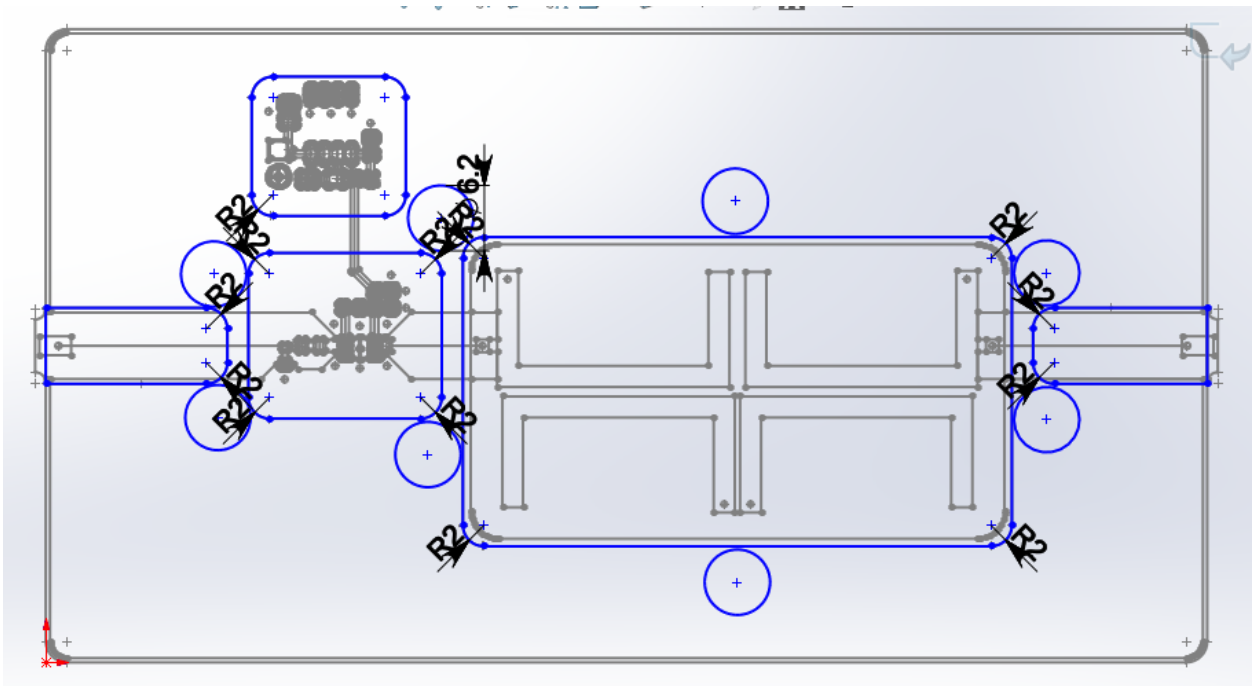
Аналогично импортируем Top Layer и Mechanical 20.



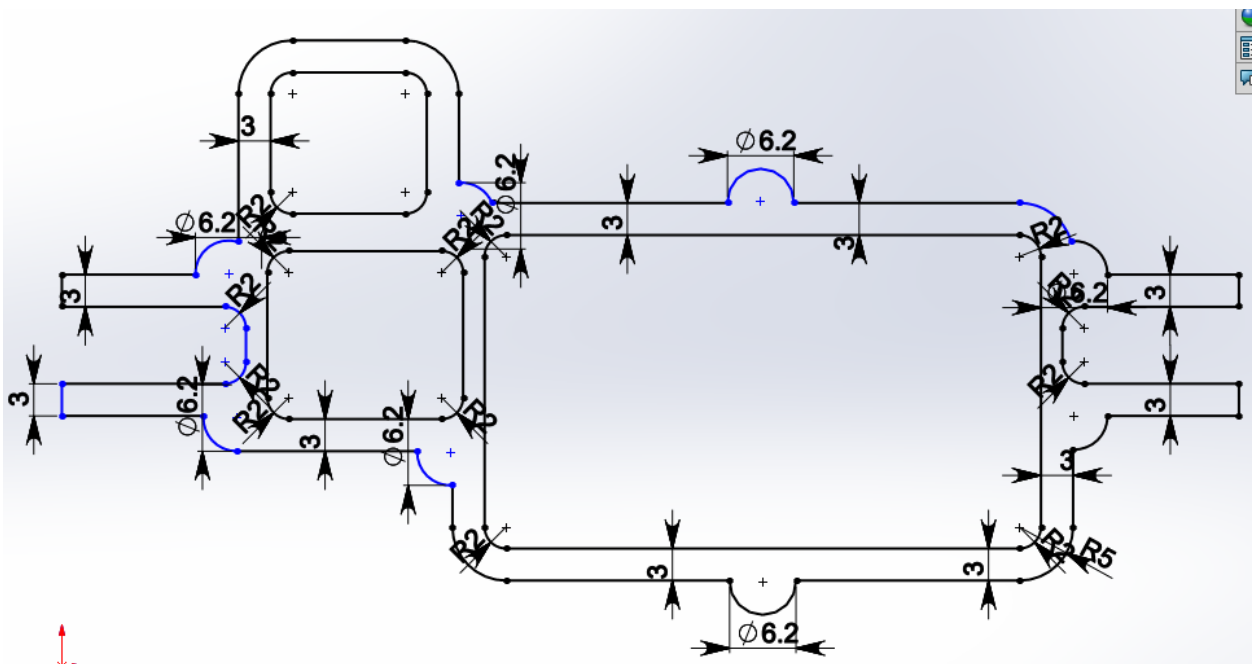
Создаем новый эскиз собственно рамки. Особенность внутренней работы Altium Designer (работа в долях дюйма вне зависимости от настроек платы) создает некоторые дополнительные проблемы. Просто копировать линии из эскиза Mechanical 20 нельзя, привязки и ограничения SolidWorks могут не отработать. Эти линии необходимо заново перерисовать.



Создадим окружности радиусом 6,2мм, показывающие места расположения крепежа и приливов для него. Располагать их надо в углах рамки и на длинных участках, где необходим прижим. При этом ориентируемся на эскиз Top Layer, чтобы не разместить отверстия поверх уже существующей разводки (кроме земляной заливки естественно).

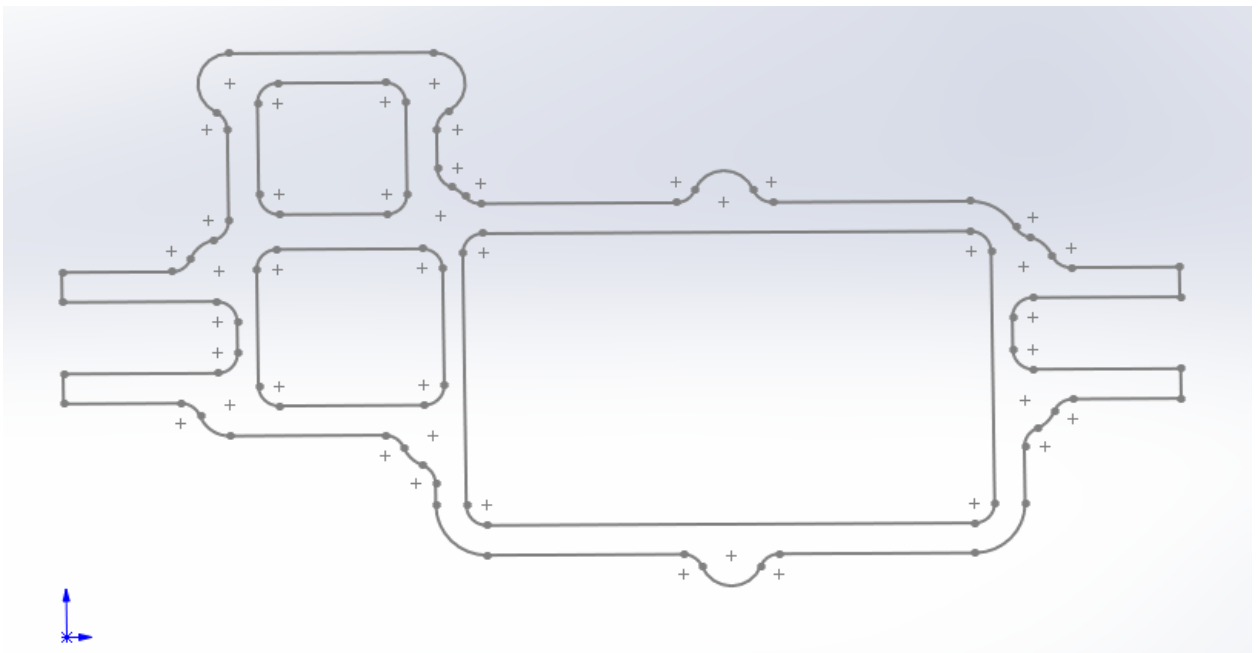


У нас в эскизе отмечены ячейки и необходимые приливы. Делаем далее внешний контур рамки, т.к. рамка должна быть как можно легче и ее не надо размещать там, где она не нужна. Толщину стенки делаем 3мм.

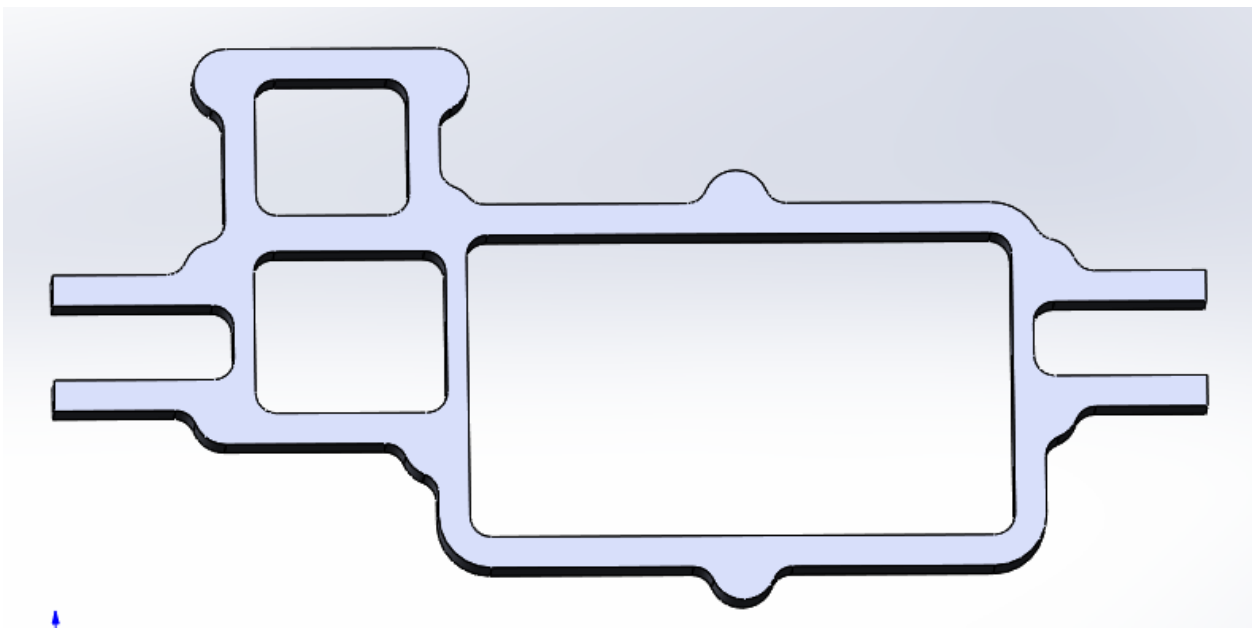


Окончательно сглаживаем появившиеся острые углы радиусом 2мм. закрываем эскиз.



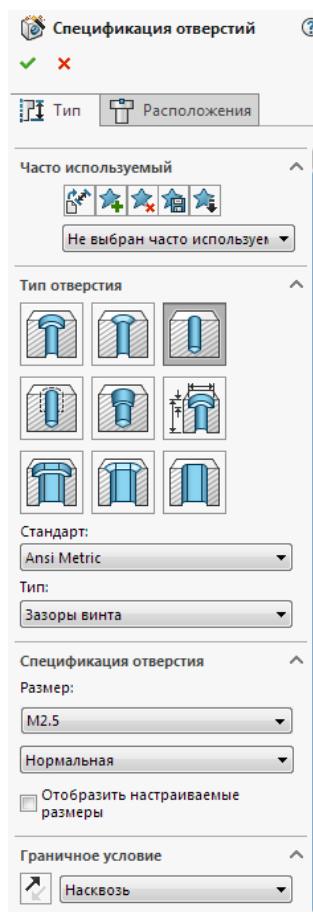


Вытягиваем вверх на 5мм (максимальная высота компонентов плюс запас).



Теперь создаем отверстия. Надо включить отображение эскиза рамки и включить быстрые привязки к точкам.

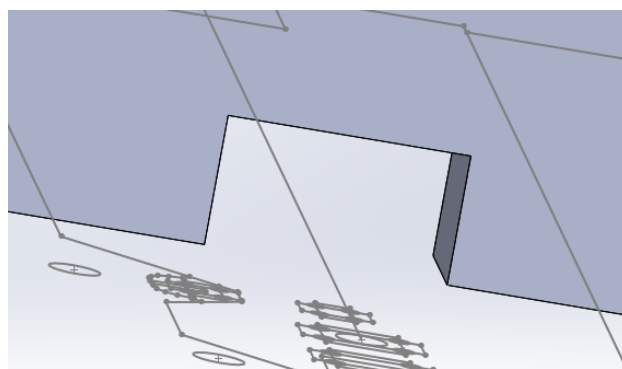
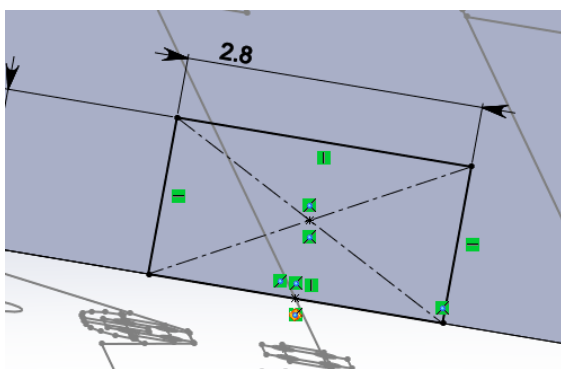
Запускаем инструмент Элементы – Отверстие под крепеж. Тип отверстия выбираем «Отверстие», стандарт «Ansi Metric», тип «Зазоры винта», размер «M2.5», граничное условие «насквозь». После переходим на вкладку расположение и ставим их в центрах приливов.



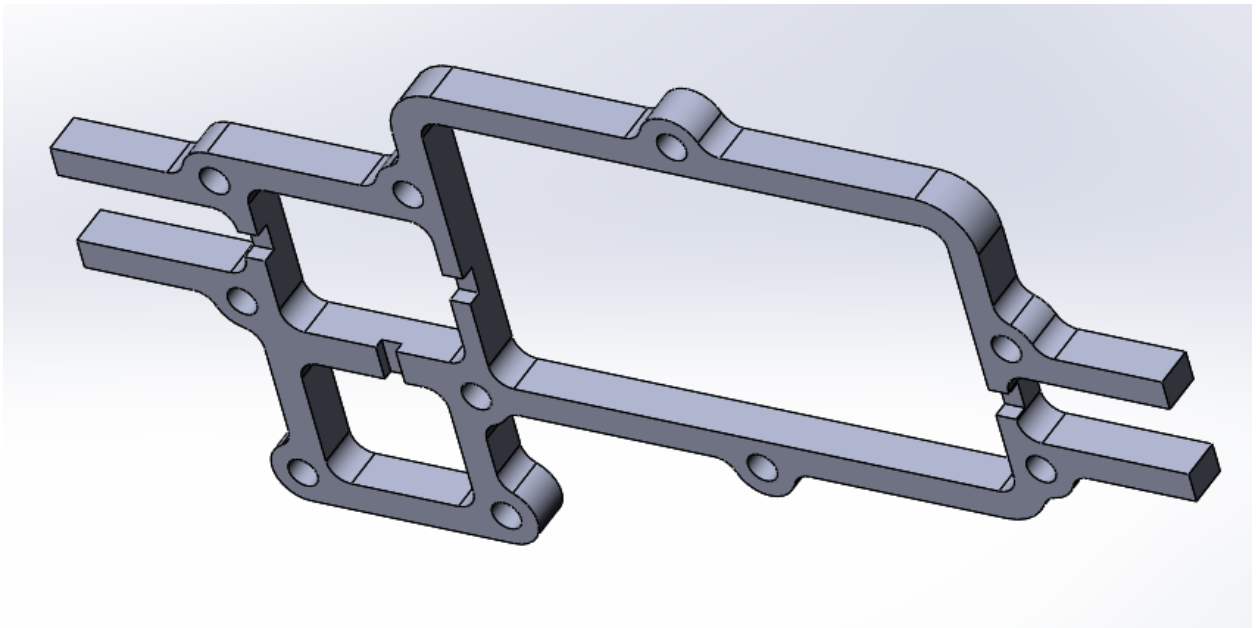
Теперь сделаем вырезы в нижней части рамки для подвода цепей под рамкой.

Вырез для СВЧ-линий будет шириной  $+0,7\text{мм}$  от их ширины (т.е.  $1,2+0,7*2=2,8\text{мм}$ ) и высотой  $1,5\text{мм}$ . Вырез для обычных полосков сделаем  $+0,5\text{мм}$  от краев.

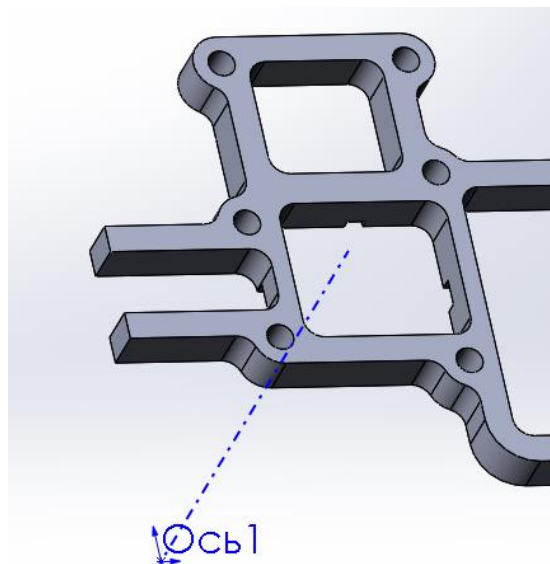
Отображаем эскиз Top Layer, для удобства можно включить вид «Разрез». Создаём эскиз в виде прямоугольника  $2,8 \times 1,5\text{мм}$ , центрированного по прохождению ВЧ-линии. Прорезаем им вытянутый вырез.



Аналогично для оставшихся мест.



Для удобства совмещения всех элементов конструкции добавим справочную ось вдоль оси z и из центра координат рамки.

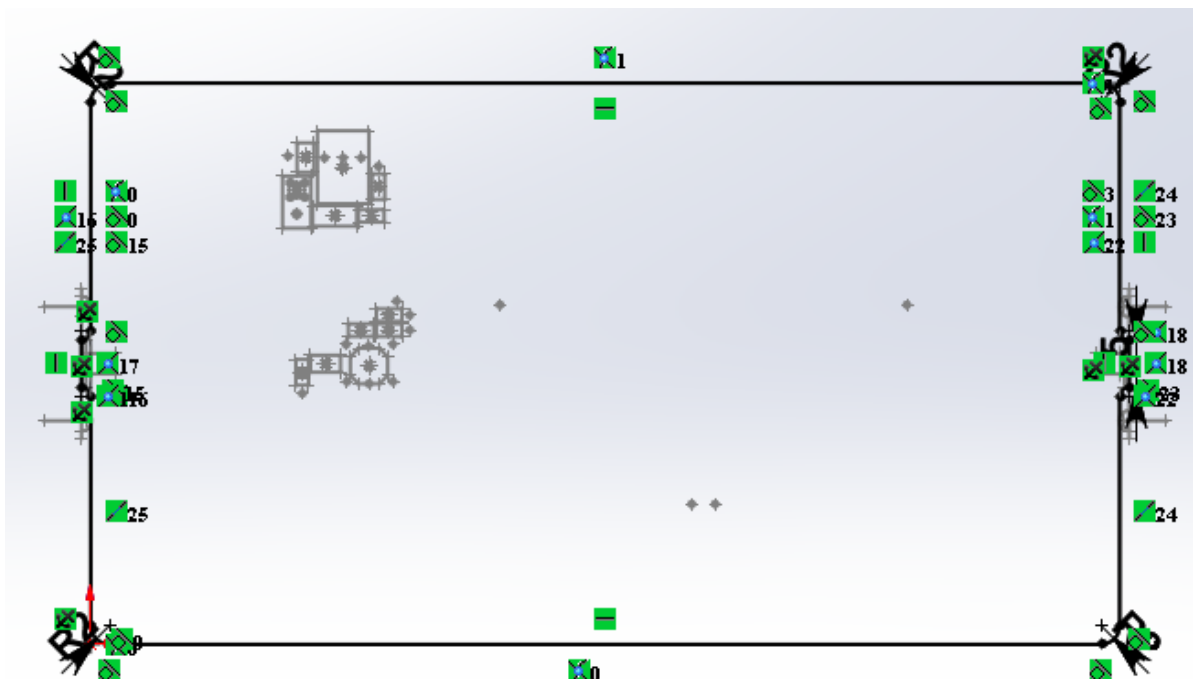


Рамка готова.

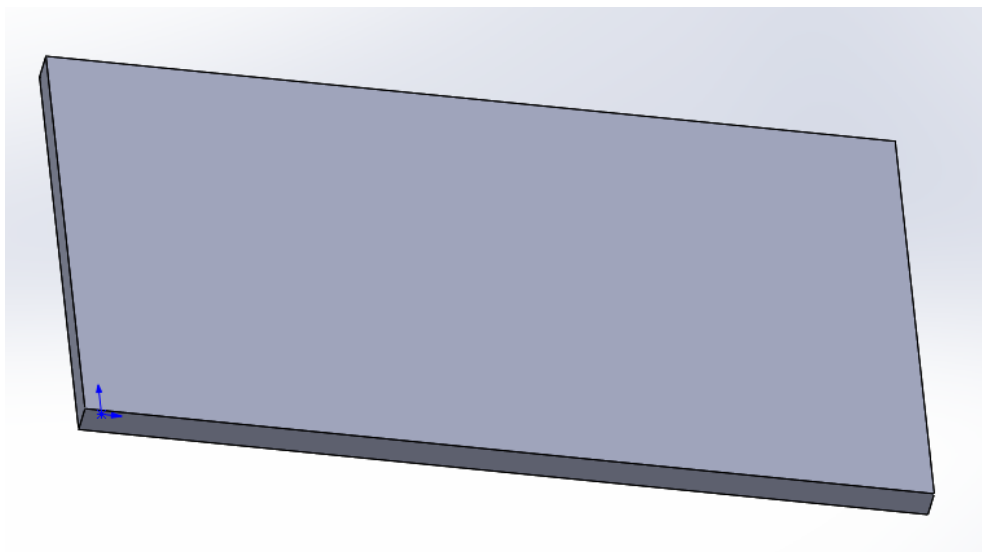
### Проектирование корпуса

Создаём деталь. Начинаем с того же, что и в рамке, только теперь нам понадобятся из dxf слои Mechanical1 (внешний контур платы), Mechanical 15 (границы размещения компонентов и специальные метки), Bottom Layer, PadHole Layer и ViaHoleLayer (проверка на необходимость делать выборки в основании корпуса).

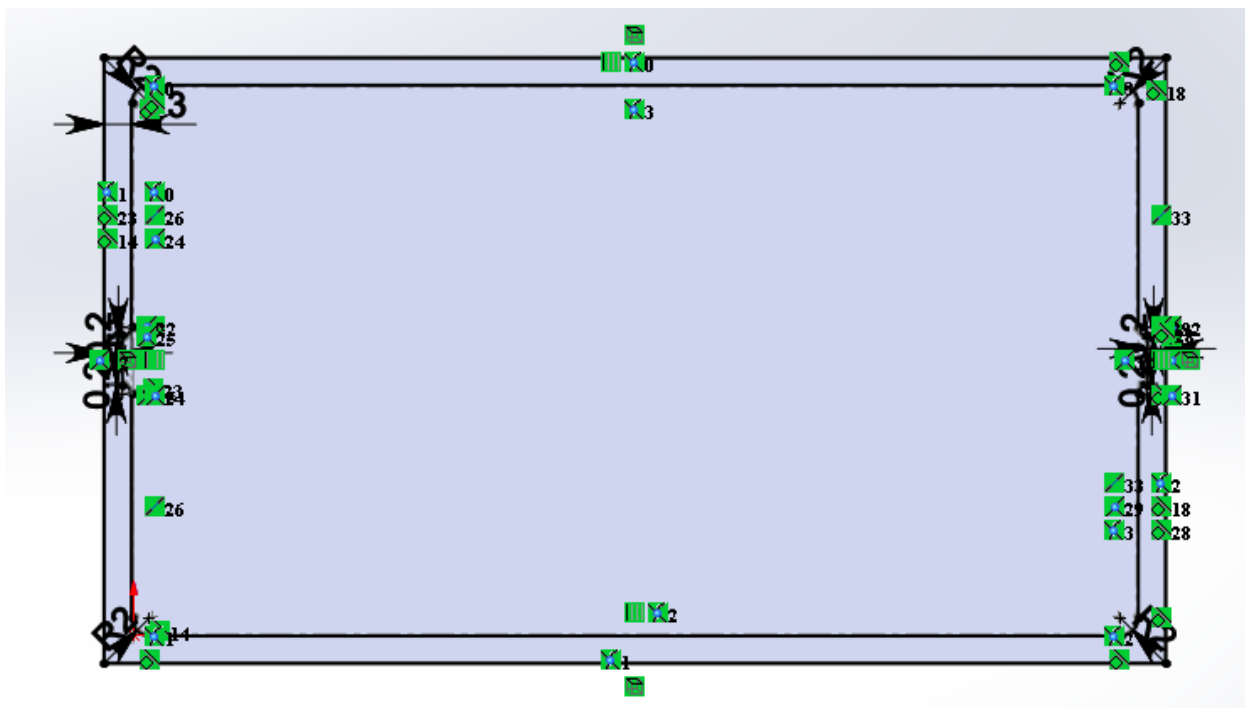
Подготавливаем базовый контур платы.



Создаем внешний контур габарита корпуса. Толщина стенок корпуса 3мм, плюс запас на точность габарита платы 0,2мм (3,2мм). Толщина основания будет 4мм.

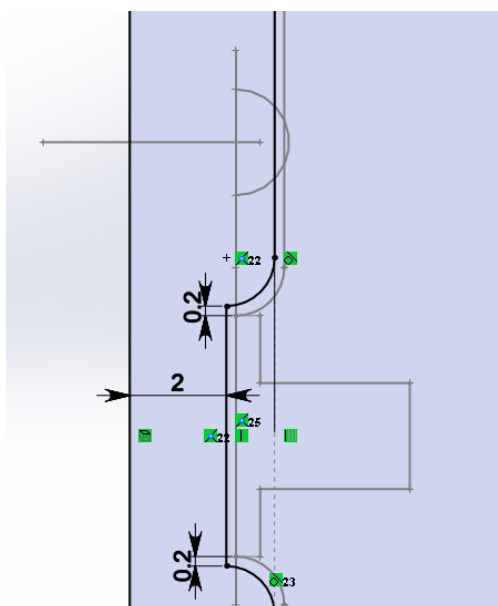


На верхней части основания создаем эскиз стенок. Отобразим опорный габарит платы и создадим линии, повторяющие контур платы на 0,2мм наружу от нее.

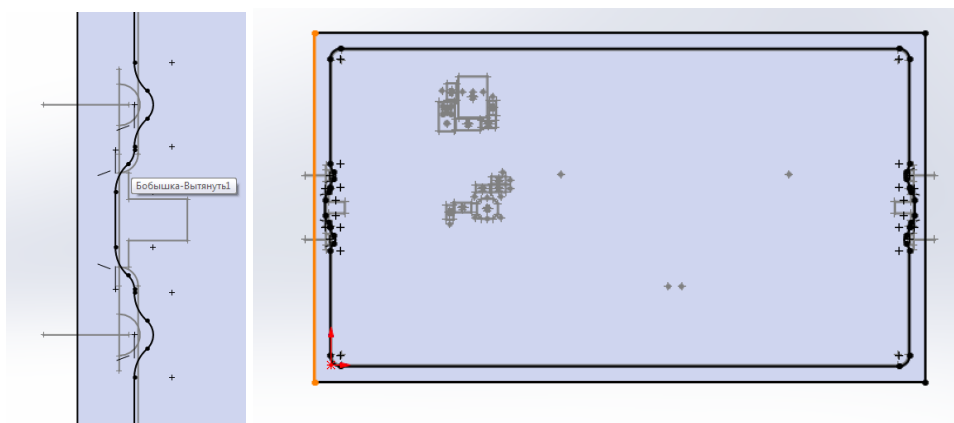


В первый раз за текущую работу элементы, которые мы добавим сейчас, повлекут за собой изменение платы в Altium Designer. Связано это с двумя составляющими. Для крепления SMA-разъемов на фланцах необходимо два винта, вкручиваемые вбок корпуса. Для достаточного их закрепления нашей толщины стенок 3мм недостаточно, надо довести толщину до 4мм. Вторая часть – необходимые приливы для крепежа крышки в углах платы.

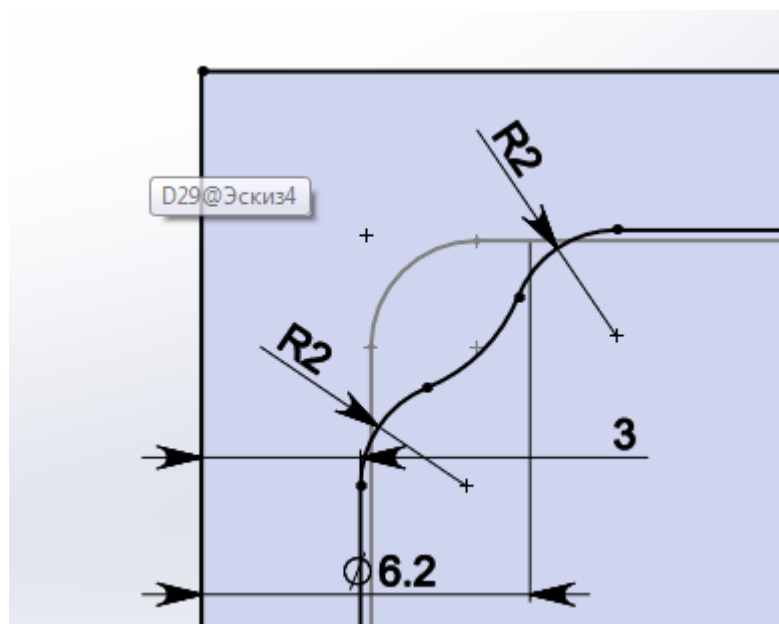
Создадим приливы для крепежа SMA-разъемов. При импорте из слоя Mechanical 15 места расположения этих отверстий отмечены при создании посадочного места разъема.



Создаем полуокружности радиуса 1мм в необходимых местах. Затем сглаживаем острые углы радиусов 2мм.

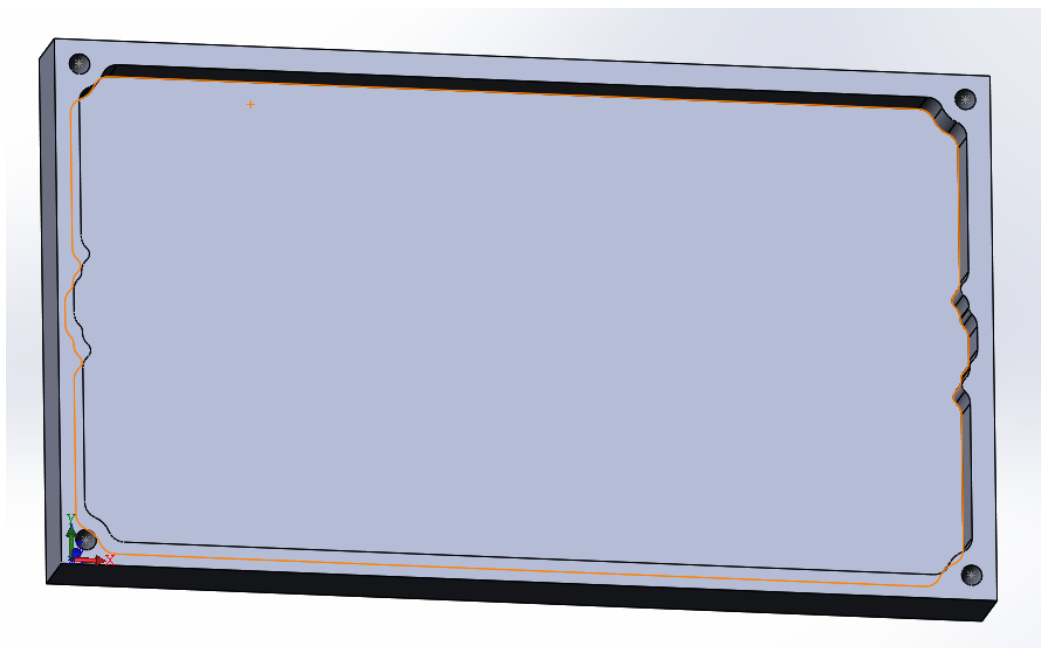


Далее создаем приливы в углах для крепления крышки. Делаем это также как с рамкой, при помощи временной окружности радиусом 6,2мм.

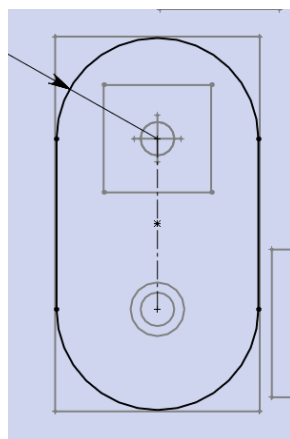


Стенки готовы. Вытягиваем их вверх на 5 (высота рамки)+0,5 (толщина платы) =5,5мм.

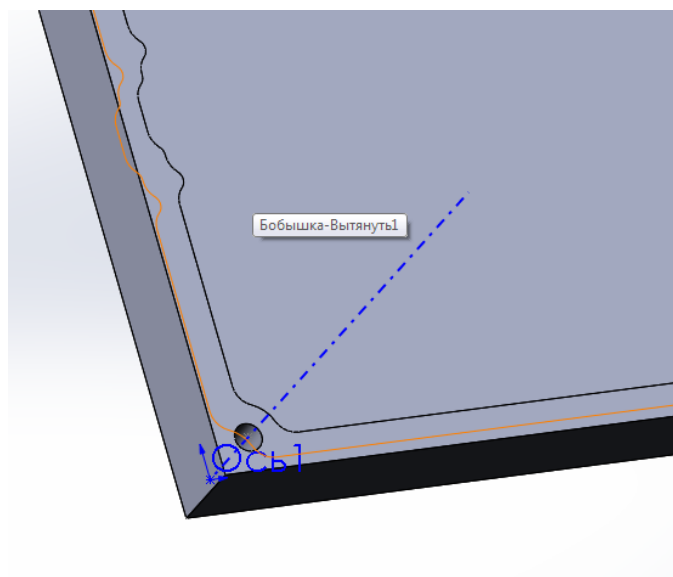
В углах, где добавлены приливы создаем отверстия глубиной 8 мм (рассчитывается на винт M2.5 длиной 10мм и толщину крышки 2мм).



У нас в печатной плате есть ситуация, когда на нижнем слое есть цепи, отличные от земли (вывод штыревого разъема ХР1). Для того, чтобы эти цепи не коротились по корпусу и чтобы они вообще влезли, под них надо сделать выборку. Глубина ~2мм, зазор от выводов сделаем +1мм (т.е. диаметр выборки не менее 3мм). т.к. эти выводы рядом, то создаем одну прорезь.



Также как и в рамке, для удобства совмещения создадим справочную ось z из центра координат.

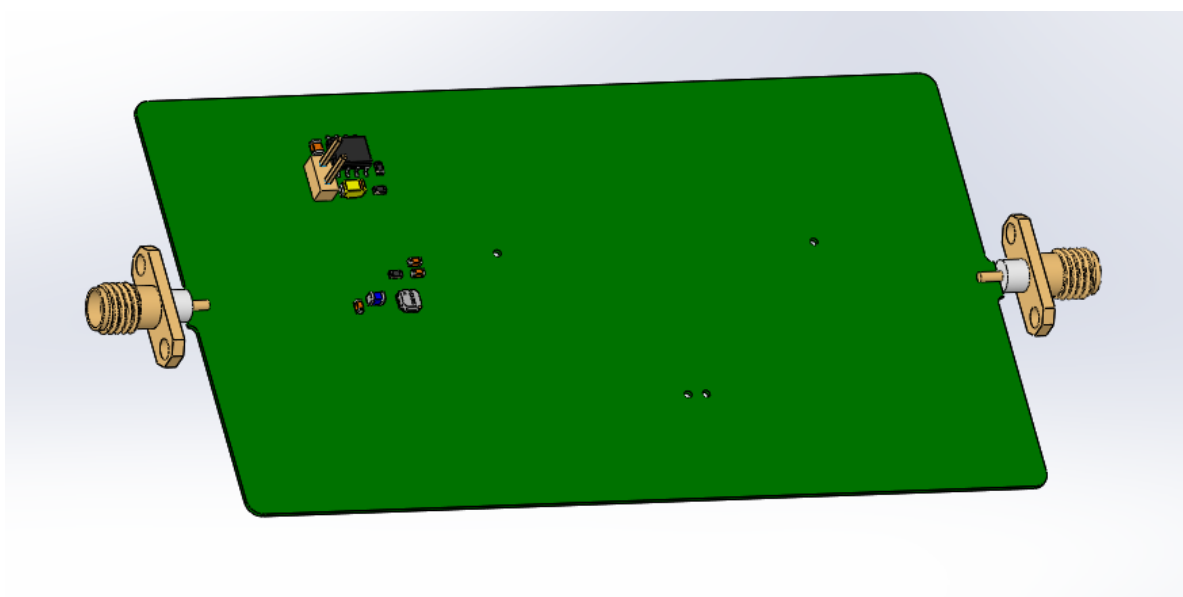


Отверстия под крепеж SMA-разъемов и сквозных через рамку делать будем при анализе сборки целиком.

### Анализ сборки

Создаем сборку пока без крышки.

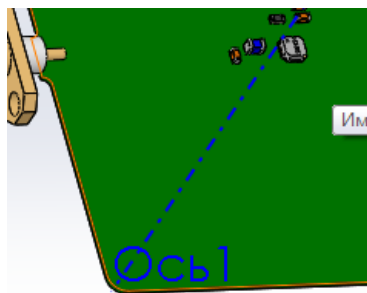
Начнем с импорта step-файла печатной платы.



В ней присутствуют все корпуса компонентов и некоторые отверстия в плате.

Для удобства, также добавим ось z из центра координат.



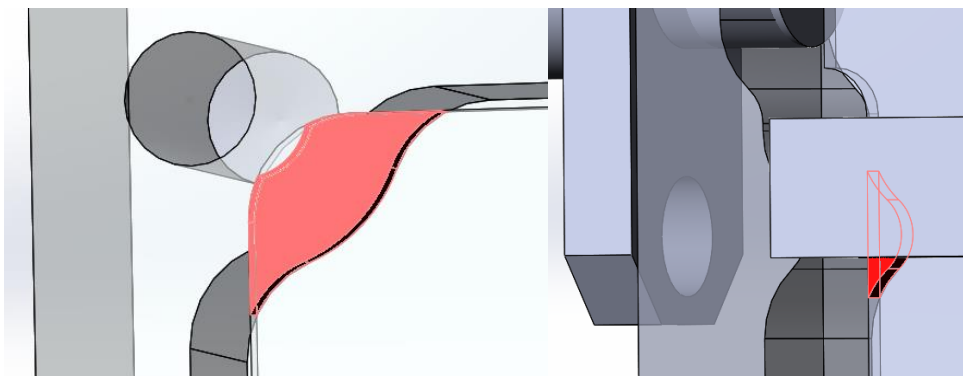


Создаем новую сборку, в которую вносим корпус, рамку и плату. Используя сопряжения (соединение поверхностей, соосность оси Z и параллельность одной из боковых граней) создаем полностью определённую сборку для анализа.

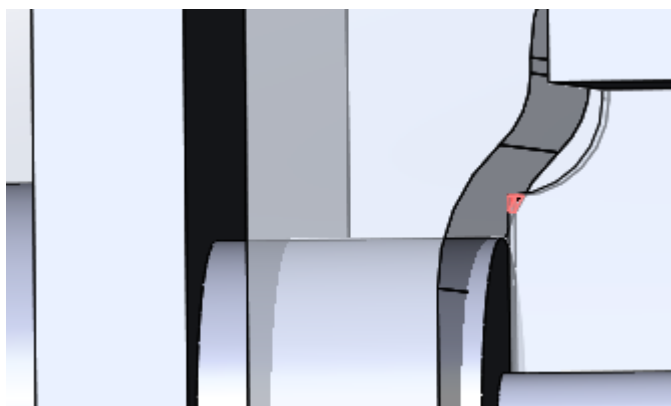
Проанализируем сборку, используя инструмент Анализировать – Проверка интерференции, а также визуальным осмотром.

Анализ говорит о следующих проблемах:

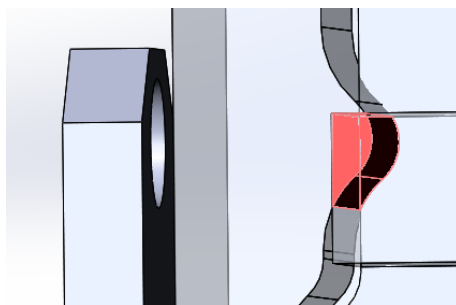
1. В углах и у СВЧ-разъемов приливы в корпусе накладываются на исходный габарит печатной платы.



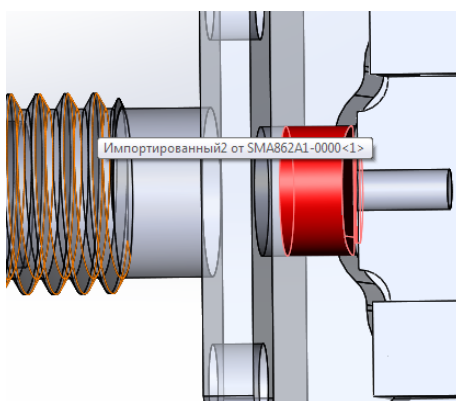
2. Выступ платы в месте СВЧ-вывода упирается в сглаженный вырез в корпусе.



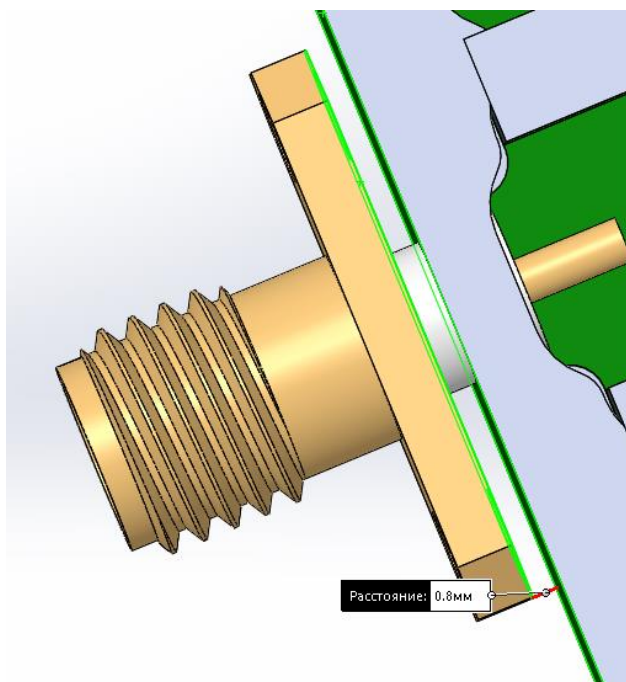
3. Неправильно спроектирован прилив и рамка в месте соединения СВЧ-разъемов.



4. Отсутствует отверстие в корпусе для фторопластовой втулки СВЧ-разъема.



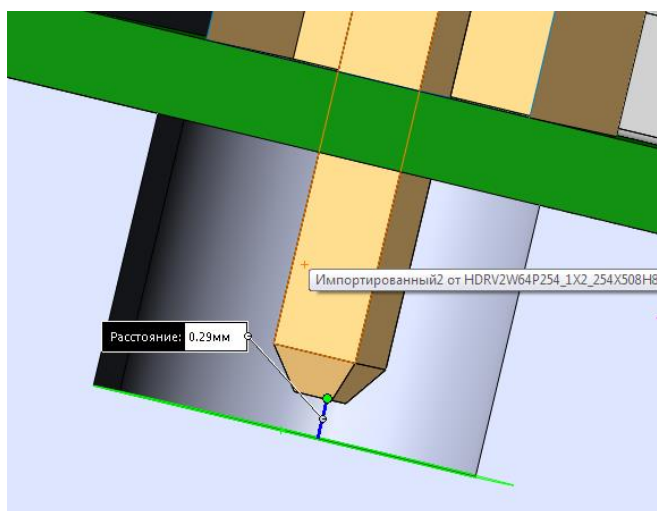
5. Мы сделали слишком большой выступ печатной платы для внешнего СВЧ-соединения. Разъем неплотно прижимается к корпусу.



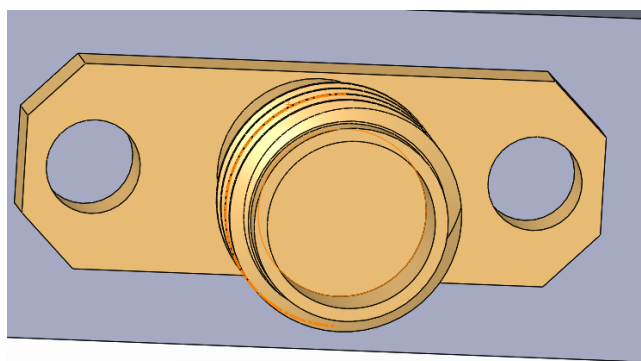
6. В плате и в корпусе отсутствуют отверстия под крепежные винты, проходящие сквозь рамку.



7. В выборке под штыревой разъем в основании слишком малый зазор от вывода до корпуса.



8. Отсутствуют отверстия под крепежные винты SMA-разъема.

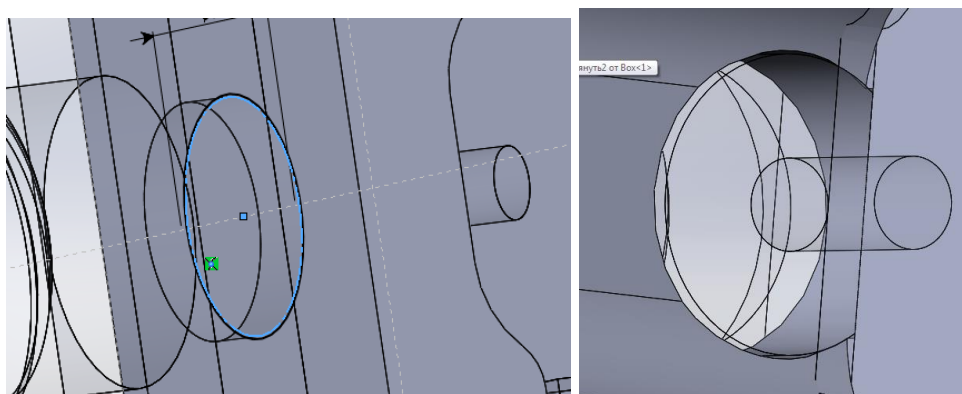


Часть этих проблем мы можем решить сразу в SolidWorks, для решения остальных необходимо править плату в Altium Designer.

### Исправление ошибок в SolidWorks

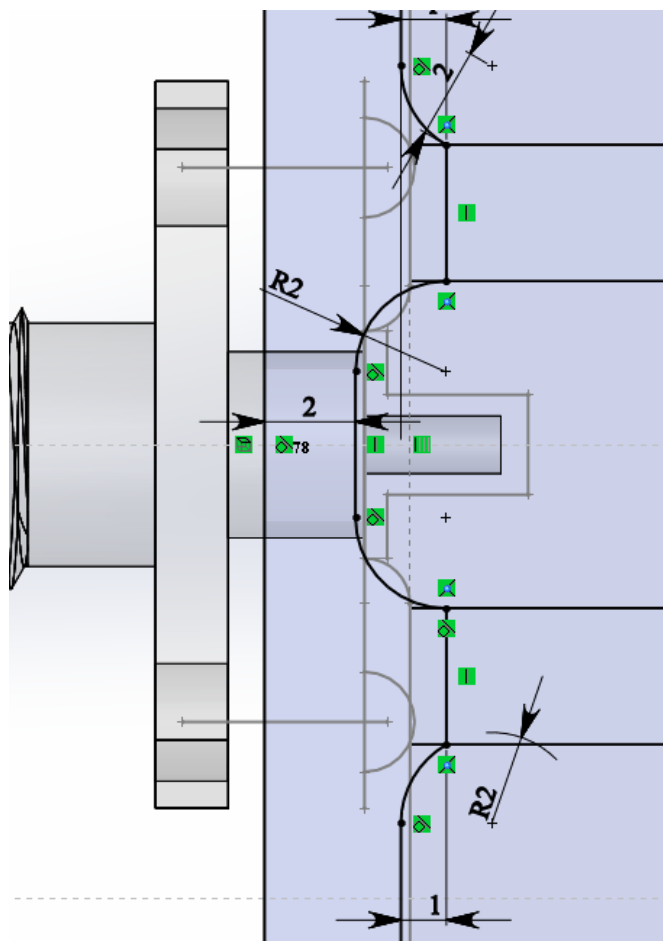
Отредактируем корпус не выходя из сборки. Для этого в дереве сборки выбираем корпус и команду редактировать компонент. У нас останутся все составляющие других деталей, что позволит использовать их точки для привязки.

Делаем отверстия диаметром 4,2мм для ввода фторопластовой втулки СВЧ-разъемов соосно с ней.

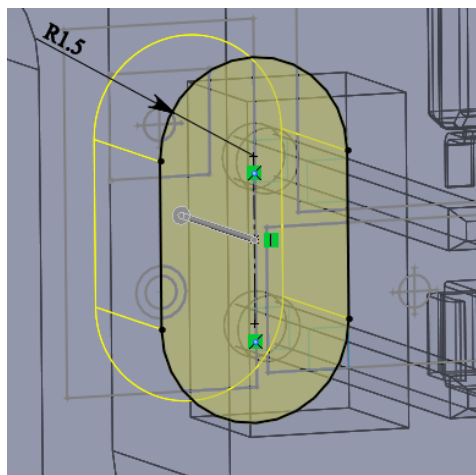


Прорезаем ими стенку корпуса.

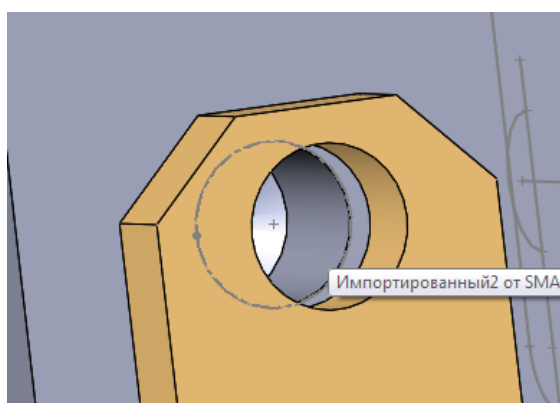
Правим приливы под крепление СВЧ-разъемов так, чтобы был нормальный выступ с прямой полкой для соединения с рамкой.



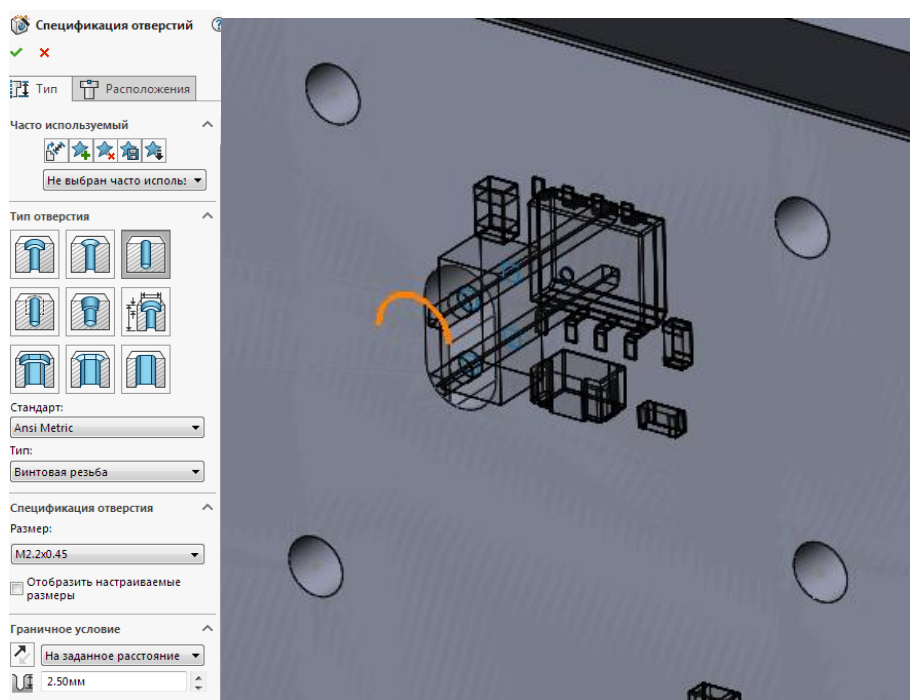
Углубляем выборку под штыревой разъем ХР1 на +0,8мм до 2,8мм.



Добавляем отверстия для крепежа SMA-разъемов. Крепеж M2.5, длиной 4мм, с учетом толщины фланца SMA-разъема в 1,6мм глубина будет 2,7мм.

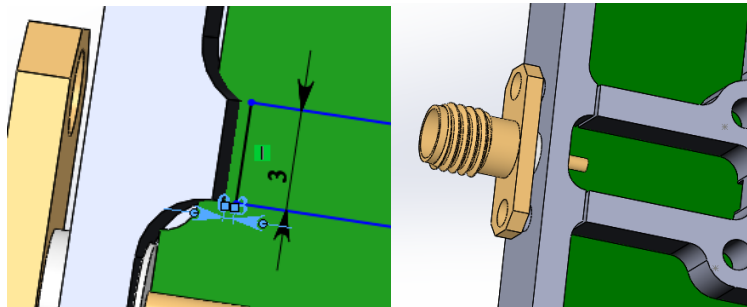


Добавляем отверстия тех элементов крепежа, которые проходят сквозь крышку и рамку. Глубина отверстия 2,5мм.



Теперь правим рамку.

Сокращаем длину хвостов до приливов так, чтобы остался зазор 0,3мм до приливов в корпусе.

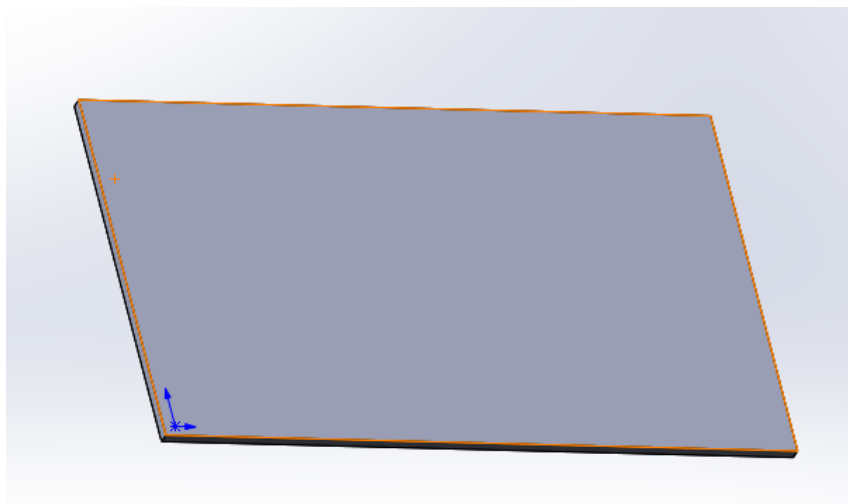


### Проектирование крышки

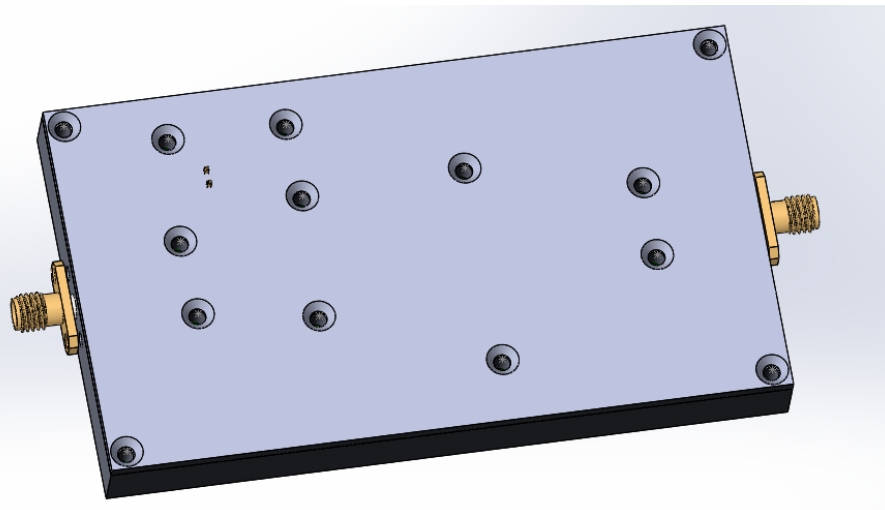
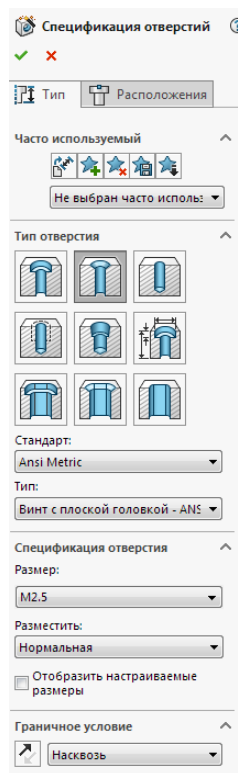
Создаем и добавляем в сборку крышку.

Крышка представляет собой прямоугольник размером с основание корпуса (66,4x116,4 мм) и толщиной 2мм сзенкованными отверстиями под крепеж.

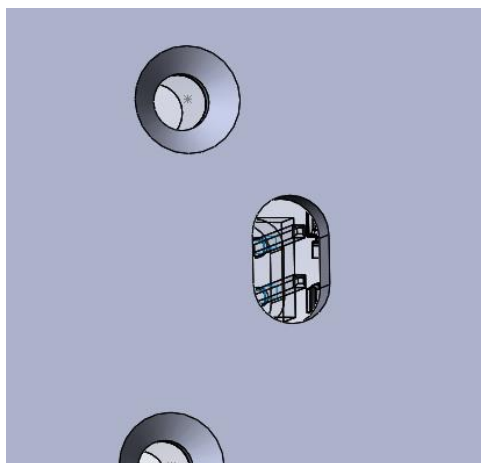
Также в ней создаем справочную ось z.



Добавляем в сборку и в сборке ставим зенкованные отверстия под винт M2.5 с потайной головкой.



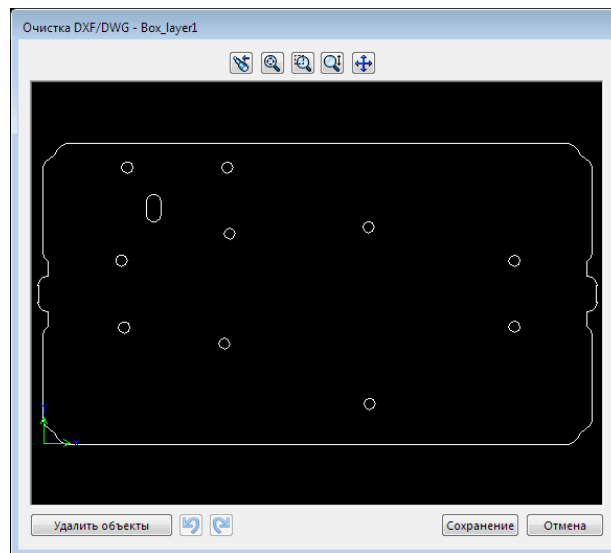
Делаем фигурный вырез для подключения выводов питания.



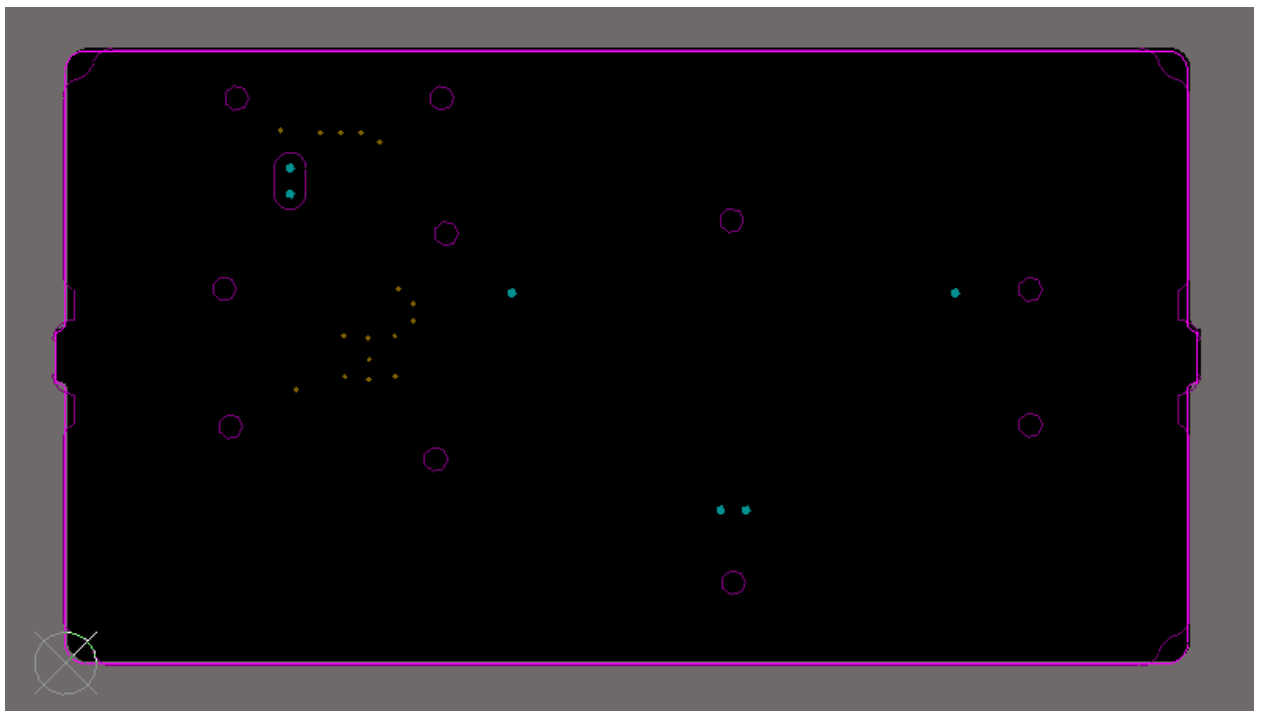
Крышка готова.

### Правка платы в Altium Designer

Далее нам надо поправить контур платы и проставить монтажные отверстия. Экспортируем в DXF грань корпуса, на которую кладется плата. Выбираем грань, ПКМ, Экспорт в DXF/DWG. Указываем имя файла, проверяем на предосмотре. Если все в порядке, то соглашаемся.

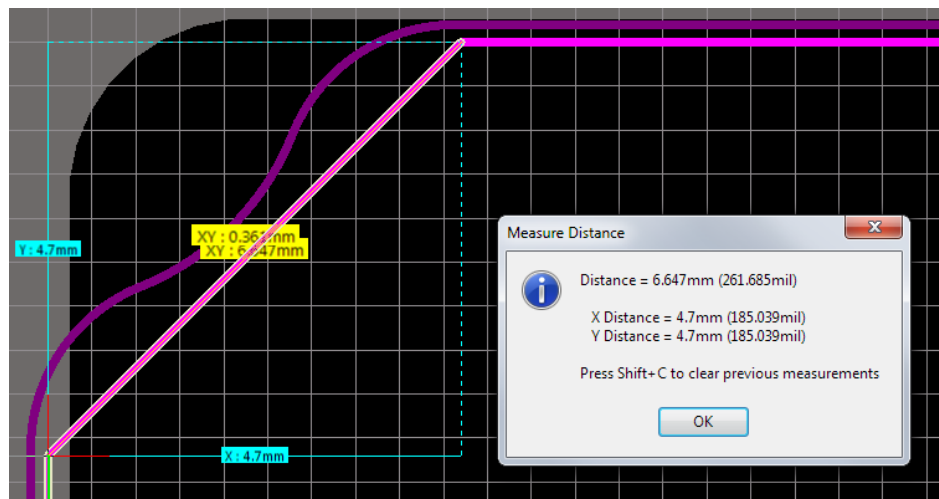


В Altium Designer импортируем эту грань корпуса во временный механический слой Mechanical 17 и совмещаем.

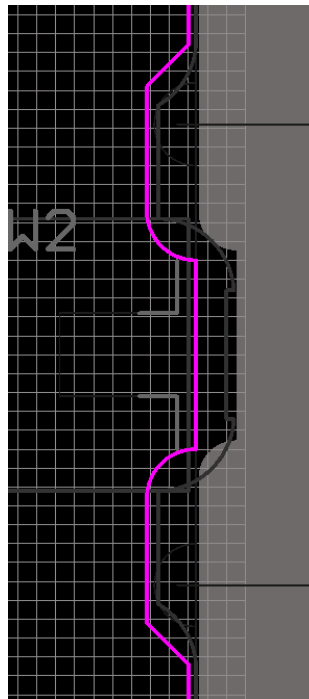


Правим внешний контур платы так, чтобы он был на 0,2мм вглубь от контура корпуса. В углах превращаем в срезанный под 45град на 4,7мм

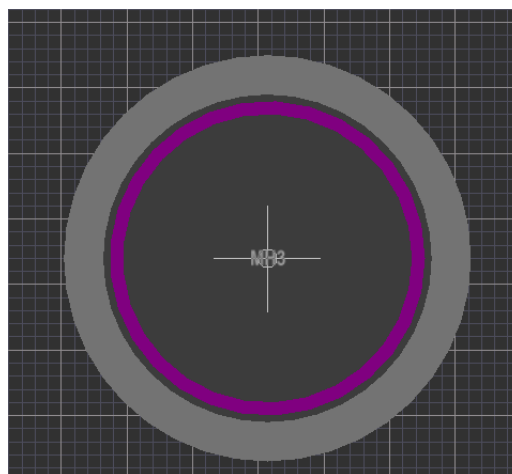
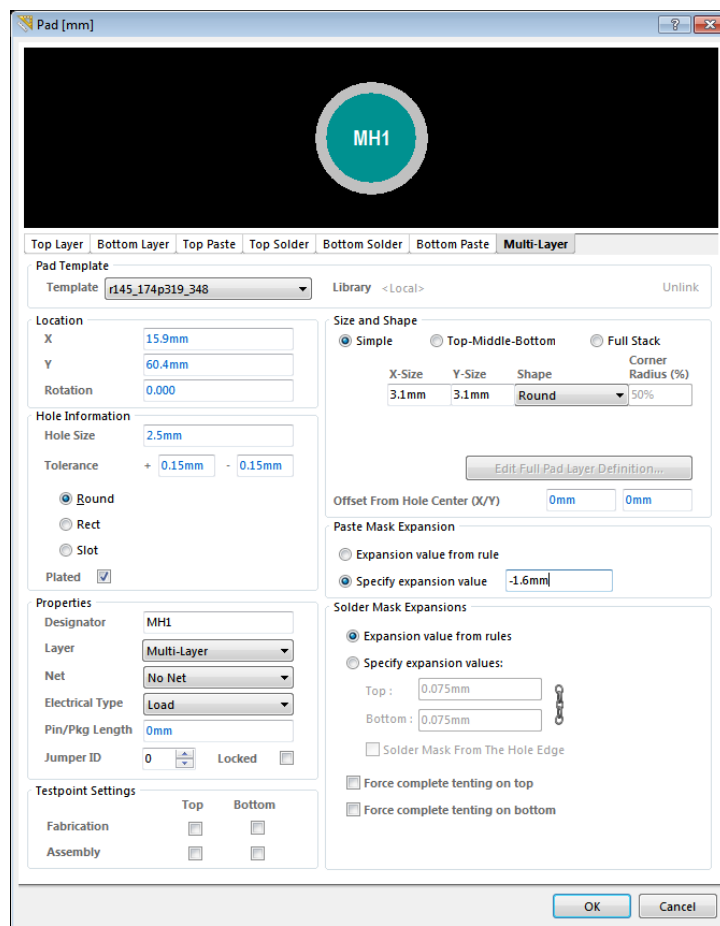




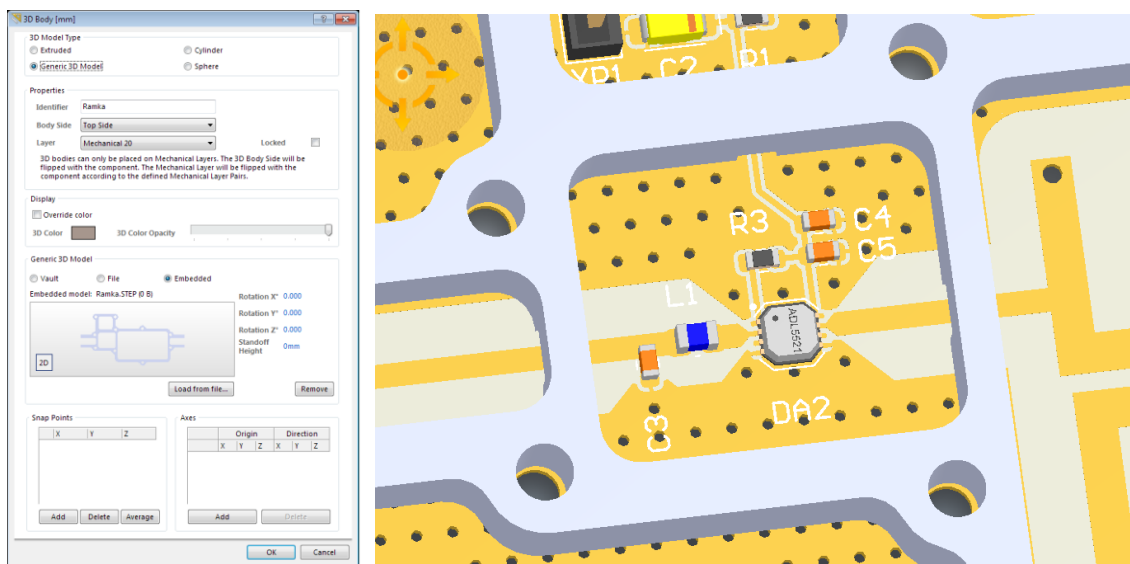
Сдвигаем на 0,8мм внутрь СВЧ-разъёмы. И также правим контур печатной платы. Обновляем весь контур платы.



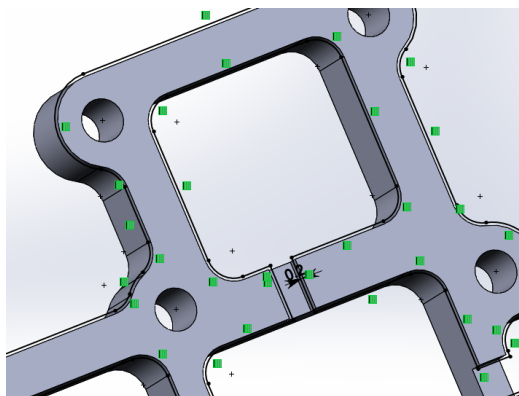
Далее необходимо проставить монтажные отверстия под крепеж. При генерации step-файла отверстия в 3D-модели платы создаются, только если отверстия находятся в составе падов (просто via не подходят). По команде Place – Pad ставим пады в виде контактных площадок со сквозным монтажом под винт M2.5. Для удобства пронумеруем их как МН1 – МН9 (Mounting hole).



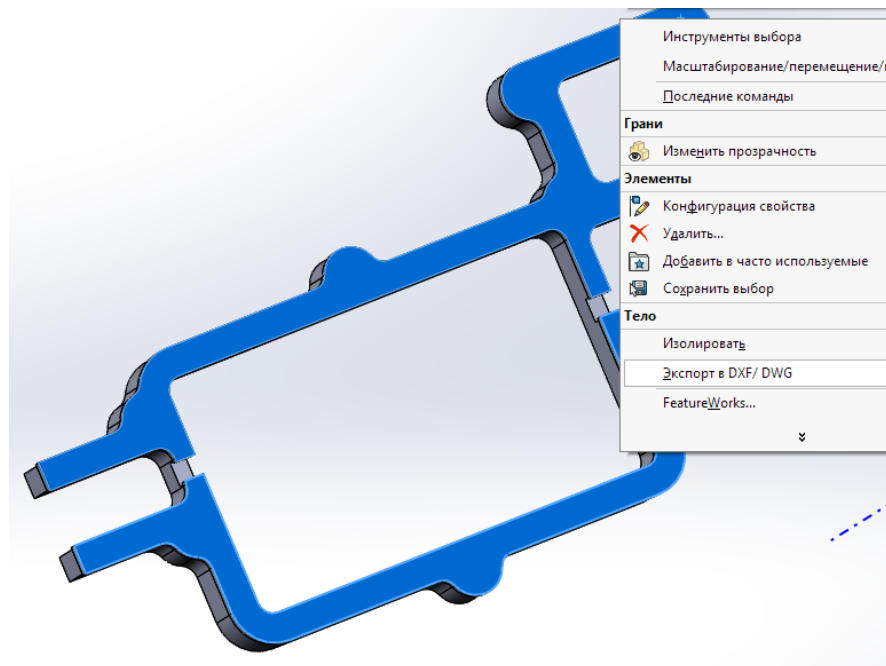
Переносим step-файл рамки как свободное 3D-тело в плату в слой Mechanical 20 (Place – 3D Body), для визуального контроля корректности расположения отверстий и проходов дорожек под вырезами в рамке.



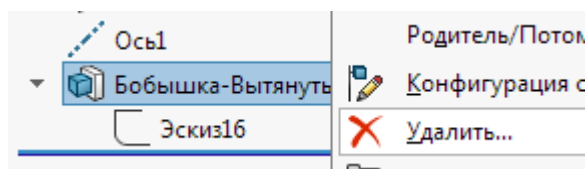
Рамка должна лежать на земляной заливке с хорошим контактом, т.е. должны быть сформированы вырезы маски под рамку с некоторым запасом 0,2мм. В Altium Designer нет удобных инструментов для автоматического увеличения или уменьшения полигона (polygon offset), но такой инструмент присутствует в SolidWorks. На нижней грани рамки создаем новый эскиз, и в нем с помощью инструмента «Смещение объектов» создаем смещенных наружу на 0,2мм два контура (два, т.к. разрезы под дорожки разбивают нижнюю грань рамки на две части).



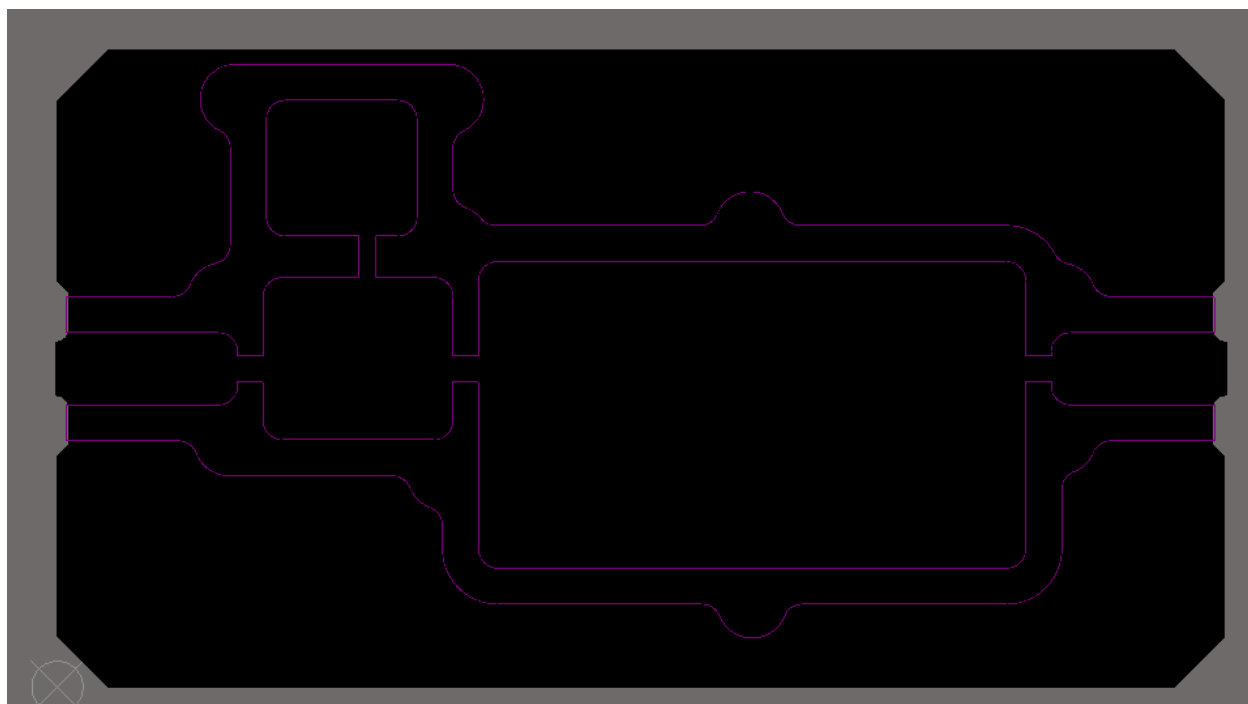
Экспорт в DXF напрямую из эскиза невозможен (ограничения SolidWorks), поэтому создадим временную бобышку, просто чтоб появилась новая грань. Контур под монтажные отверстия нет необходимости прорисовывать, т.к. в Altium Designer все равно они попадут в вырез маски. Затем экспортируем эти две грани в DXF (выбрав их одновременно).



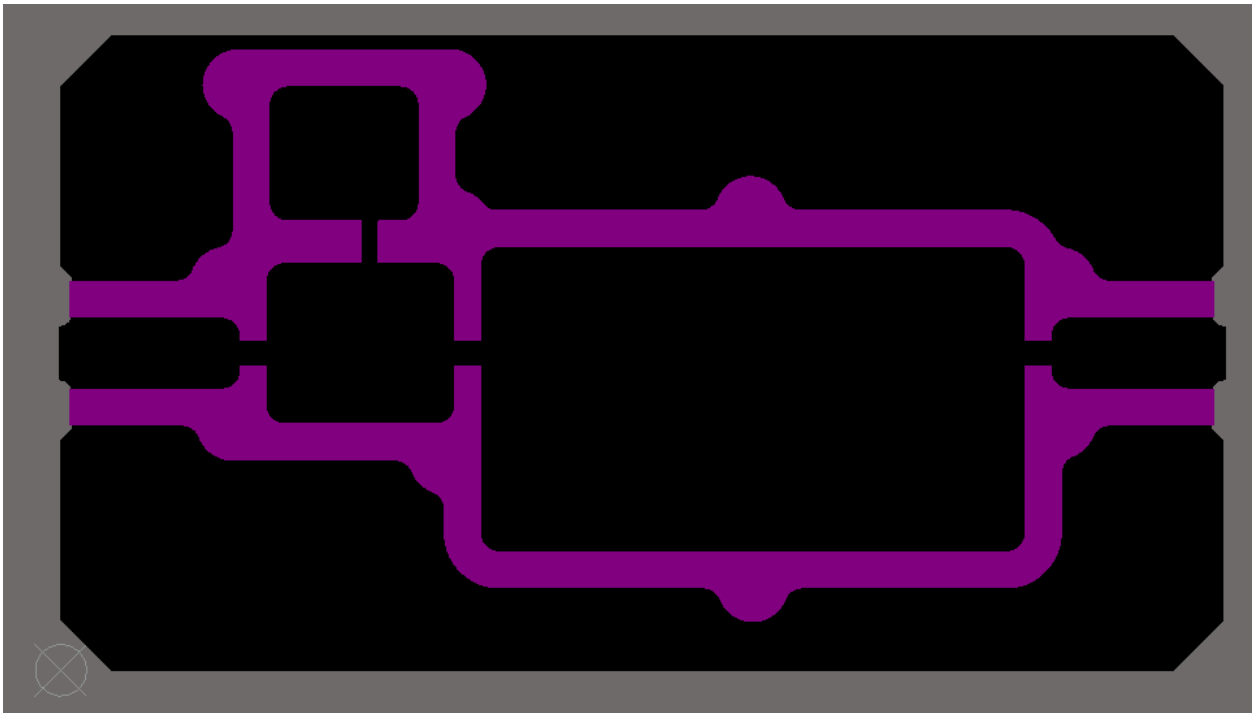
После надо не забыть удалить созданную для экспорта бобышку, иначе испортим рамку и общую сборку.



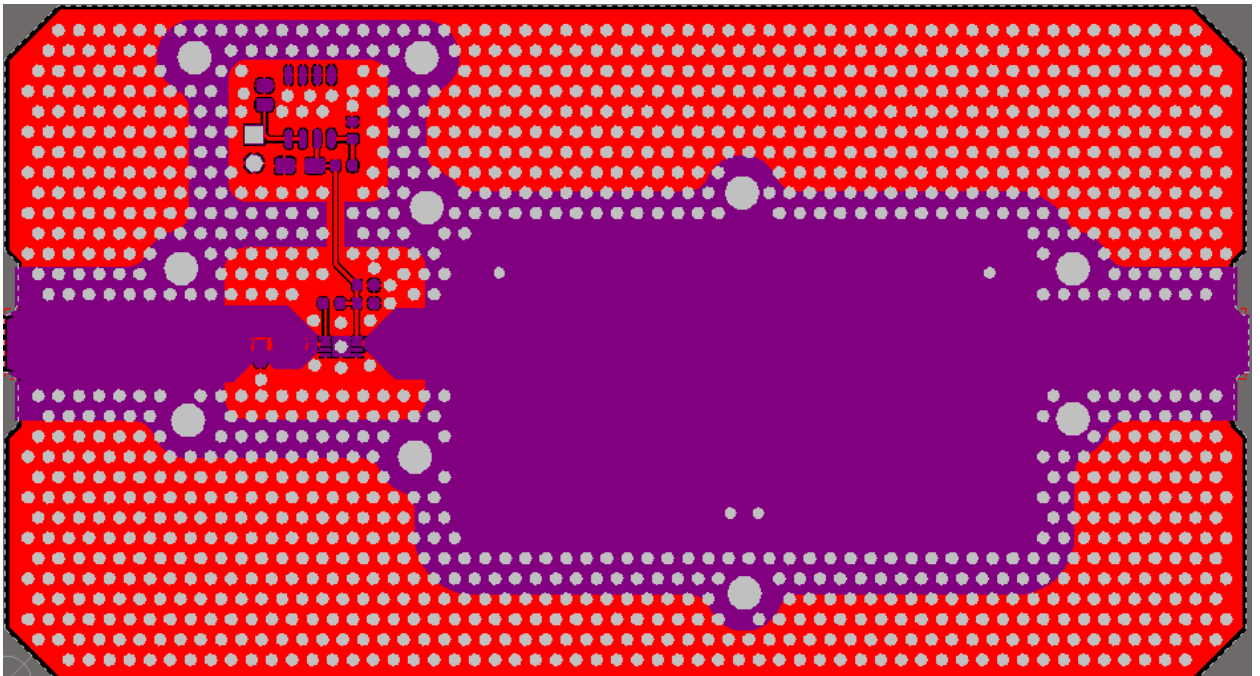
В Altium Designer втягиваем ее во временный слой Mechanical 18.



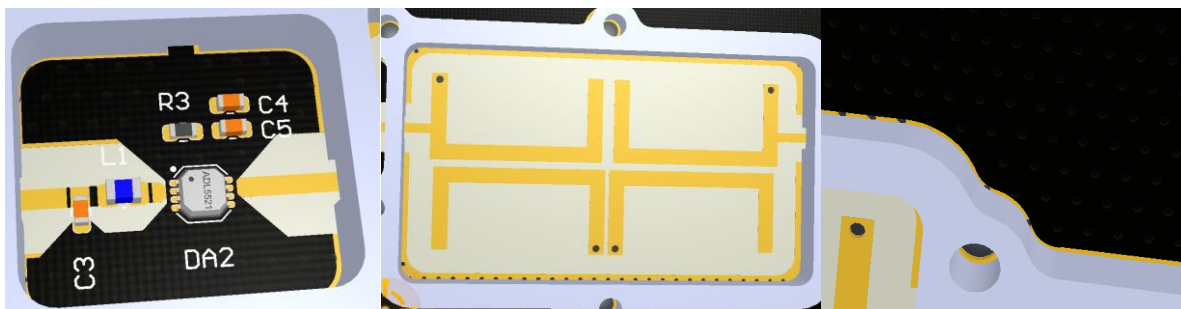
Через Convert – Create Region from Selected Primitives превращаем контуры в регионы и переносим их на Top Solder.



Далее на слое Top Solder делаем финальную маску с учетом того, что маска не наносится на вырезы вокруг СВЧ-линий, и необходимости масочных мостиков у падов отдельных компонентов. Там, где получаются бесполезные масочные мостики (например, внутри ячейки с фильтром и на входном участке), увеличиваем вырез маски во всю ячейку целиком.

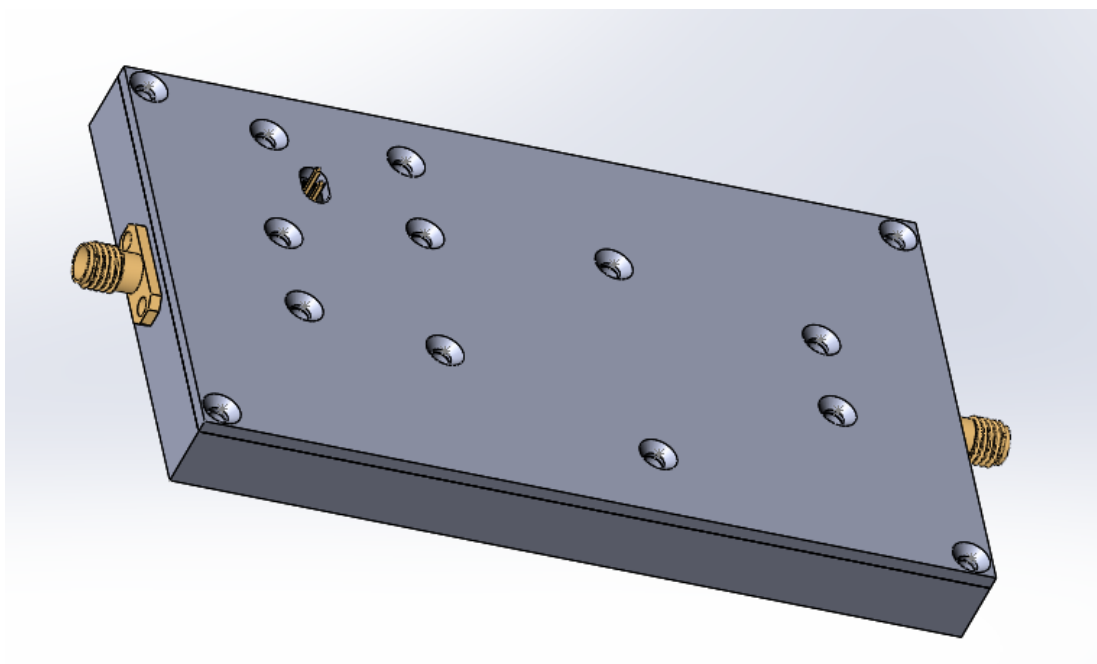


По окончании стоит в режиме 3D посмотреть, как рамка лежит на плате, чтобы визуально проконтролировать корректность расположения вырезов в маске.



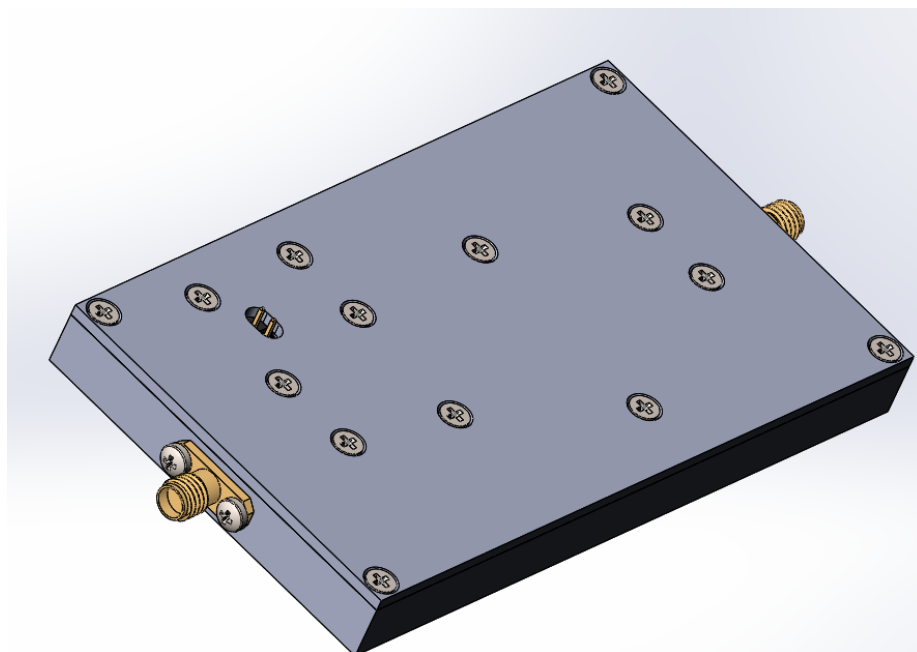
### Финальная сверка в SolidWorks

Экспортируем плату обратно в SolidWorks и пересобираем сборку.



Добавляем недостающие крепежные винты. Сверху винт M2.5 с плоской головкой под крестовой шлиц длиной 8мм, крепеж SMA-разъёмов осуществляем двумя винтами M2.5 с потайной головкой под крестовой шлиц длиной 4мм.

Можно воспользоваться инструментом «Автокрепежи», которая сама подберет подводящие винты используя созданные ранее отверстия под крепеж.



Финальная сборка готова.

Также как в главе Анализ сборки проверяем пересечения и визуально проверяем расположение отверстий и некоторых зазоров.

## **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. Лопаткин, А. Проектирование печатных плат в системе Altium Designer [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Лопаткин. — Электрон. дан. — Москва : ДМК Пресс, 2017. — 554 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/97334>

3. 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.

### ***Перечень ресурсов сети «Интернет»***

4. Тематический форум раздел «Разрабатываем ПП в САПР - PCB development», <https://electronix.ru/forum/index.php?showforum=17>, доступно после свободной регистрации

5. Сайт Eurointech, раздел «Учебные материалы» <http://www.eurointech.ru/education/selftraining/>

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

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

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

### ***Каналы Youtube с видеоуроками по SolidWorks***

8. <https://www.youtube.com/channel/UCtwaWPOXEBysZLh1rrPzwFw>

9. <https://www.youtube.com/channel/UCdgIwt21wO5GhWnSZ8g61zA>

### **Разработчик:**

Ст. преподаватель института МПСУ Приходько Д.В.