

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»

Н.И. Набокин, Д.Д. Капралов, В.В. Николаев

**Информационные технологии
проектирования электронных средств**

**Проектирование печатной платы с
радиоэлементами в САПР Altium Designer**

Учебное пособие

СПб ГУТ)))

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2018**

Набокин Н.И., Капралов Д.Д., Николаев В.В.

Информационные технологии проектирования электронных средств,
Проектирование печатной платы с радиоэлементами в САПР Altium Designer: учебное
пособие/ Н.И. Набокин, Д.Д. Капралов, Н.Н. Николаев; СПбГУТ. – СПб., 2018. – 76с.

Написано в соответствии с рабочей программой дисциплины «Информационные технологии проектирования электронных средств». Содержит теоретический материал по разделу «Проектирование печатной платы с радиоэлементами в САПР Altium Designer».

Рекомендуется для самостоятельной работы студентов при подготовке к упражнениям, коллоквиумам и экзаменам.

Предназначается для студентов технических направлений подготовки всех форм обучения.

Набокин Н.И., Капралов Д.Д., Николаев В.В., 2018
Федеральное государственное образовательное
бюджетное учреждение высшего профессионального
образования «Санкт - Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», 2018

| | |
|---|----|
| Оглавление | |
| Ознакомление с интерфейсом Altium Designer..... | 4 |
| Лабораторная работа 1. Создание проекта печатной платы..... | 8 |
| Лабораторная работа 2. Создание библиотеки электронных компонентов.... | 16 |
| Лабораторная работа 4. Создание условно графического обозначения элемента в Schematic Library..... | 22 |
| Лабораторная работа 5. Создание посадочного места компонента и добавление Footprint для отображения 3D модели..... | 26 |
| Лабораторная работа 6. Формирование схемы электрической принципиальной..... | 35 |
| Лабораторная работа 7. Проектирование печатной платы..... | 38 |
| Лабораторная работа 8. Настройка правил проектирования печатных плат.. | 41 |
| Лабораторная работа 9. Размещение компонентов на печатной плате..... | 48 |
| Лабораторная работа 10. Трассировка печатной платы. Готовая печатная плата..... | 56 |
| Варианты задания к лабораторным работам по проектированию платы согласования интерфейсов..... | 75 |

Ознакомление с интерфейсом Altium Designer.

При запуске программы Altium Designer 17 появляется основное рабочее пространство рис. 1.

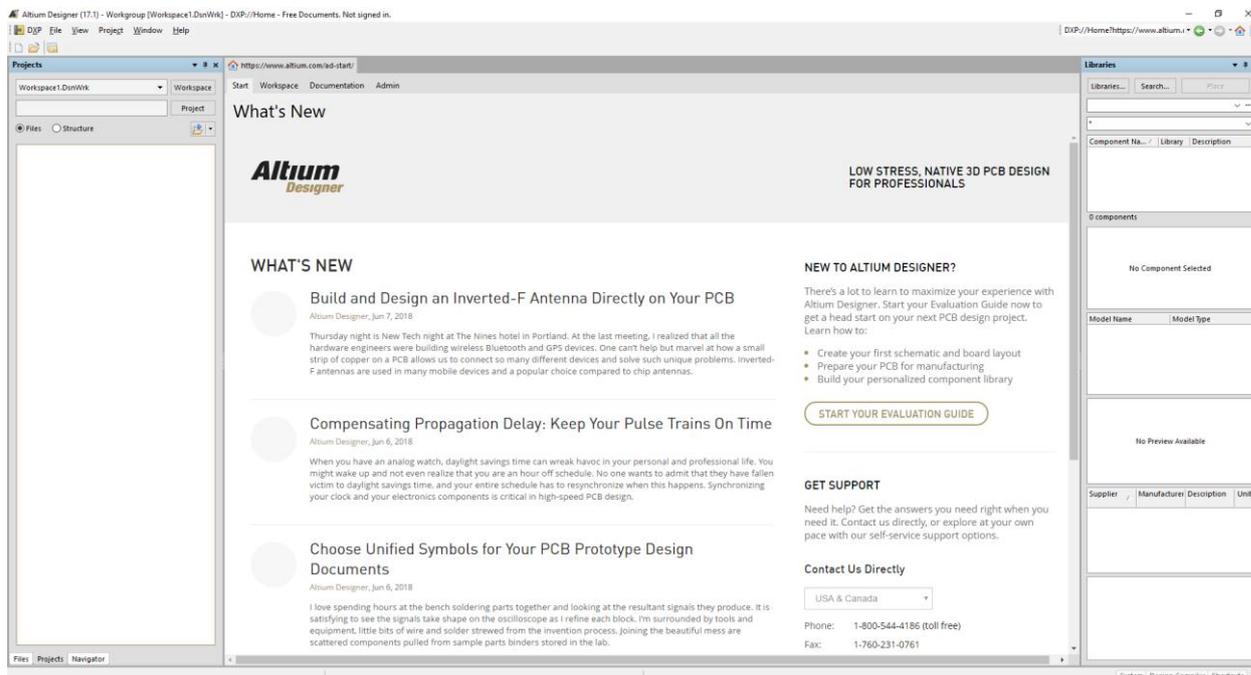


Рисунок 1 – Рабочее пространство Altium Designer

В Altium Designer есть несколько рабочих панелей. На рис. 2 показана панель Project, предназначенная для отображения всех проектов, открытых в текущем рабочем пространстве проектирования (Design Workspace), включая документы, входящие в их состав; также присутствуют все открытые документы, не входящие в состав проекта или добавленные к существующему открытому проекту.



Рисунок 2 – панель Project

Панель Libraries, представлена на рис. 3, является хранилищем компонентов, топологических посадочных мест и других моделей, и предоставляет возможность для обзора и размещения этих компонентов из доступных библиотек Altium Designer.

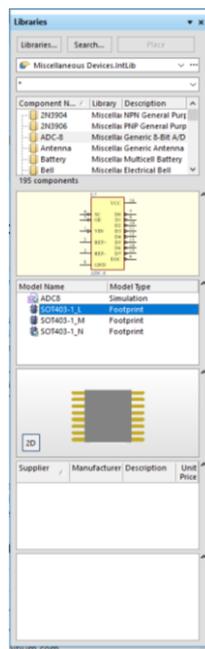


Рисунок 3 – панель Libraries

На рис. 4 показана панель PCB, которая позволяет просматривать созданную печатную плату, используя различные режимы фильтрации для определения типов объектов или элементов проекта, их редактирования и проверки свойств.

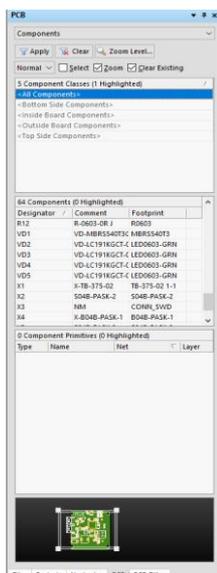


Рисунок 4 – панель PCB

На рис. 5 изображена панель PCB Library, в которой можно просматривать и редактировать топологические места компонентов. Панель отображается только при открытии файла библиотеки PcbLib.

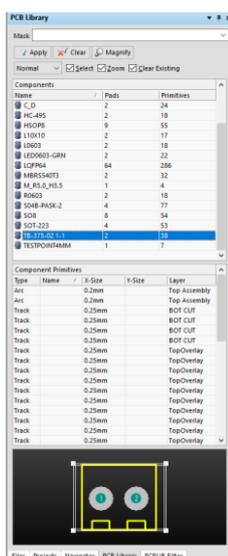


Рисунок 5 – панель PCB Library

При нажатии правой кнопки мыши по рабочему пространству окна Projects можно увидеть список документов возможных к созданию в новом проекте печатной платы (рис.6):

- Schematic — создание электрической принципиальной схемы;
- PCB — проект печатной платы;
- Schematic Library — библиотека схемных обозначений;

- PCB Library — библиотека топологических посадочных мест элементов;
- Text Document — текстовый документ;
- Other — прочие документы.

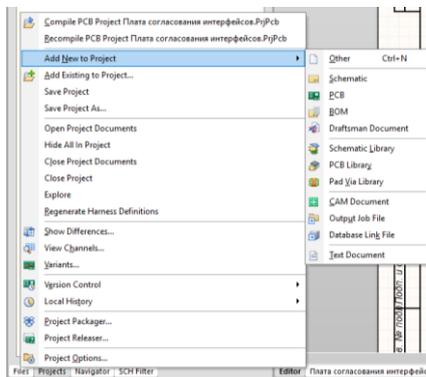


Рисунок 6 – Виды документов нового проекта

Лабораторная работа 1. Создание проекта печатной платы

Для создания проекта печатной платы в Altium Designer нужно нажать на кнопку Project выбрав в системном меню вкладку File, раздел New (рис.7).

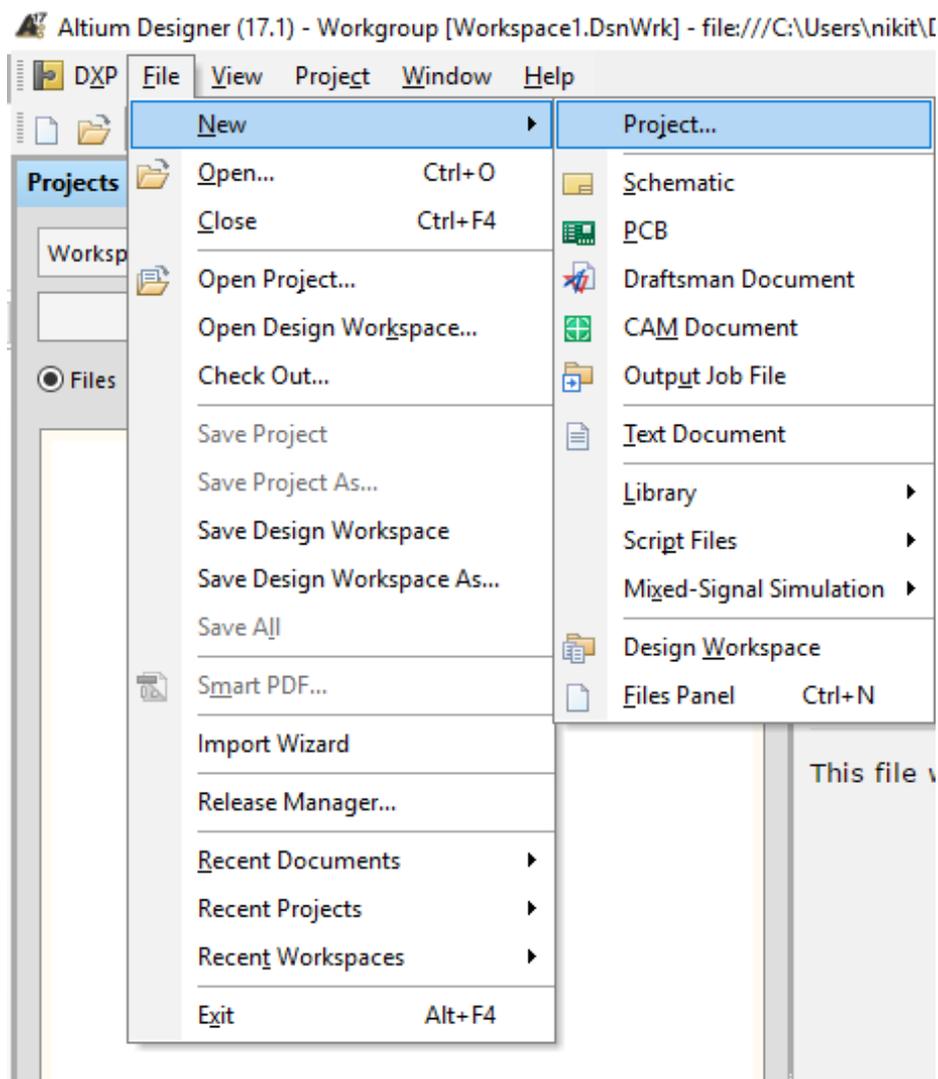


Рисунок 7 – создание нового проекта

Появится диалоговое окно, в котором нужно выбрать тип проекта, его название и путь к нему. В Altium Designer уже имеются шаблоны печатных плат. Внести данные, как показано на рис. 8. Нажать ОК.

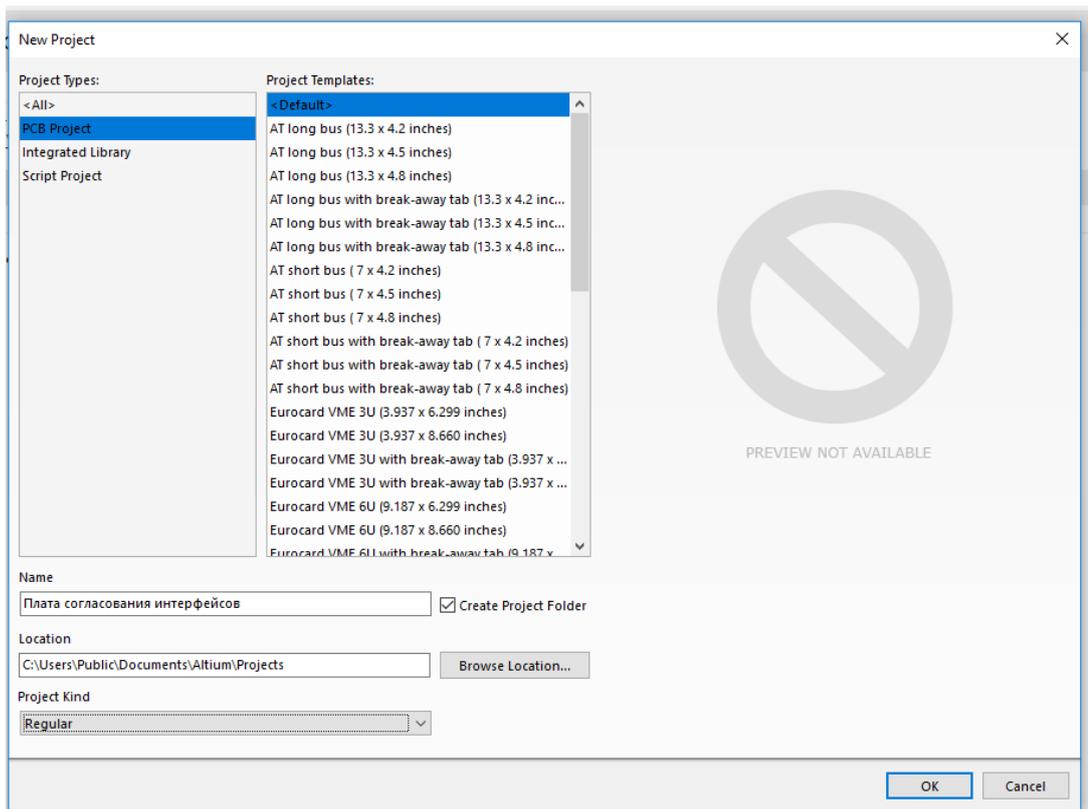


Рисунок 8 – Создание нового проекта

Для загрузки шаблона чертежа нужно в системном меню выбрать DXP/Preferences/System/New Document Defaults, в строке Schematic указать путь к шаблону листа (рис.9). Выбрать, нажать Apply. Нажать ОК.

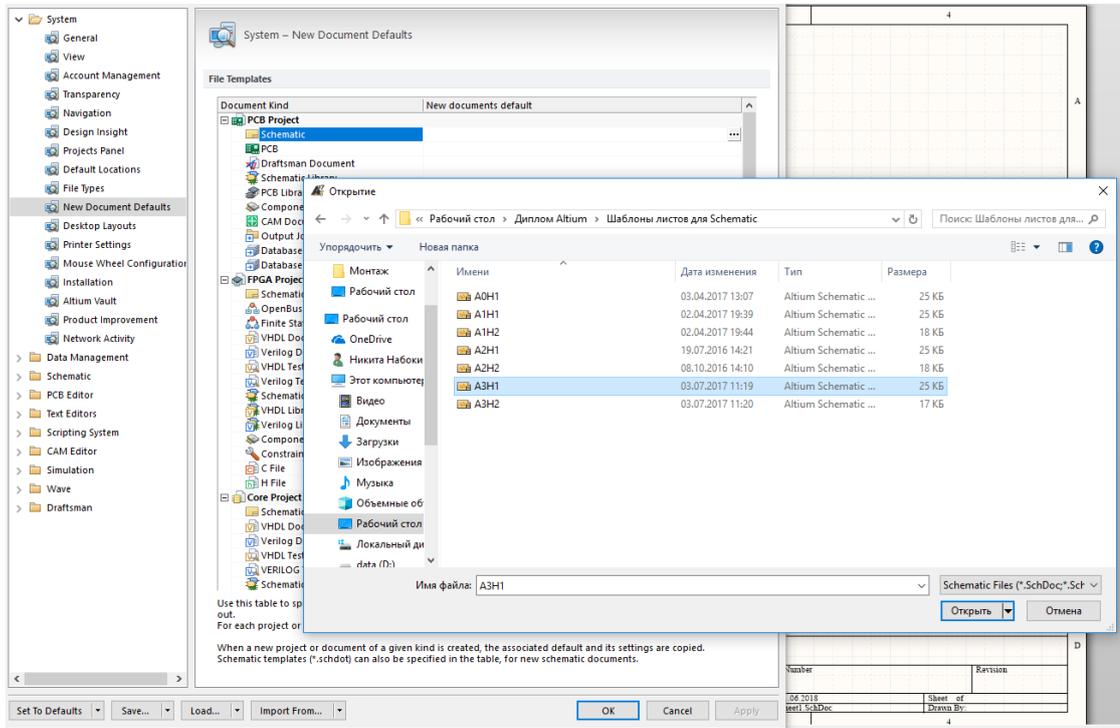


Рисунок 9 – Выбор шаблона листа

Настройка листа Schematic:

Для изменения на метрическую систему измерения кликнуть правой кнопкой мыши по рабочему полю, выбрать Options/Document Options (рис.12).

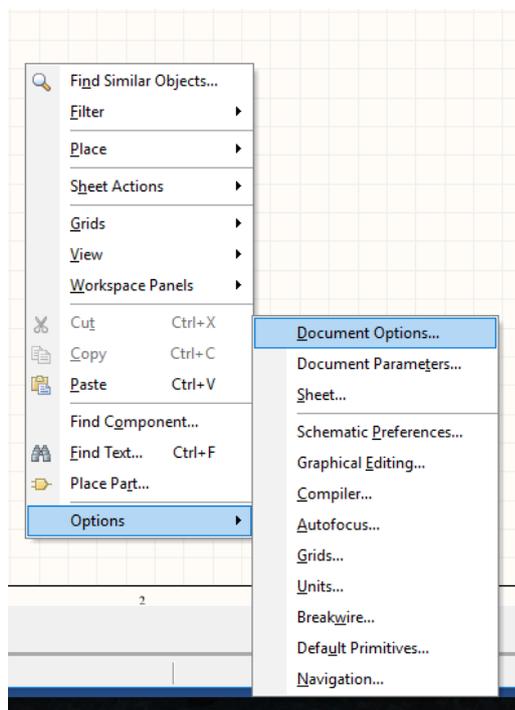


Рисунок 12 – Свойства листа Schematic

В окне Document options выбрать вкладку Units и установить в соответствии с рис. 13. Нажать ОК. Теперь шаг сетки исчисляется в мм.

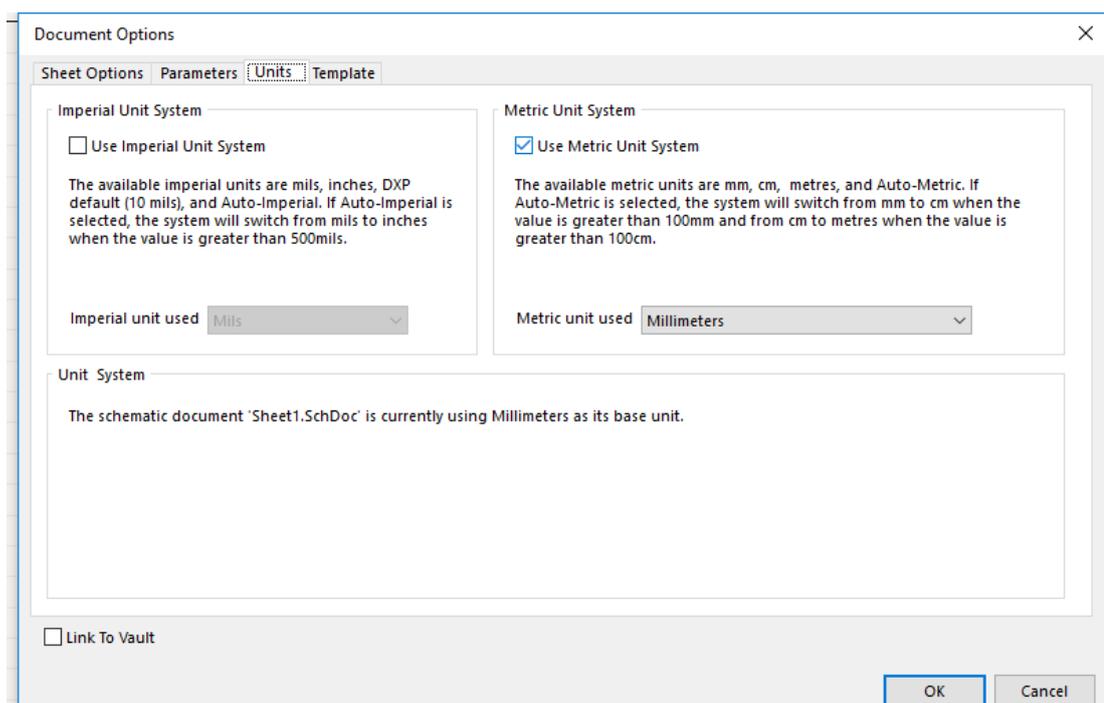


Рисунок 13 – Изменение системы измерений

В этом же окне во вкладке Parameters можно заполнить основную надпись чертежного листа (рис.14)

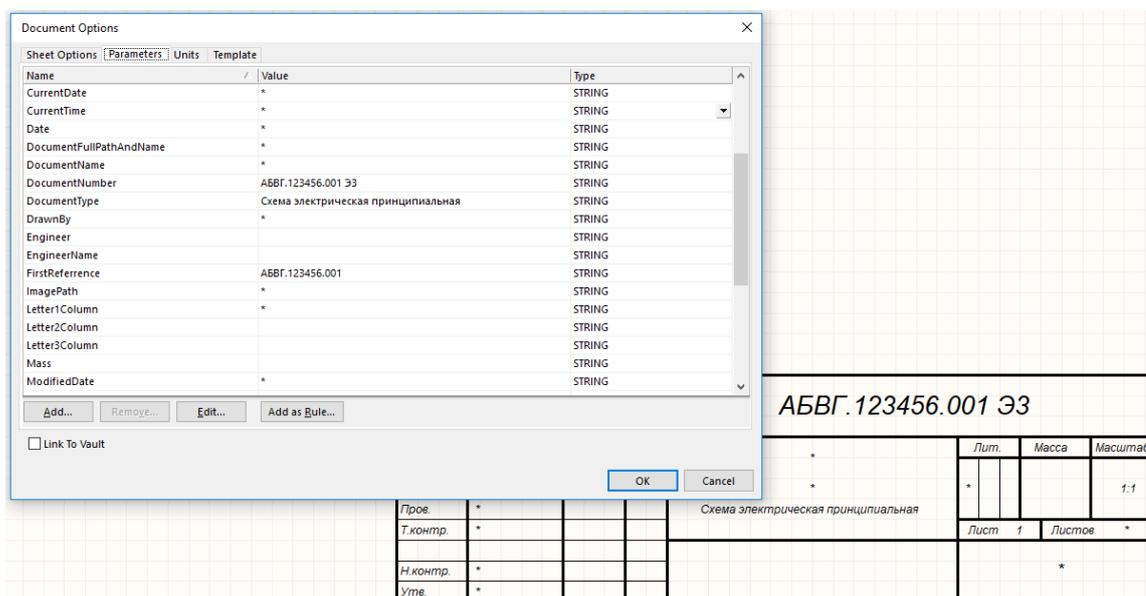


Рисунок 14 – Заполнение шапки документа

Для установки размерности сетки нужно нажать правой кнопкой мыши на листе и выбрать Options/Grid. После чего появится окно, где можно выбрать шаг сетки из предложенных, или добавить свой вариант (рис.15). Установим шаг сетки – 5 мм (Metric Grid Presets). Нажать ОК. Горячей клавишей G можно менять размер шага сетки.

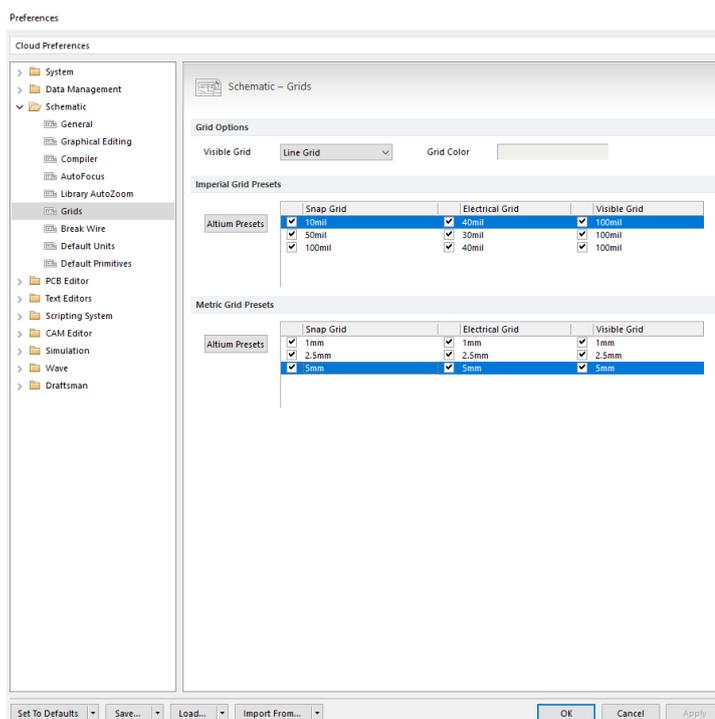


Рисунок 15 – Выбор размерности сетки

Для создания файла проекта печатной платы правой кнопкой мыши нажать на рабочее пространство Projects, выбрать Add New to Project/PCB(рис.16).

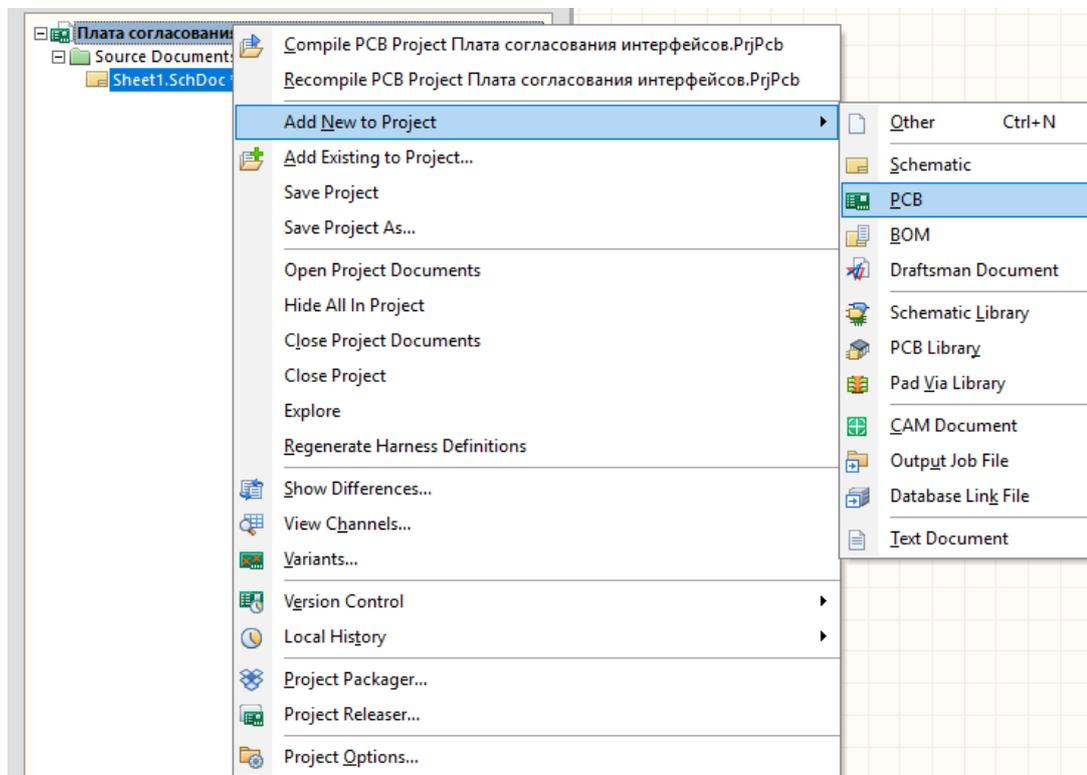


Рисунок 16 – Добавление файла печатной платы

Появится пространство для создания печатной платы, где на нижней вкладке указаны слои, которые предназначены для изображения картинок, отметок, наименований, трассировки в зависимости от слоя (рис.17).

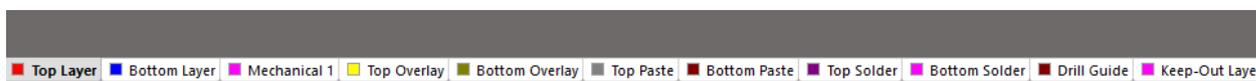


Рисунок 17 – Слои печатной платы

Нажатием клавиши Q можно менять систему измерения (с дюймов на мм), для того, чтобы поменять шаг сетки в РСВ нужно нажать клавишу G и выбрать нужный размер: 2,5 мм (рис.18).

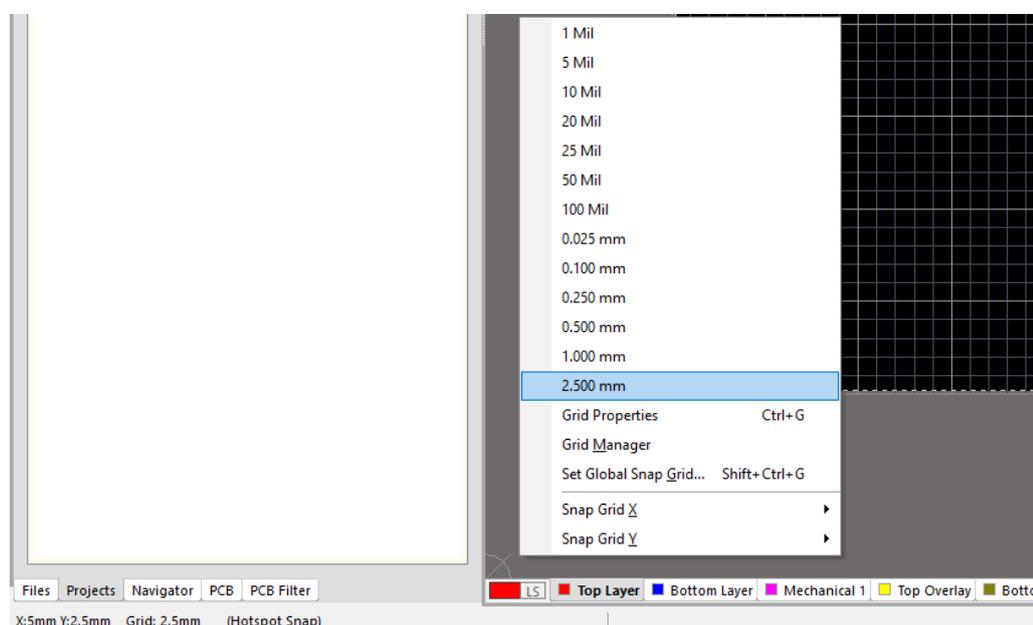


Рисунок 18 – Размерность сетки файла РСВ

Для создания файла вывода конструкторской документации правой кнопкой мыши нажать на рабочее пространство Projects, выбрать Add New to Project/Output Job File(рис.19).

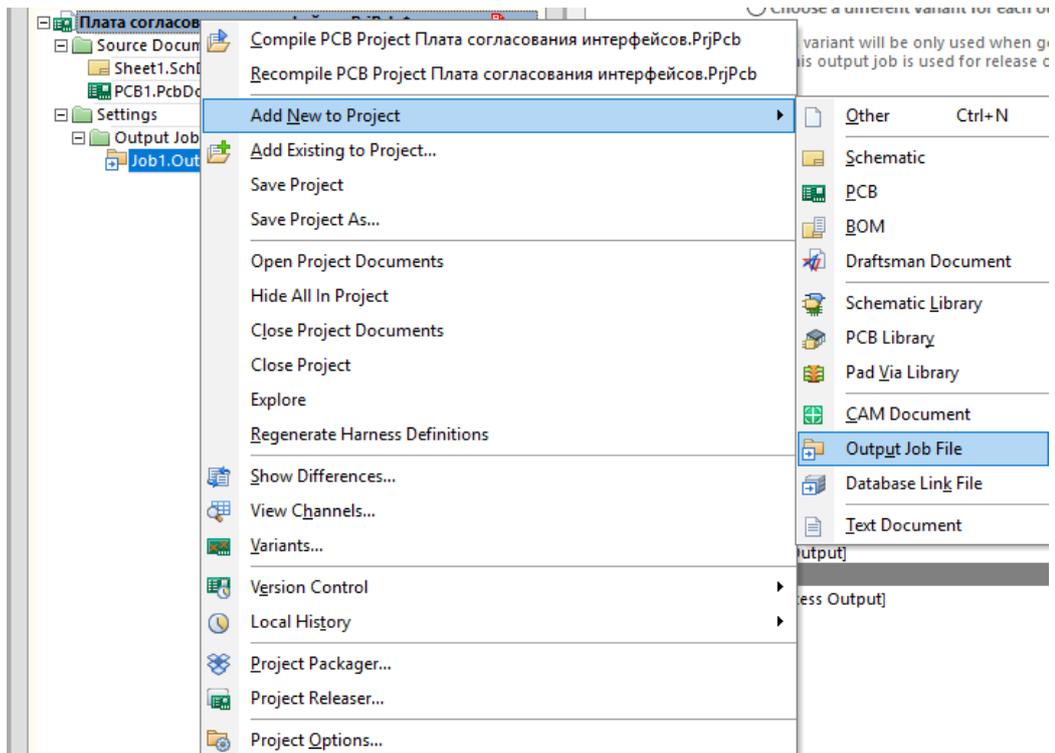


Рисунок 19 – Создание файла для документации

С помощью этого файла схему, плату, трассировку и элементы можно будет сохранить в цифровом виде pdf-файлом.

После проделанной работы следует сохранить проект, и присвоить каждому файлу имя: «Плата согласования интерфейсов» (рис.20).

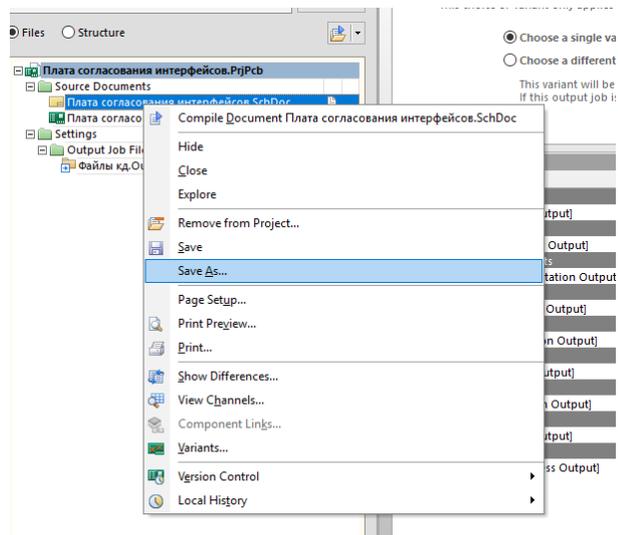


Рисунок 20 – Сохранение документов

Лабораторная работа 2. Создание библиотеки электронных компонентов.

Библиотека электронных компонентов – это отдельный проект. Нужно создать новый пакет библиотек – Library Package (*.LibPkg) – основа интегрированной библиотеки - он связывает вместе отдельные библиотеки УГО, ПТМ, файлы моделей и объединяет их в один файл интегрированной библиотеки.

Выбрать File/New/Project, в всплывающем окне выбрать раздел Integrated Library, указать путь на рабочий стол и заполнить строки согласно рис. 21. Нажать ОК.

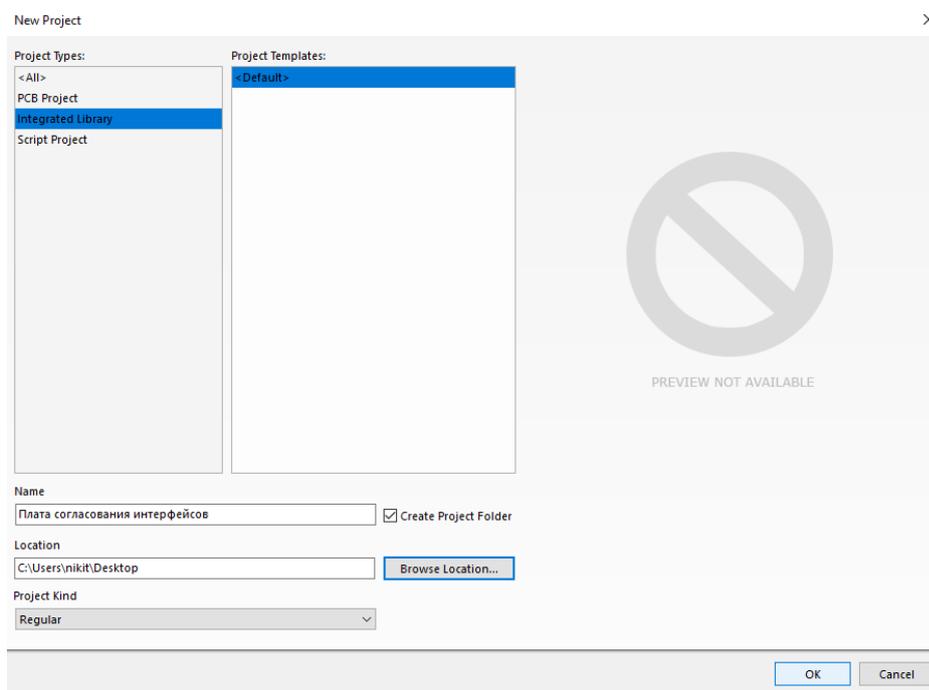


Рисунок 21 – Создание интегрированной библиотеки

Библиотека состоит из двух частей. Первая часть Schematic Library – это список условно графических обозначений (УГО) то, что отображается на листе Schematic. Вторая часть PCB Library – она содержит в себе чертежи посадочных мест электронных компонентов.

Добавим эти пункты в LibPkg. Правой кнопкой мыши нажать на рабочее пространство Project, выбрать Add New to Project, добавить Schematic Library, затем добавить PCB Library (рис.22).

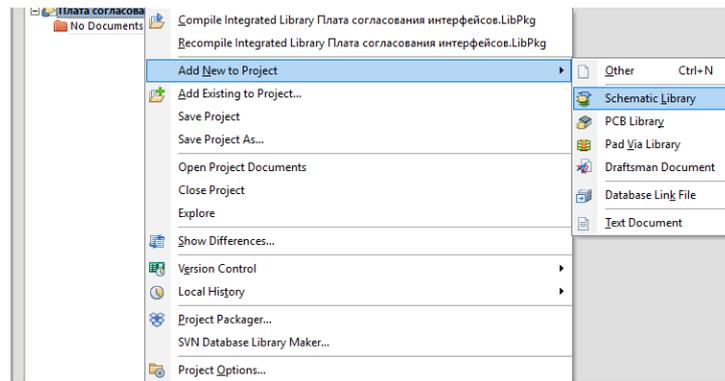


Рисунок 22 – Добавление библиотеки УГО и ПТМ

Открыть Schematic Library. Установить метрическую систему измерения и шаг сетки: 0,5; 2,5; 5 мм. Сохранить как: «Плата согласования интерфейсов.SchLib».

Выбрать PCB Library. Клавишей Q переключить на метрическую систему измерения, клавишей G выбрать шаг сетки 2,5 мм. Сохранить как: «Плата согласования интерфейсов.PcbLib».

Настройка слоев в PCB Library:

Нажимаем клавишу L, появляется окно настройки слоев (рис.23).

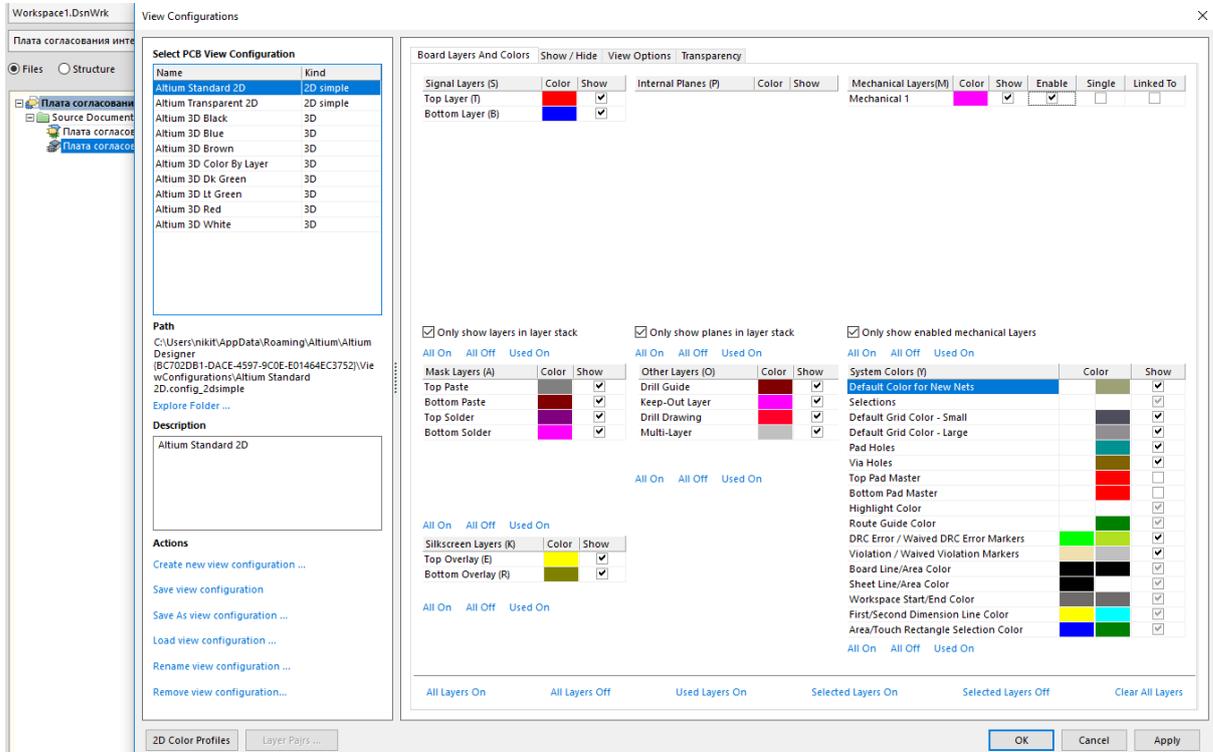


Рисунок 23 – Конфигурация слоев

Снять галочку в строке Only show enabled mechanical Layers. После чего появится множество механических слоев. Нужно поставить две галочки напротив: Mechanical 1, Mechanical 2, Mechanical 4, Mechanical 5, Mechanical 13, Mechanical 14. Нажать Apply (рис.24).

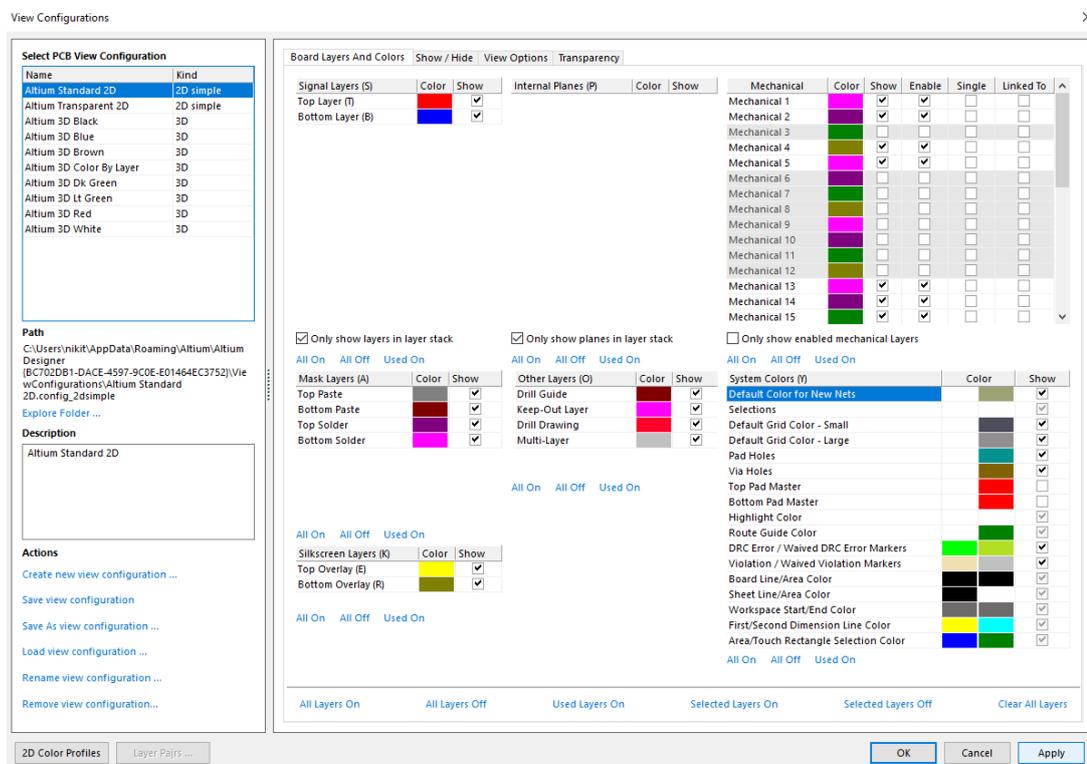


Рисунок 24 – Выбор слоев

Теперь нужно переименовать механические слои для того, чтобы легче ориентироваться при проектировании печатной платы (рис.25).

Mechanical 1 – контур самой печатной платы. Присвоить название BoardShape.

Mechanical 2 – контуры элементов на верхней стороне платы, которые будут выводиться на сборочный чертеж. Присвоить название Top Assembly.

Mechanical 3 – контуры элементов на нижней стороне платы, которые будут выводиться на сборочный чертеж. Присвоить название Bot Assembly.

Mechanical 4 – контур фрезеровки на глубину (внутренние вырезы) TOP. Присвоить название TOP CUT.

Mechanical 5 – контур фрезеровки на глубину (внутренние вырезы) BOT. Присвоить название BOT CUT.

Mechanical 13 – предназначен для размещения 3D моделей на верхней стороне платы. Присвоить название – TOP 3D.

Mechanical 14 – предназначен для размещения 3D моделей на нижней стороне платы. Присвоить название – BOT 3D.

В этом разделе есть еще несколько слоев, которые будут использоваться:

Top Layer – сигнальный слой для топологии и размещения компонентов на верхней стороне платы.

Bottom Layer – сигнальный слой для топологии и размещения компонентов на нижней стороне платы.

Top Paste – слой нанесения паяльной пасты для контактных площадок на верхней стороне платы.

Bottom Paste – слой нанесения паяльной пасты для контактных площадок на нижней стороне платы.

Top Solder – слой формирующий вскрытия в паяльной маске под последующее финишное покрытие контактных площадок и других вскрытых областей на верхней стороне платы (Bottom Solder на нижней стороне платы).

Top Overlay (слой шелкографии) – слой для размещения контура элементов, надписей и позиционных обозначений на верхней стороне платы (Bottom Solder на нижней стороне платы).

Drill Guide – слой для размещения информации об отверстиях в печатной плате.

Keep-Out Layer – слой для указания границ зон размещения компонентов, контура печатной платы, больших отверстий.

Multi Layer – слой для указания сквозных отверстий в печатной плате.

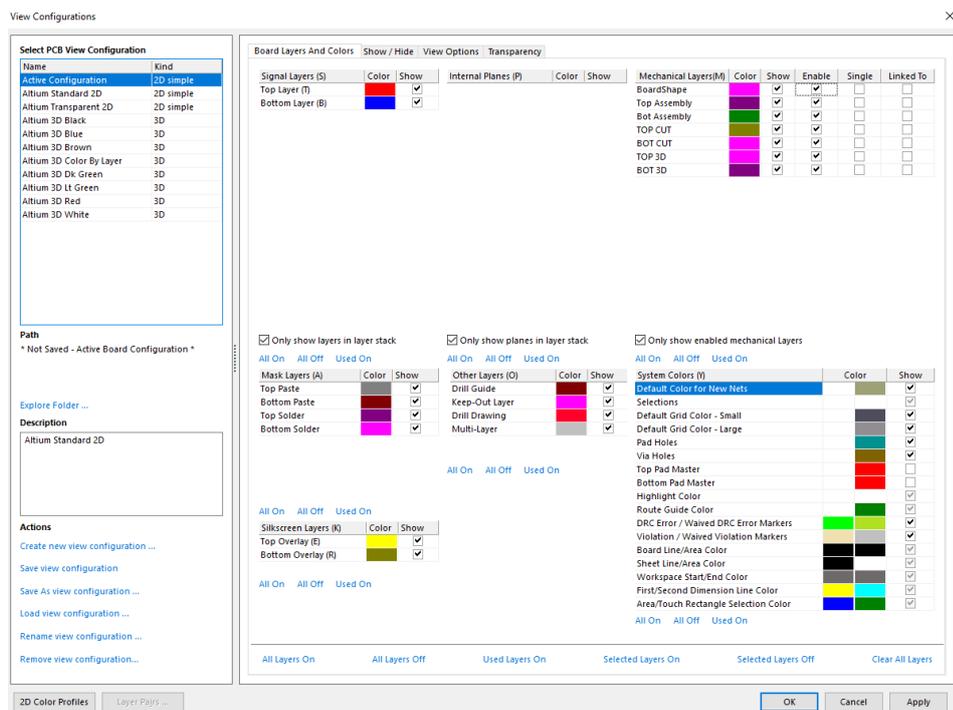


Рисунок 25 – Наименование слоев

После завершения присваивания имен слоям нажать Apply. Нажать ОК. Сохранить все документы. Теперь все готово для создания, добавления, удаления и редактирования посадочных мест в библиотеке PCB Library и схемотехнических изображения в SCH Libraryю

Для дальнейшей работы нужно загрузить сторонние библиотеки Schematic и PCB. Для этого нужно нажать правой кнопкой мыши на проект и выбрать Add Existing to Project (рис.26). Указать путь к библиотекам SchLib и PcbLib. Нажать ОК. Библиотеки должны появиться в дереве проекта (рис.27).

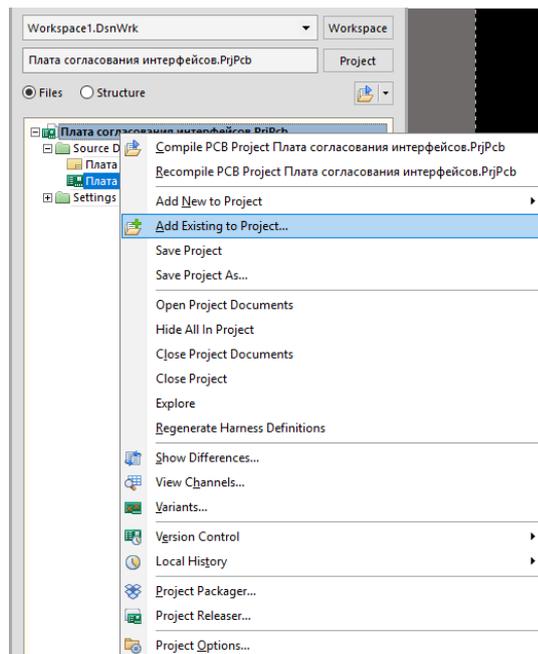


Рисунок 26 – Добавление файлов библиотек

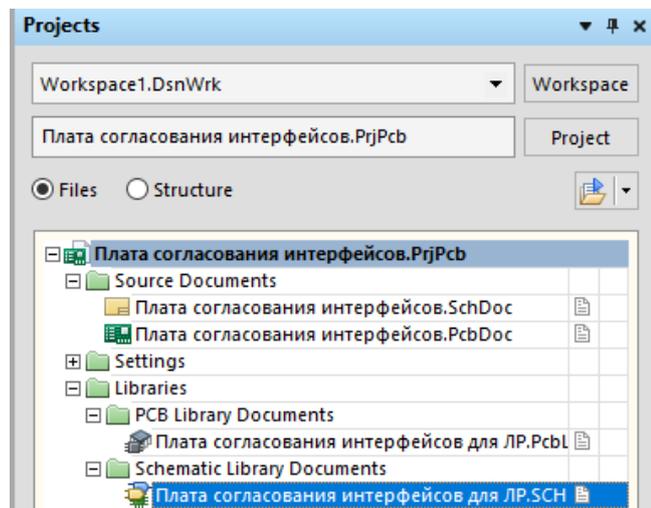


Рисунок 27 – Дерево проекта

Все сохранить.

Лабораторная работа 4. Создание условно графического обозначения элемента в Schematic Library.

Рассмотрим создание условно графического обозначения элемента в Schematic Library на примере датчика температуры LM75BIMX-5+.

Открыть файл «Плата согласования интерфейсов для ЛР.SCHLib». Перейти в библиотеку УГО – SCH Library. Под списком компонентов с помощью кнопки Add (рис.28) добавить новый компонент и заполнить окно согласно рис. 29. С помощью кнопки Add добавить параметры: Value, Type, Tolerance, Power, PartNumber, Mount_Type, Manufacture, Datasheet, Case. Нажать ОК.

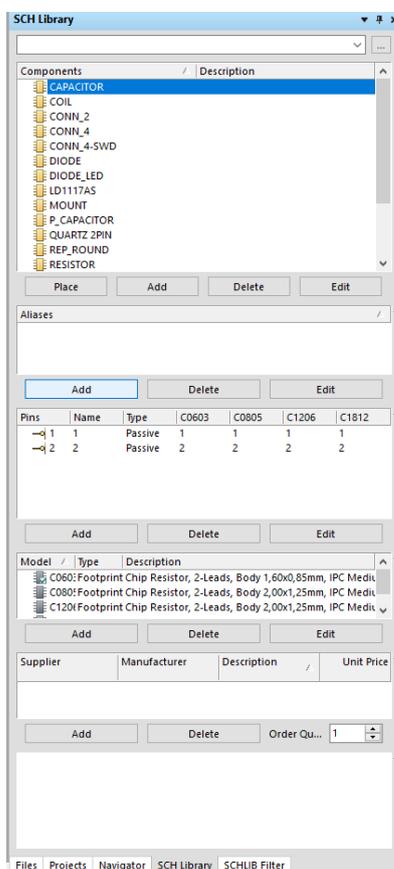


Рисунок 28 – Добавить компонент в библиотеку УГО

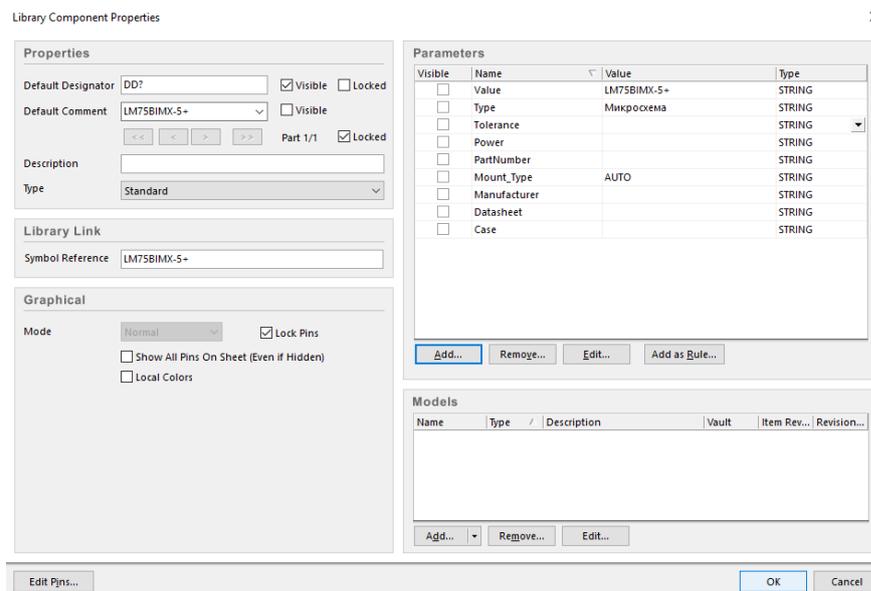


Рисунок 29 – Свойства УГО компонента

Чтобы создать УГО микросхемы LM75BIMX-5+ (схему самого компонента можно найти на сайтах официальных поставщиков электронных компонентов, или на таких сайтах, как ultralibrarian.com, digikey.com и др.) для этого на рабочей поверхности схемы нажать правую кнопку мыши и выбрать Place/Pin (рис.30).

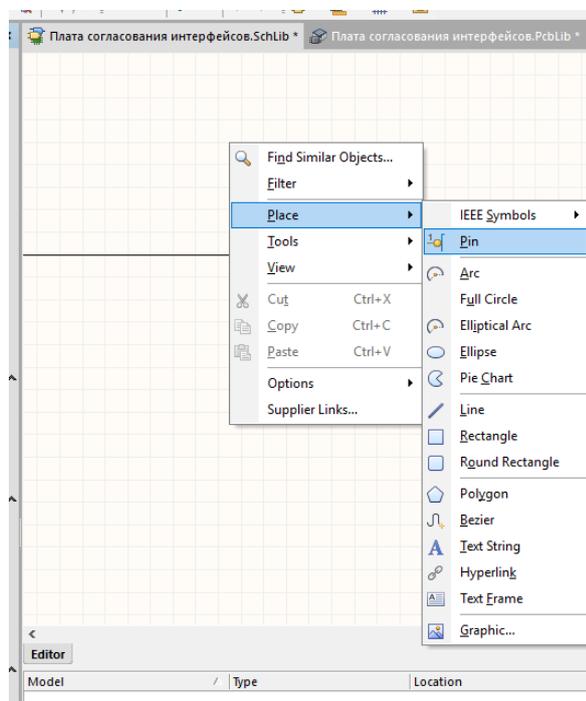


Рисунок 30 – Выбор инструмента Pin

После чего появится Pin, лево кнопкой мыши установить в начало координат и двойным щелчком по Pin открыть окно свойств и установить заданные параметры (рис.31). Нажать ОК.

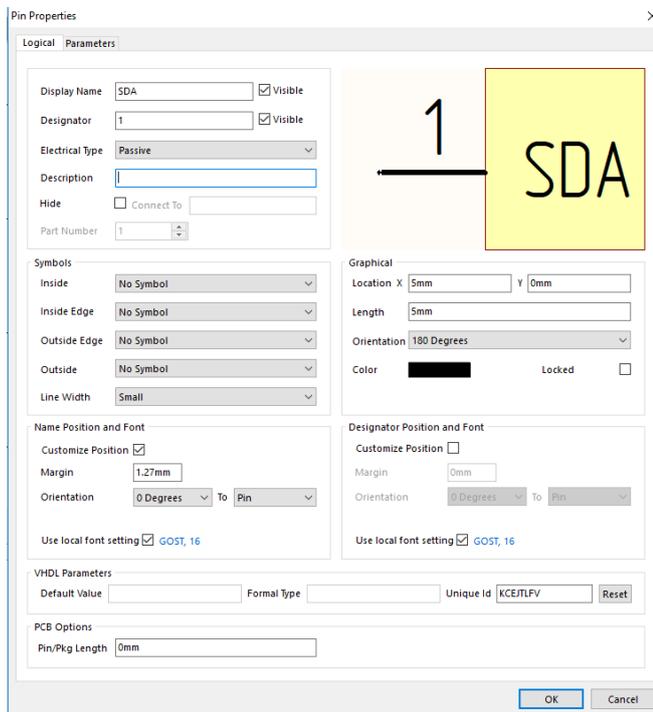


Рисунок 31 – Свойства Pin

Создать таким же образом четыре Pin на одной стороне, с шагом 10 мм (шаг сетки 2,5 мм). Присвоить наименование согласно рис. 32.

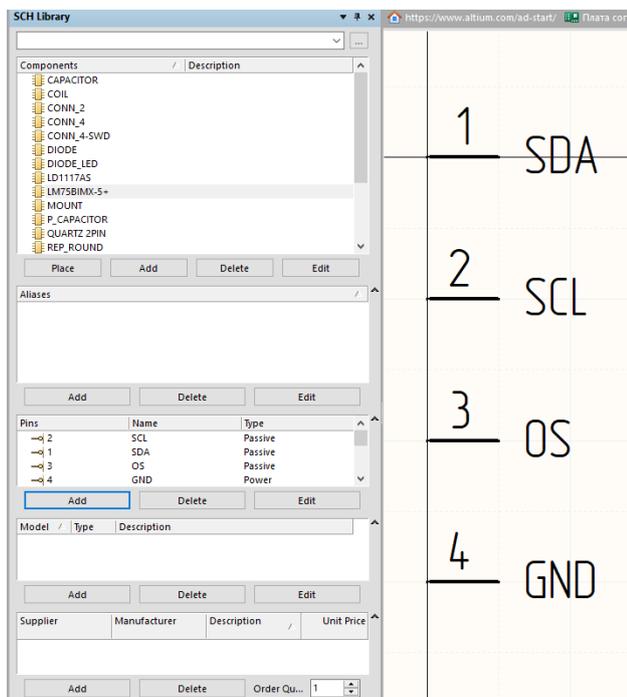


Рисунок 32 – 4 вывода микросхемы

На расстоянии 50 мм добавить еще 4 вывода Pin (с помощью клавиши Пробел можно поворачивать Pin под 90 градусов). Для выводов GND и VCC установить в окне параметров Electrical Type – Power. Присвоить наименования Pin согласно рис. 33.

С помощью инструмента Line создать контур микросхемы.

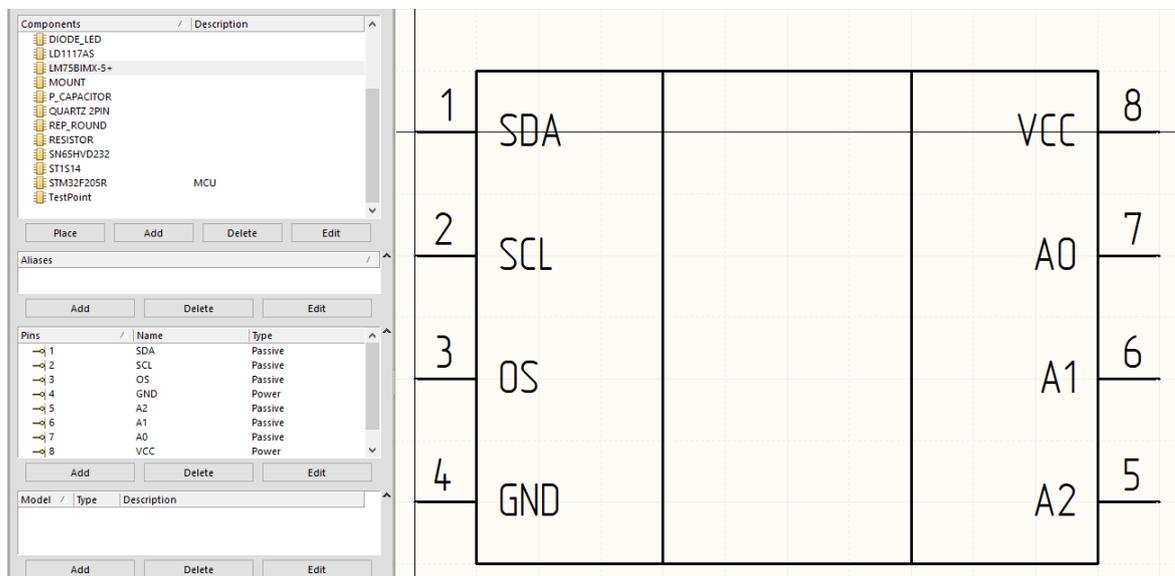


Рисунок 33 – УГО LM75BIMX-5+

Сохранить все.

Лабораторная работа 5. Создание посадочного места компонента и добавление Footprint для отображения 3D модели.

Рассмотрим формирование топологического посадочного места на основе датчика температуры LM75BIMX-5+.

В дереве проекта открыть файл «Плата согласования интерфейсов для ЛР.PCBLib». Перейти на вкладку PCB Library. Правой кнопкой мыши в окне компонентов выбрать New Blank Component (рис.34).

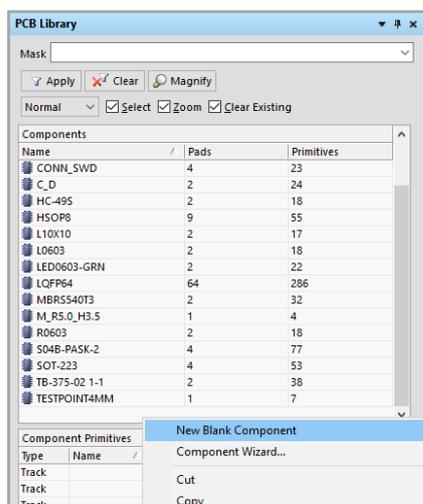


Рисунок 34 – Добавление нового посадочного места

После чего в списке посадочных мест появится новый компонент PCBCOMPONENT_1 это будет заготовка для дальнейшего создания посадочного места с 3D моделью датчика температуры (рис.35).

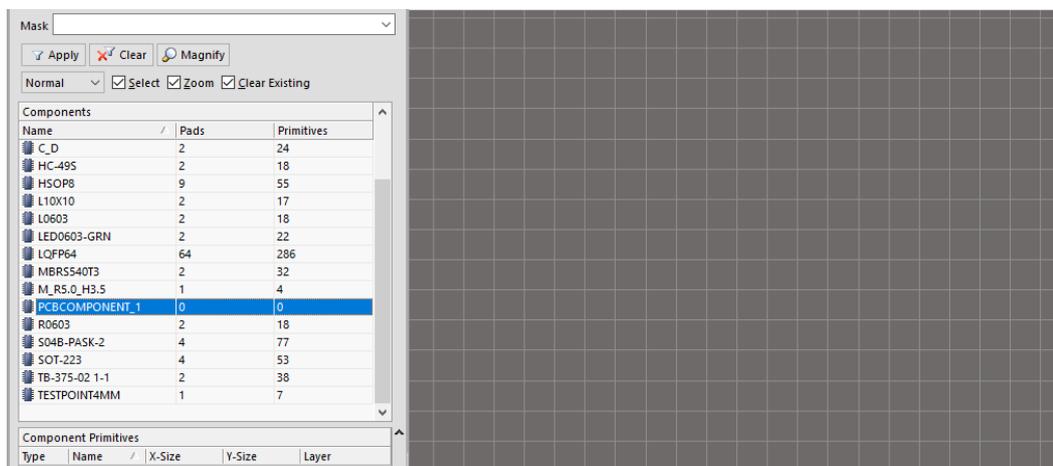


Рисунок 35 – Шаблон посадочного места

Для создания посадочного места компонента надо разместить контактные площадки (КП), связываемые с контактами компонента и нарисовать контур компонента с помощью линий и дуг. Прimitives и другие объекты можно размещать на любые слои, так контур обычно рисуется на слое Top Overlay (шелкография), а КП на слое Multylayer (для выводов компонента, монтируемых "в отверстие") или на слое Top (для компонентов с поверхностным монтажом). Паяльная маска (Solder), апертура для пасты (Paste).

Данные для размерности посадочных мест имеются в справочниках, сайтах производителей электронных компонентов.

Создать с помощью правой кнопки мыши Place/Pad (рис.36) контактную площадку, после чего клавишей Tab открыть окно свойства контактных площадок (рис.37).

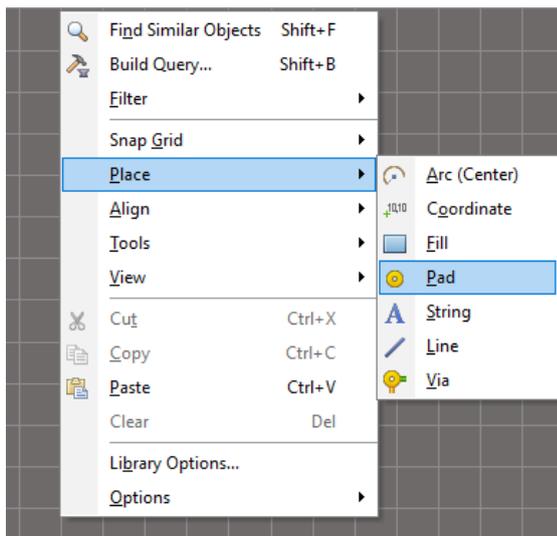


Рисунок 36 – Создание контактной площадки

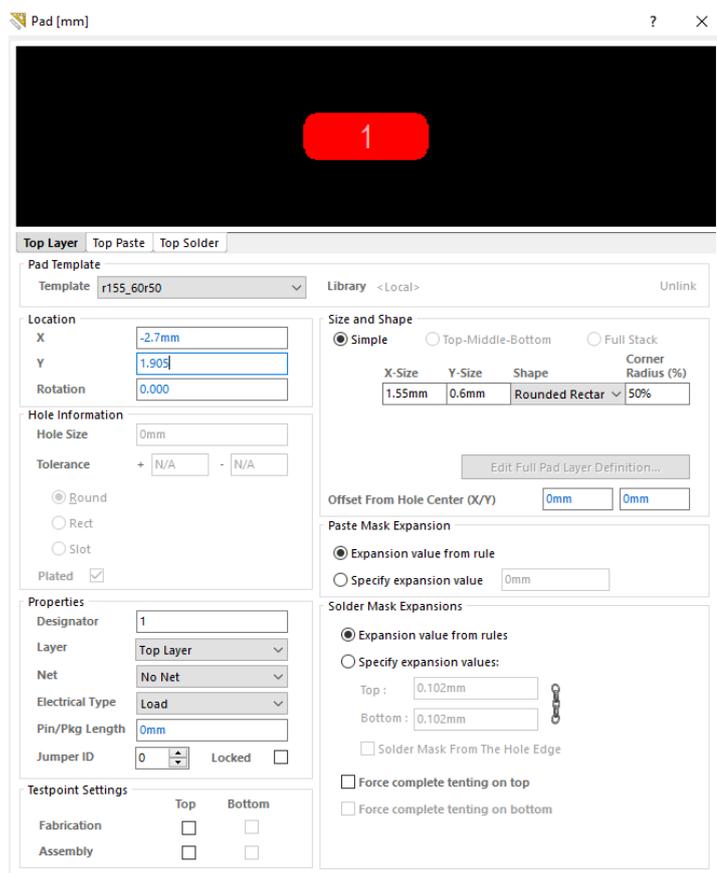


Рисунок 37 – Свойства контактной площадки

В разделе Properties установить Designator – 1, номер показывает какому выводу УГО элемента будет соответствовать контактная площадка, Layer – Top Layer, на каком слое будет отображаться данный Pad. В разделе Size and Shape установить размеры 1.55x0.6 мм, форма Rounded Rectangle. Координаты расположения X – -2.7 мм, Y – 1.905 мм. Нажать ОК.

Расположить аналогичные контактные площадки симметрично относительно центра(рис.39). Шаг между контактными площадками по Y = 1.27 мм. Шаг между Pad 4 и 5 составляет по X = 5.4 мм. При расположении контактных площадок, слой Paste (показывает слой паяльной пасты) и слой Solder Mask (слой паяльной маски) наносится автоматически, но может подлежать коррекции.

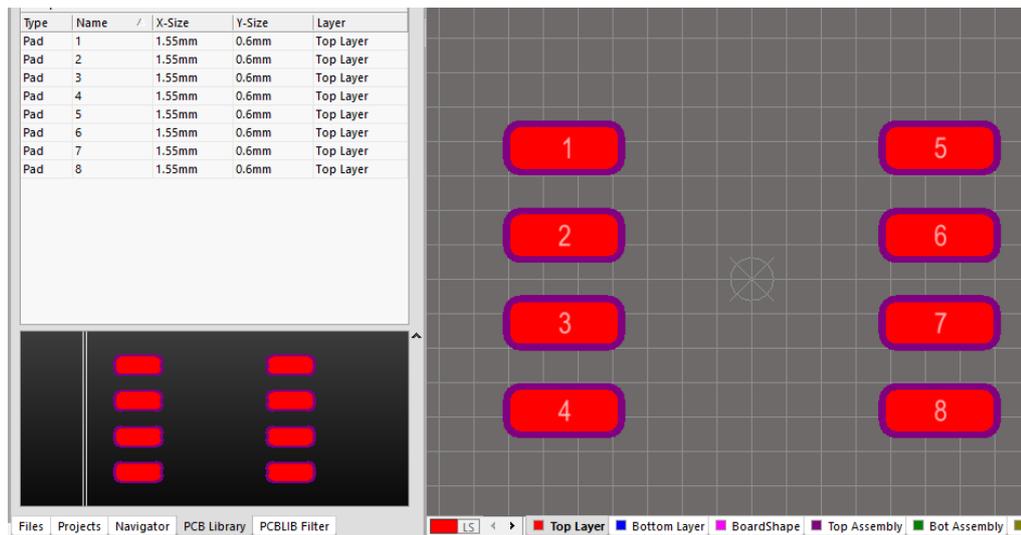


Рисунок 39 – Контактные площадки датчика температуры

Узнать с помощью сторонних ресурсов какой корпус предполагает наша 3D модель. На сайте digkey.com в разделе Description написано 8SOIC. Найти 3D модель этого корпуса на сайте 3dcentralcontent.com, для данного датчика это SO-8(SOIC), и скачать в формате STEP.

Перейти щелчком на слой Top 3D, и с помощью клавиши P выбираем пункт 3D Body. Нажать клавишу Convert to STEP. Указать путь на компьютере к скачанной 3D модели кнопкой Load from file (рис.40). Нажать открыть и в окне Generic Generic 3D Model появится вид датчика температуры. Нажать ОК. Установить в центр модель. Перейти в 3D вид, нажав клавишу 3 для просмотра элемента (рис. 41). Вращать 3D модель по всем осям координат можно зажав клавишу Shift, нажимая и двигая правую кнопку мыши. Вернуться в 2D вид клавишей 2.

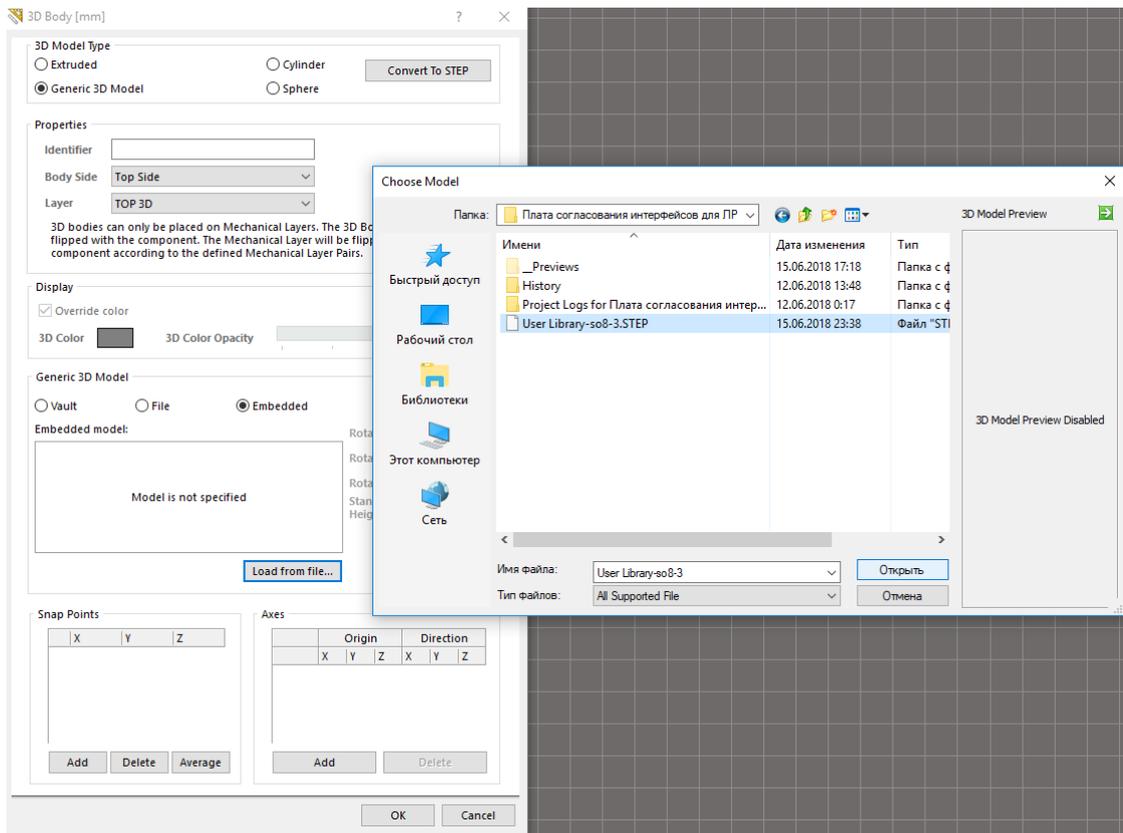


Рисунок 40 – Загрузка 3D модели

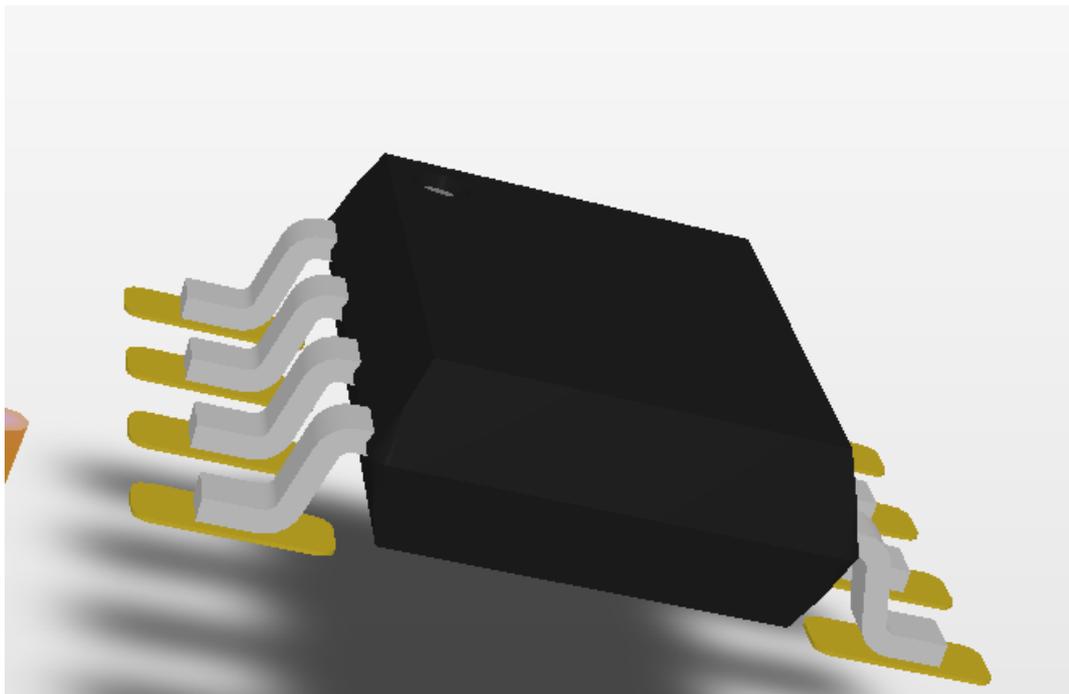


Рисунок 41 – 3D вид

Создание контура этой модели. Нажать Shift+S для перехода в режим просмотра одного слоя. С помощью инструмента Line нарисовать контур (щелчок левой кнопкой мыши фиксирует точку контура, щелчок правой кнопкой мыши заканчивает контур). Двойной щелчок по контуру открывает

окно свойств линии. Указать координаты и толщину 0.2 мм (рис.42). Создать вторую на расстоянии $X = 7.4$ мм. Замкнуть контур. В середине контура нарисовать центр (рис.43).

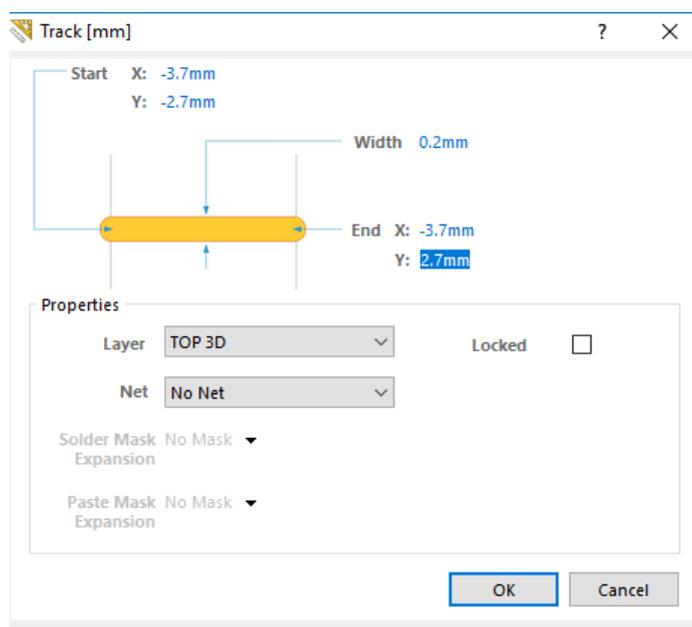


Рисунок 42 – Окно свойств линии

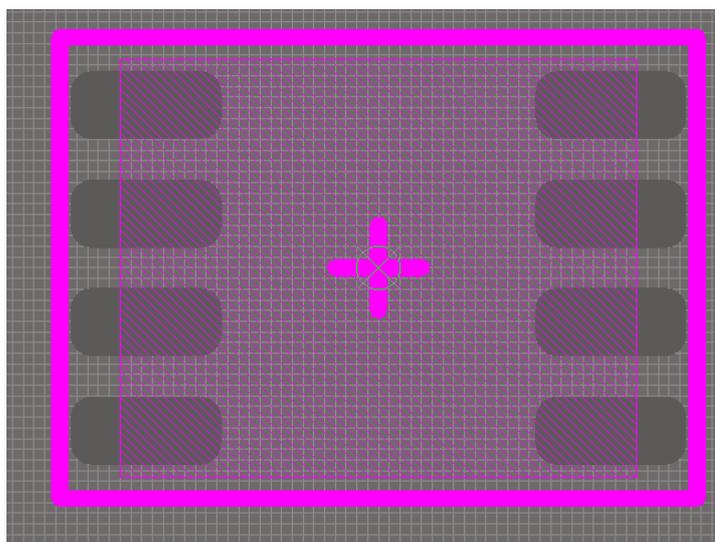


Рисунок 43 – Контур элемента

Выделить весь контур, нажать клавишу F11, появится PCB Inspector для редактирования свойства контура и его нахождения на плате, в котором выбрать в графе Layer слой BOT CUT, весь контур переместится на этот слой (рис.44).

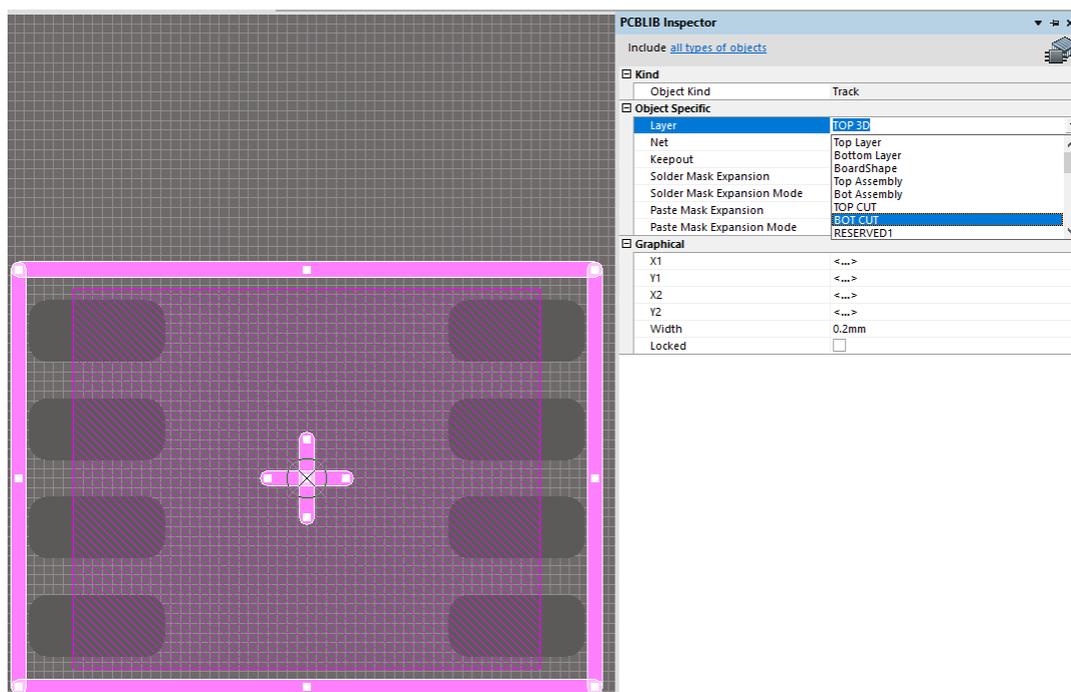


Рисунок 44 – Выбор слоя для контура

Перейти на слой Top Overlay для того, чтобы нарисовать слой контура элемента шелкографией (предназначен для маркировки краской контура элементов, надписей и позиционных обозначений на верхней стороне платы). С помощью инструментов Line и Arc нарисовать контур, симметричный относительно центра, представленный на рисунке 45. Ширина линий 0.25 мм. Желтая стрелка указывает на первый Pad, с которого начинается отсчет контактных площадок (создан с помощью инструмента Text) .

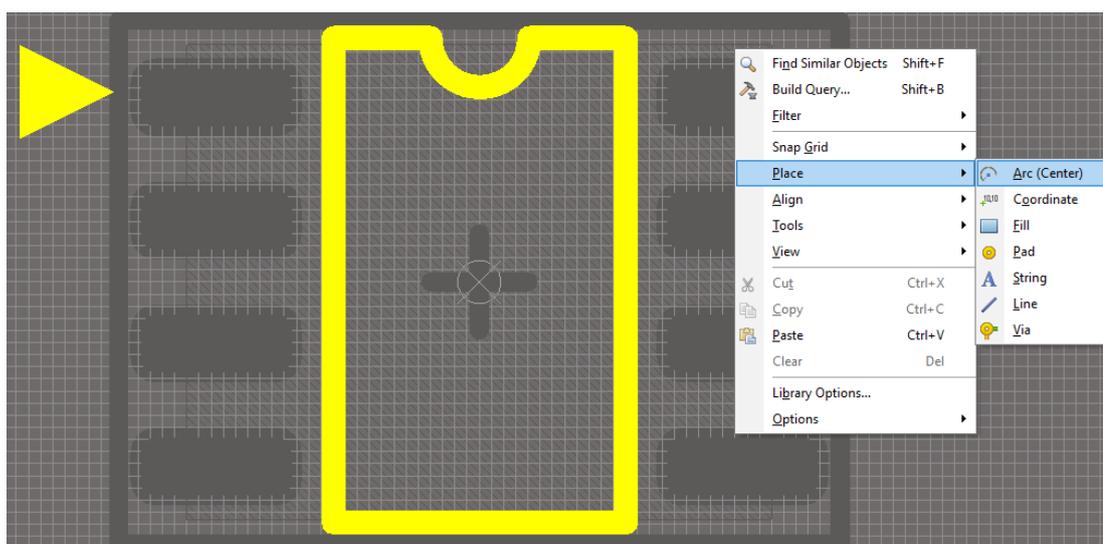


Рисунок 45 – Контур элемента на слое Top Overlay

Перейти на слой Top Assembly для создания на нем контура (слой предназначен для контуров элементов на верхней стороне платы, которые будут выводиться на сборочный чертеж). С помощью инструментов Line и Arc создать контур, представленный на рисунке 46. Фиолетовая стрелка указывает на первый Pad, с которого производится отсчет контактных площадок. Ширина линий 0.25 мм.

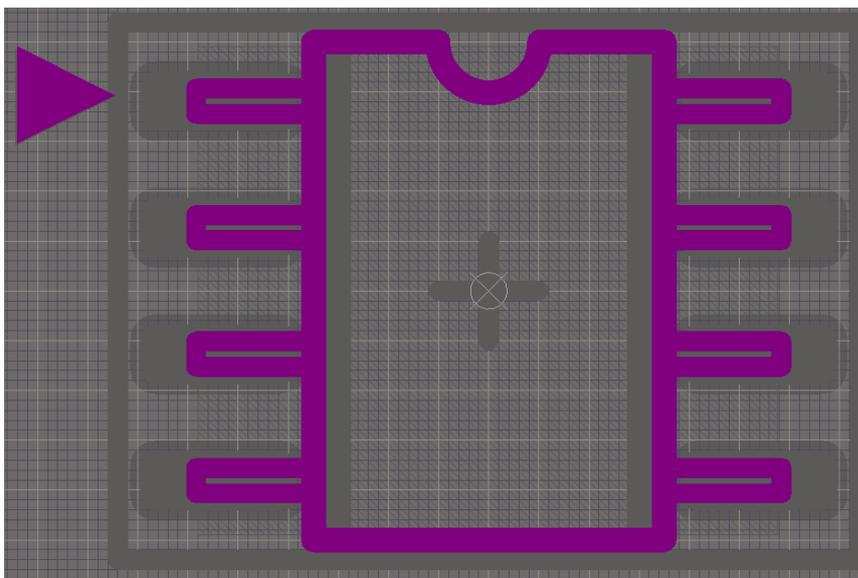


Рисунок 46 – Контур элемента на слое Top Assembly

Перейти на слой Top Layer, клавишами Shift+S включить видимость всех слоев. Результат представлен на рисунке 47.

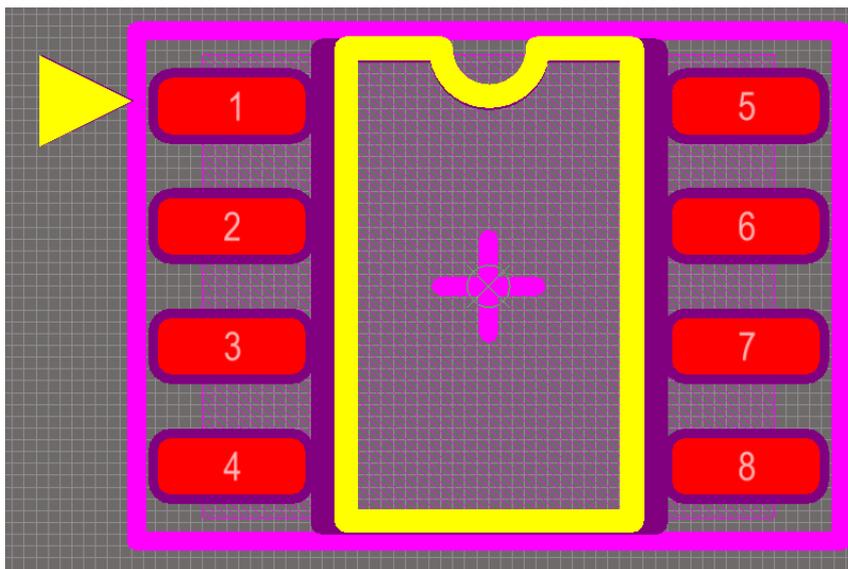


Рисунок 47 – Готовое посадочное место датчика температуры LM75BIMX-5+

Для переименования компонента в PCB Library нужно нажать двойным щелчком на компонент и в строке Name вписать название (рис.48).

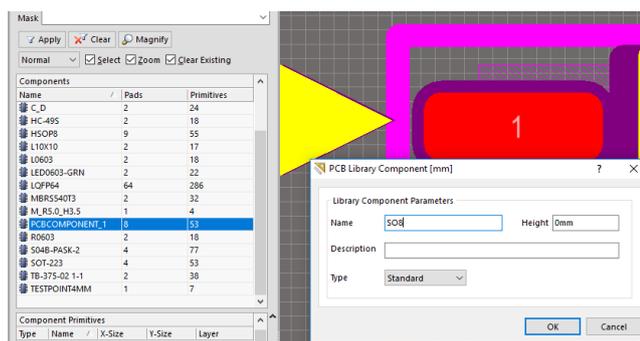


Рисунок 48 – Название посадочного места компонента

Нужно привязать посадочное место к условно графическому изображению элемента, для этого перейти в библиотеку УГО и в окне под изображением нажать кнопку Add Footprint. В появившемся окне нажать Library name. Нажать кнопку Browse. Из списка выбрать нужный Footprint для УГО элемента (рис.49). Нажать ОК.

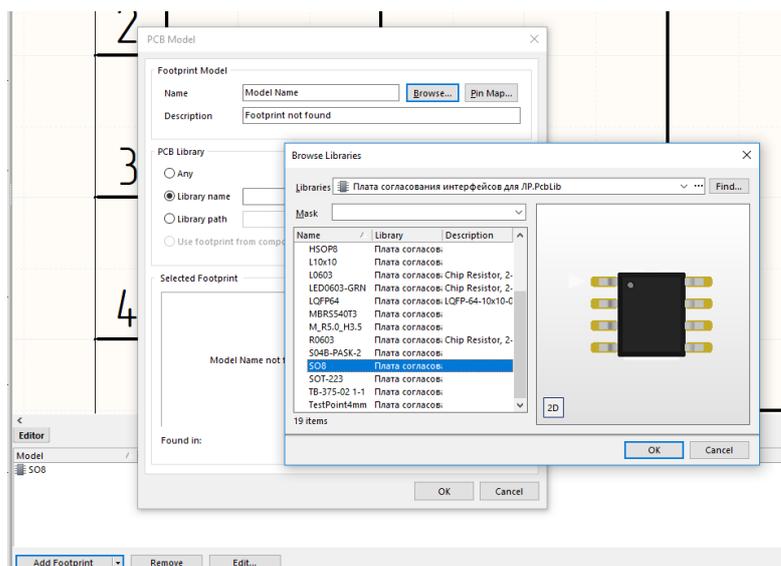


Рисунок 49 – Добавление Footprint для УГО датчика температуры
Сохранить все.

Лабораторная работа 6. Формирование схемы электрической принципиальной.

В окне Projects открыть документ Schematic. Во вкладке справа Libraries открыть библиотеку УГО (рис.50).

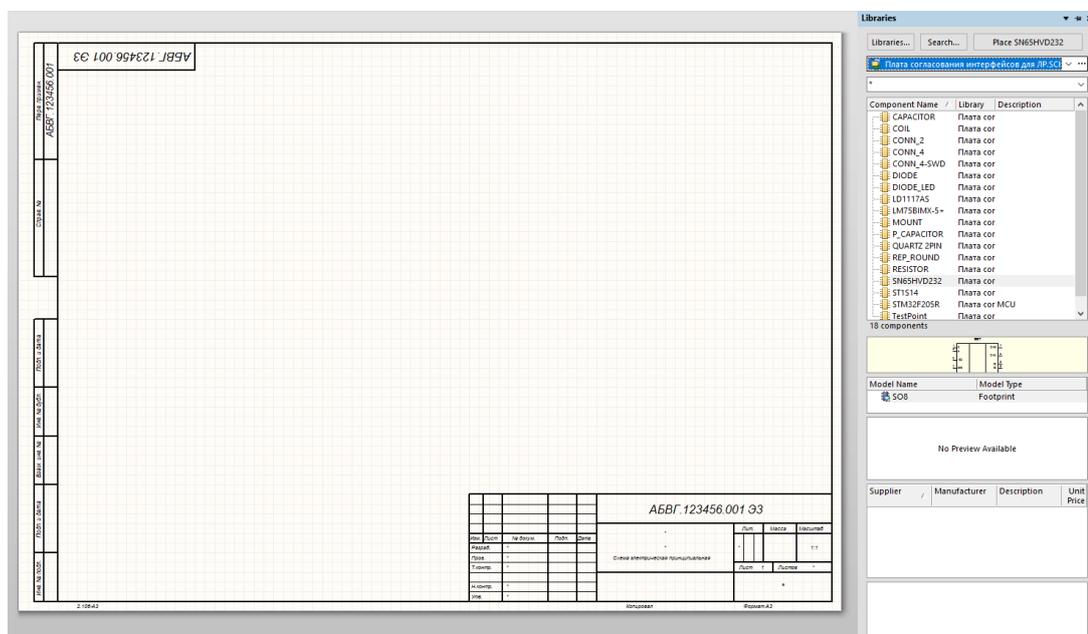


Рисунок 50 – Лист Schematic и библиотека УГО

Составить электрическую схему согласно рисунку 55.

Перенести элементы, изображенные на схеме на лист Schematic, выбрав из представленных в интегрированной библиотеке. Для конденсаторов C1, C2, C3, C5, C8, C9, C10 взять Footprint C0603. C4 – C1812. C6 – C_D. Для резисторов R0603. Для катушки индуктивности – L10x10. Для диода – MBR540T3 (клавишей Пробел можно поворачивать элемент при переносе на лист Schematic для удобного расположения).

С помощью инструмента Place Wire , который расположен в верхнем меню инструментов, соединить элементы схемы. Инструментом GND Power Port  заземлить схему, инструментом VCC Power Port  (при двойном клике на порт выбрать в разделе Style выбрать тип GOST Arrow) сделать выводы питания, согласно рисунку 55.

Произвести автоматическую нумерацию компонента
Tools/Annotation/Annotate Schematic (рис.51).

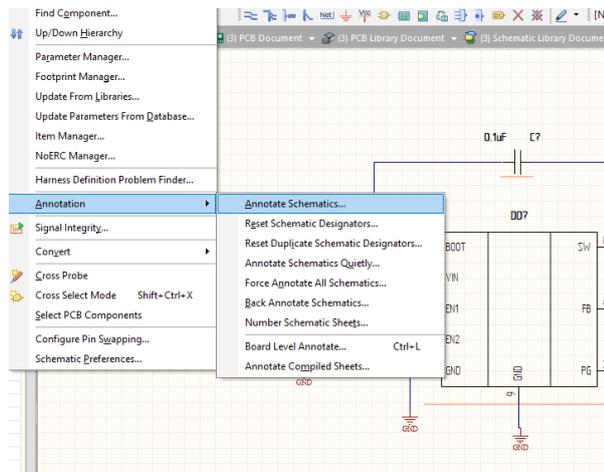


Рисунок 51 – Путь к Annotate Schematic

В появившемся окне нажать Update Changes List/OK элементам автоматически присвоятся позиционные обозначения (рис.52). Нажать кнопку Assent Changes, в появившемся окне нажать Validate Changes, Затем Execute Changes (рис.53).

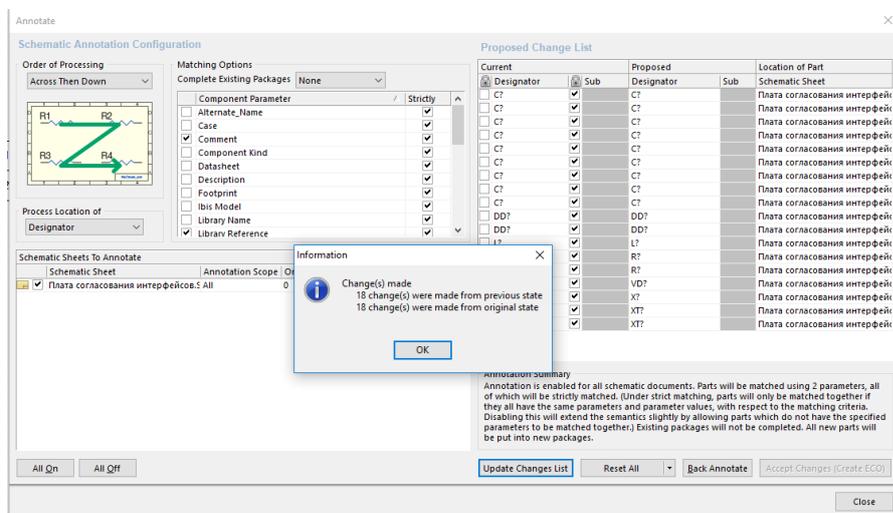


Рисунок 52 – Автоматическая нумерация

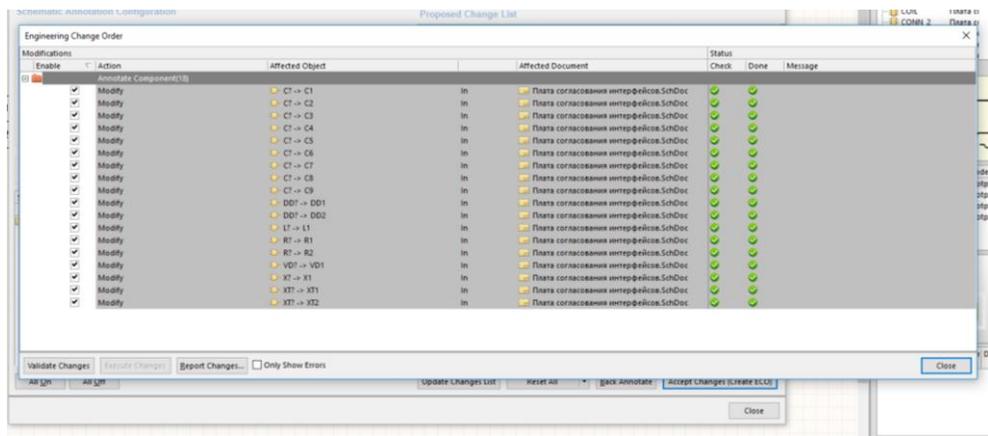


Рисунок 53 – Присвоение и сохранение нумерации элементов

В окне свойства компонента ((рис.54) у каждого отдельное – двойной щелчок на УГО элемента)) нужно изменить позиционное обозначение (designator) и значение (Value) компонента согласно рисунку 55.

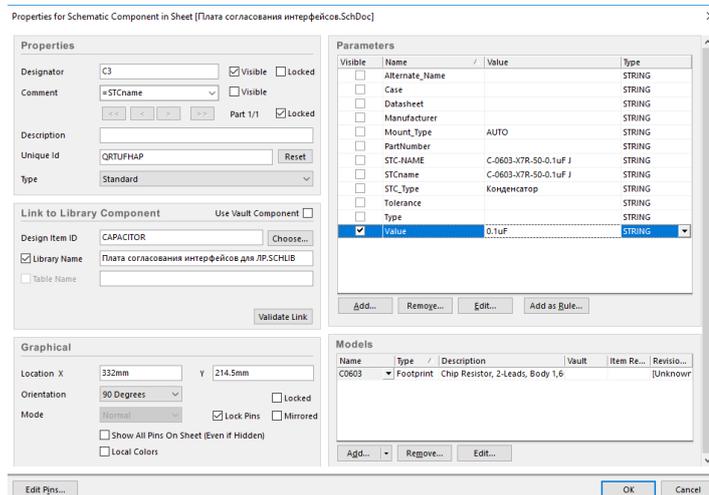


Рисунок 54 – Позиционное обозначение и значение элемента

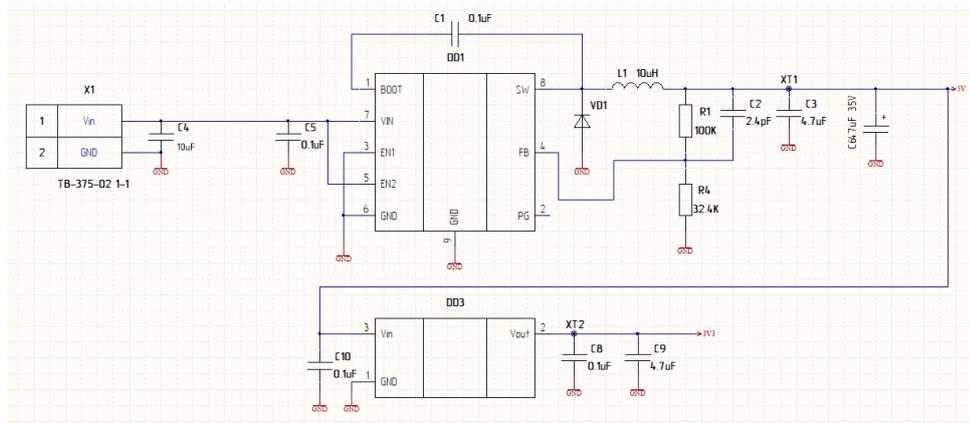


Рисунок 55 – Схема электрическая принципиальная

Добавить листы Плата согласования интерфейсов 2,3,4 из папки для ЛР. Сохранить, как «Плата согласования интерфейсов 1.schdoc».

Лабораторная работа 7. Проектирование печатной платы.

Добавить к проекту документы «Плата согласования интерфейсов 2.schdoc», «Плата согласования интерфейсов 3.schdoc», «Плата согласования интерфейсов 4.schdoc».

Для того, чтобы перенести все элементы со схемы в РСВ редактор печатной платы нужно нажать Tools/Update to PCB... (рис.56).

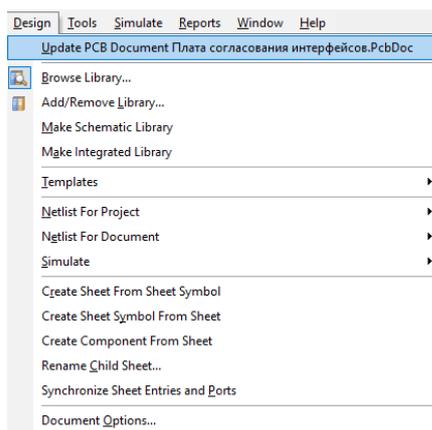


Рисунок 56 – Перенос схемы в РСВ редактор

Появится окно со списком элементов и взаимосвязей, нажать кнопку Validate Changes, после чего нажать Execute Changes. После чего напротив каждой строки должно стоять две зеленых галочки, подтверждающих, что препятствующих ошибок нет (рис.57). Нажать Close.

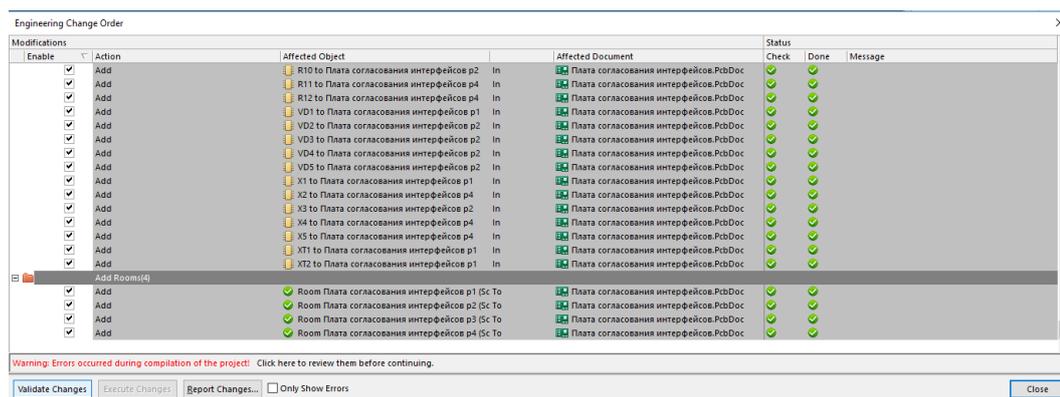


Рисунок 57 – Проверка ошибок при переносе из SCH в РСВ

В редакторе РСВ появятся все компоненты (рис.58).

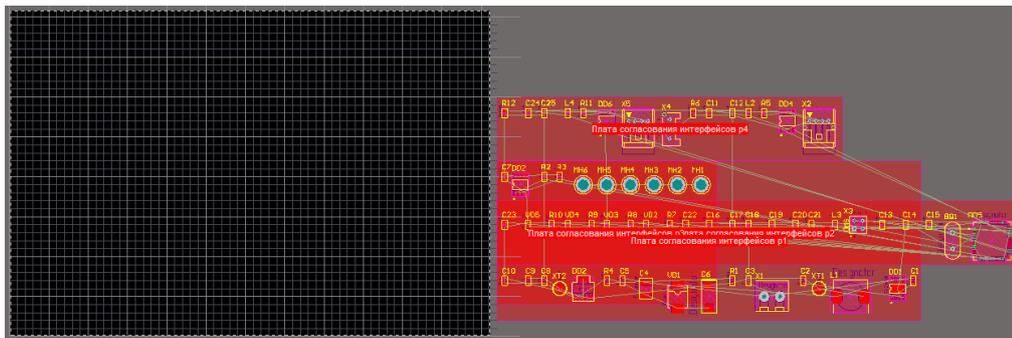


Рисунок 58 – Компоненты в РСВ

Клавишей L вызвать окно свойств слоев. Произвести настройку слоев согласно Лабораторной работе №3 рисунку 25.

Обрезать плату, установив размеры 60x55мм. Для этого перейти в слой BoardShape, клавишей P вызвать инструменты и с помощью Line нарисовать контур с размерами 60мм по вертикали и 55 мм по горизонтали. Выделяем контур и нажимаем Design/BoardShape/Define from... (рис.59).

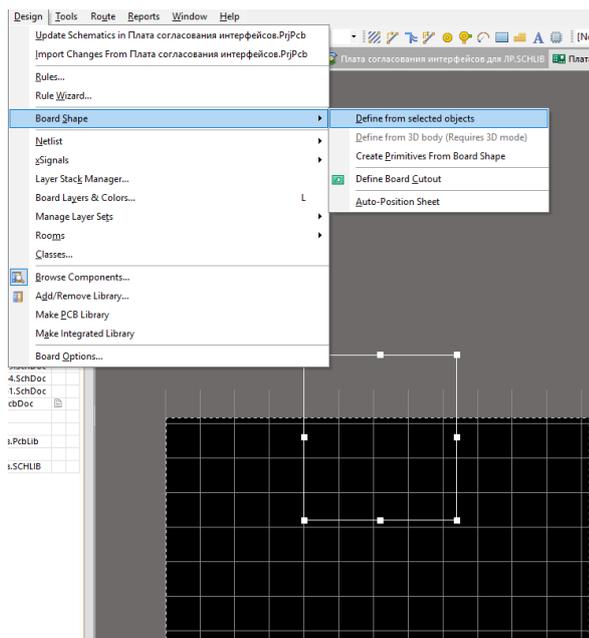


Рисунок 59 – Создание контура платы

Для лучшей прочности платы при дальнейшем производстве убрать острые края, сделав на 2 мм линии среза (рис.59.1).

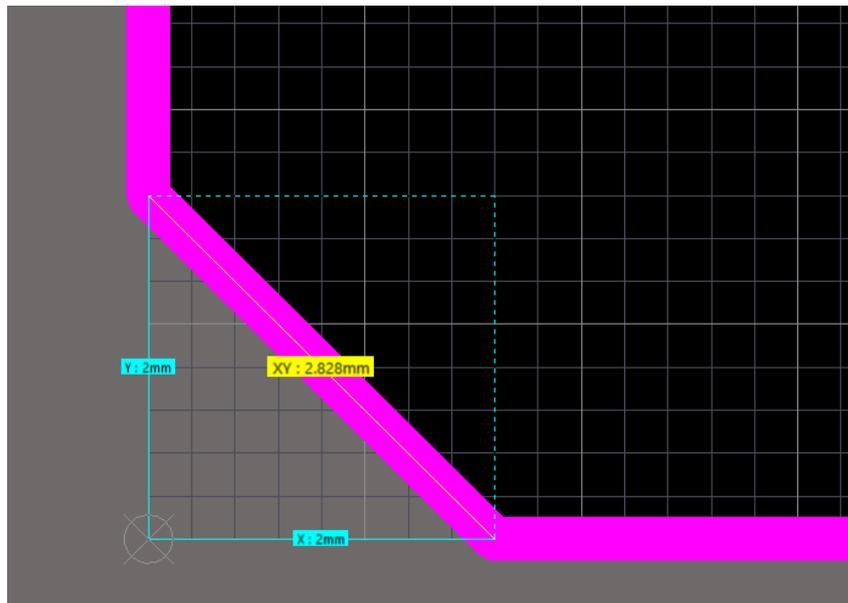


Рисунок 59.1 – Срез острых краев платы

Для привязки начала координат к плате нажать Edit/Origin/Set и установить в правый нижний край контура платы (рис.60).

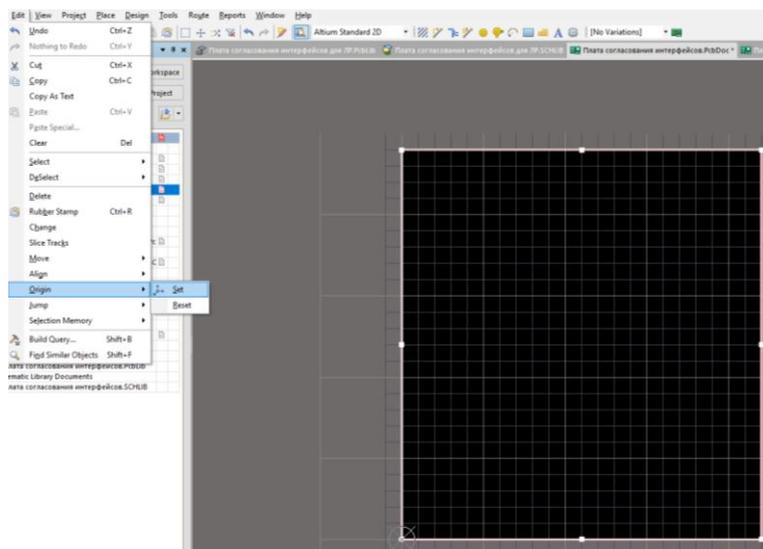


Рисунок 60 – Начало координат на контуре платы

Лабораторная работа 8. Настройка правил проектирования печатных плат.

Для перехода в окно настройки правил проектирования нужно нажать на верхней панели инструментов раздел Design/Rules (рис.61).

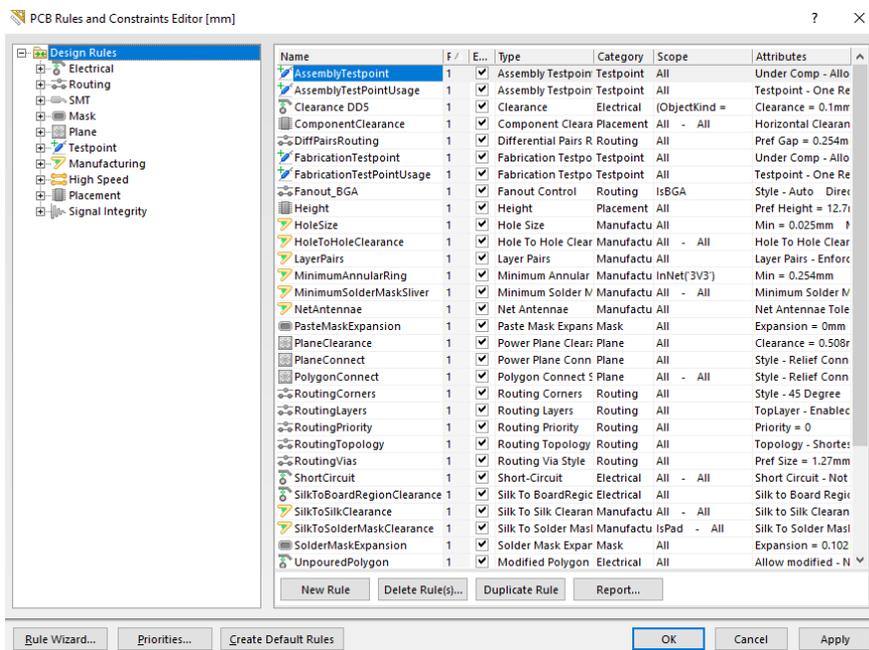


Рисунок 61 – Окно правил проектирования

Основное правило в электрических параметрах – Clearance (зазор). Определяет минимально допустимый зазор между любыми двумя металлизированными объектами на сигнальном слое. Это правило используется для задания расстояния между проводниками на плате (рис.62). Можно устанавливать это правило как общее, так и для отдельных классов цепей.

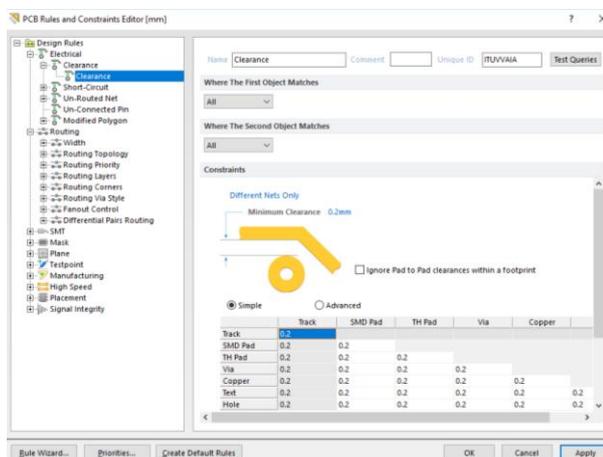


Рисунок 62 – Зазор между объектами

Для печатных плат 4 класса размер минимального стандартного зазора составляет 0.15 мм, но из-за возможности электрического пробоя введем минимальный зазор равный 0.2 мм. Чем больше расстояние между проводниками, тем большее напряжение необходимо чтобы пробить его.

Также есть правила:

Short-Circuit (короткозамкнутые цепи) – проверяет наличие короткого замыкания между примитивами различных цепей.

Un-Routed Nets (неразведанные цепи) – проверяет статус завершения трассировки всех цепей, попавших в указанную область.

Un-Connected Pin (неподключенные выводы) – данное правило служит для выявления выводов, не соединенных с проводниками на плате.

Unpoured Polygon (не залитые полигоны) – данное правило служит для выявления не залитых полигонов на плате и дает возможность не заливать отдельные полигоны.

Следующий тип правил учитывается при трассировке печатной платы и находится в разделе **Routing** (рис.63). Основное **Width** (ширина проводника) – данное правило определяет минимальную, максимальную и рекомендуемую ширину проводников и дуг на медном слое. Следует учитывать, что если не задан разброс от минимальной до максимальной ширины проводника, то программа не только не будет сужать дорожки при автоматической трассировке, но и не позволит уменьшить ширину трассы в интерактивном режиме (по команде **Shift+W**).

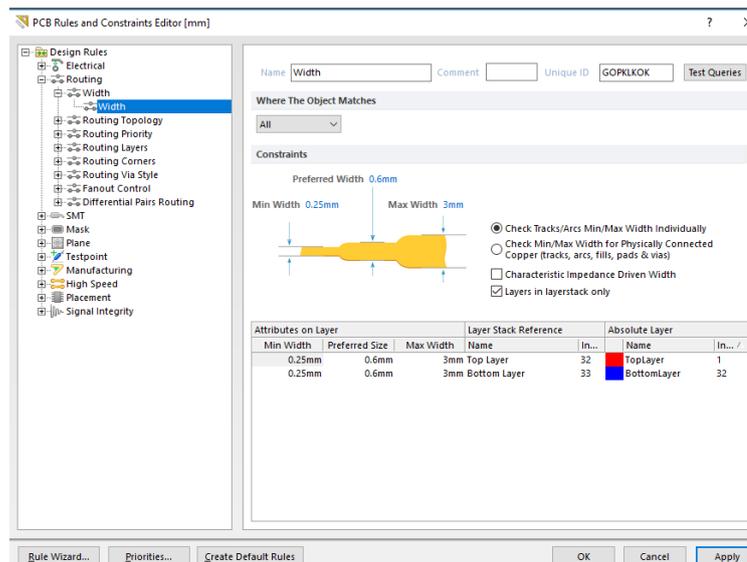


Рисунок 63 – Правила трассировки

Минимальная ширина 0,25 мм (выбор обусловлен тем, что ширины самых маленьких падов 0,25 мм, меньшая ширина может привести к падению напряжения, нагреву проводник и т.д.), промежуточная ширина 0.6 мм и максимальная ширина 3 мм.

Следующие правила используются в основном при автоматической трассировке:

Routing Topology Rule (топология трассировки) – определяет порядок или образец соединения выводов проводниками.

RoutingPriority (приоритет трассировки) – присваивает цепи приоритет трассировки.

RoutingLayers (слои трассировки) – определяет слои, которые будут использоваться при автоматической трассировке.

RoutingCorners (углы изгиба проводников) – определяет стиль излома проводников, используемый при автоматической трассировке. Изломы могут быть скруглёнными или под углом 45°. Установить значения излома 2 мм (рис.64).

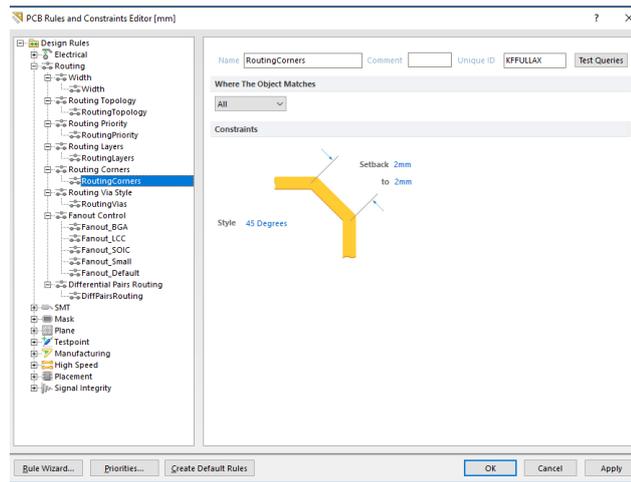


Рисунок 64 – Настройка излома при автотрассировке

Для переходных отверстий предназначено правило RoutingViaStyle (стиль переходных отверстий) – определяет диаметр контактной площадки и диаметр круглого переходного отверстия. Для стандартного 4 класса печатных плат минимальный размер по ГОСТ 23.751-86 0,5 мм (рис.65).

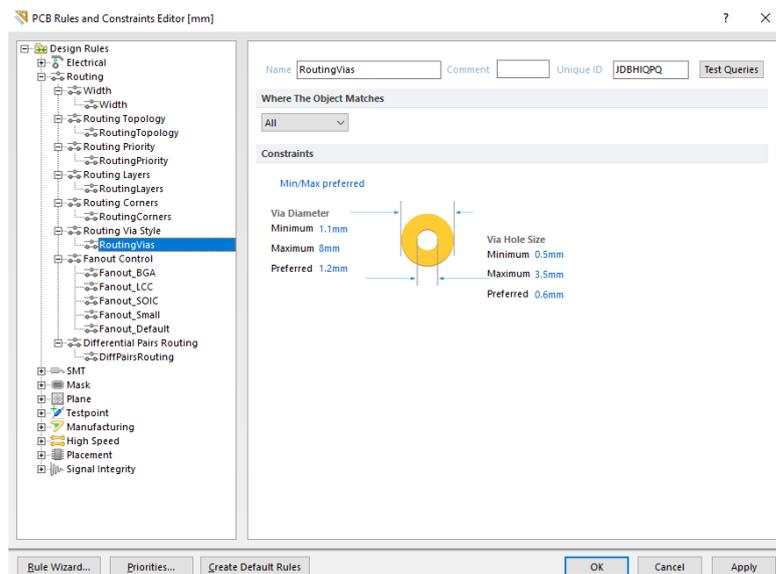


Рисунок 65 – Настройка переходного отверстия

Следующий раздел правил SMT предназначен для контактных площадок под поверхностный монтаж.

Solder-Mask Expansion (размер окна в трафарете для защитной маски) – задаётся величина, на которую расширяется или сжимается рисунок контактной площадки на слое Solder Mask, из которого формируются окна в трафарете для пайки. Установим 0,05 мм (рис.66).

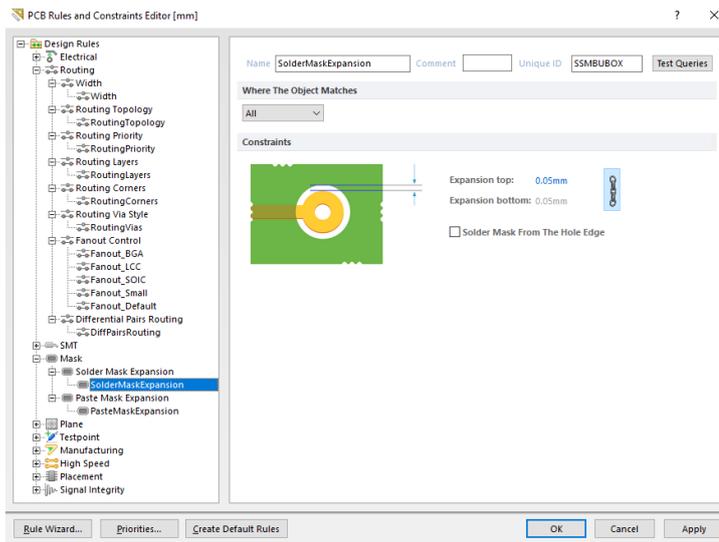


Рисунок 66 – Правило паяльной маски

Следующий раздел – правила для подсоединения полигонов и экранных слоев Plane.

PowerPlaneConnectStyle (стиль соединения выводов со слоем питания) – определяет стиль соединения выводов компонента со слоем питания; аналогичен стилю подключения полигона. В строке Connect Style установить Direct (рис.67).

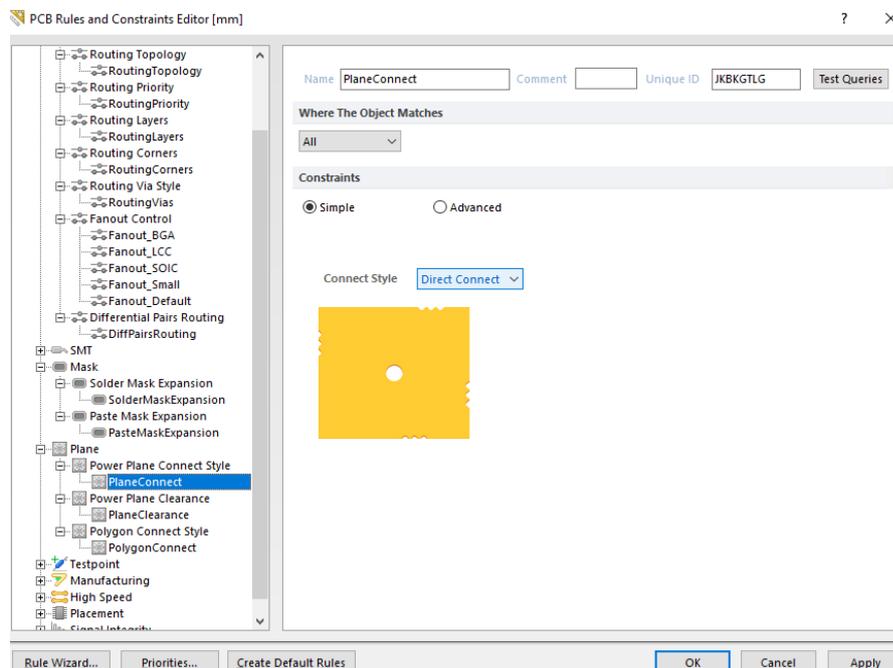


Рисунок 67 – Правило соединения выводов со слоем питания

Power Plane Clearance (зазоры на слоях питания) – определяет радиальный зазор, создаваемый вокруг переходных отверстий и контактных

площадок, которые проходят сквозь слои питания, но не соединяются с ними.
Установить 0,5 мм (рис.68).

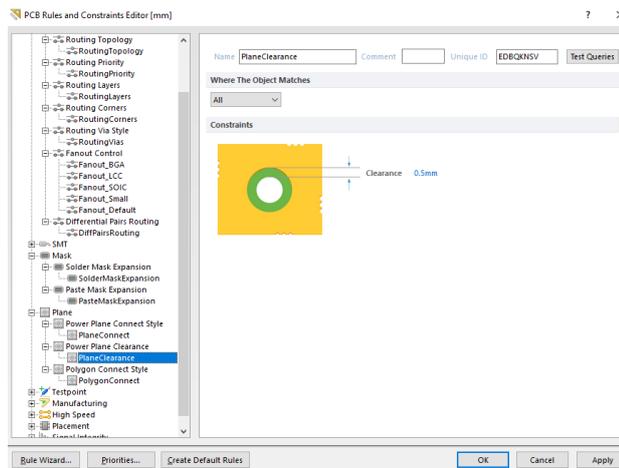


Рисунок 68 – Зазоры на слоях питания

Polygon Connect Style (стиль соединения выводов с полигоном) – определяет стиль соединения выводов компонента с металлизированным полигоном. Установить в Connect Style Direct (рис.69).

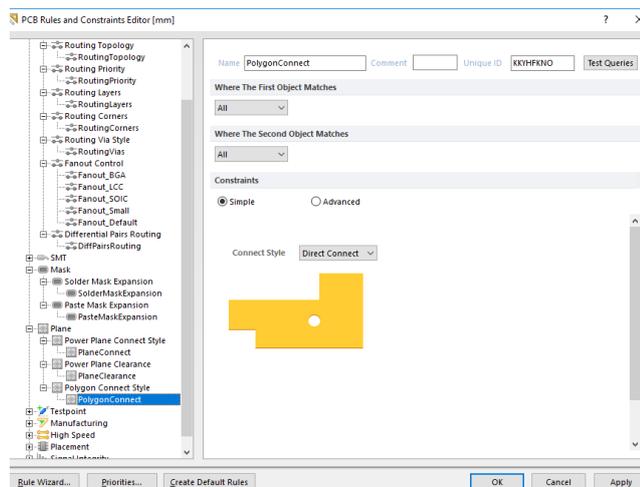


Рисунок 69 – Правило соединения выводов с полигоном

Правила проектирования, используемые при размещении компонентов находятся в разделе Placement.

Основное правило ComponentClearanceConstraint (расстояние между компонентами) – устанавливает минимально допустимое расстояние между компонентами. Установить настройки согласно рисунку 70.

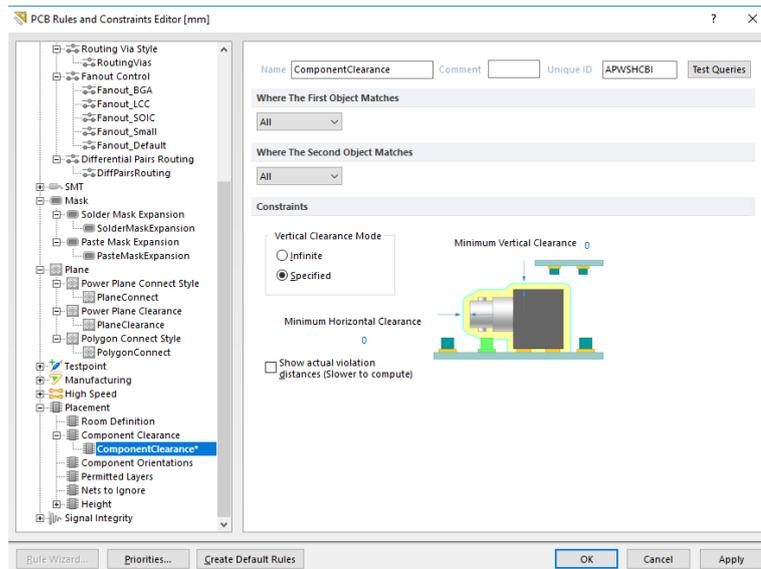


Рисунок 70 – Правило расстояние между элементами
Сохранить все.

Лабораторная работа 9. Размещение компонентов на печатной плате.

Существует два способа размещения компонентов на печатной плате: Автоматическое и ручное. Автоматическое размещение имеет низкую эффективность по сравнению с ручным, но ручное размещение компонентов может занять больше времени.

Первый способ: Автоматическое размещение.

Расставить все GND сквозные отверстия по краям платы (то, через что плата будет крепиться в дальнейшем). В правило ComponentClearance внести коррективы установив минимальные размеры по все сторонам – 0,75 мм (рис.71).

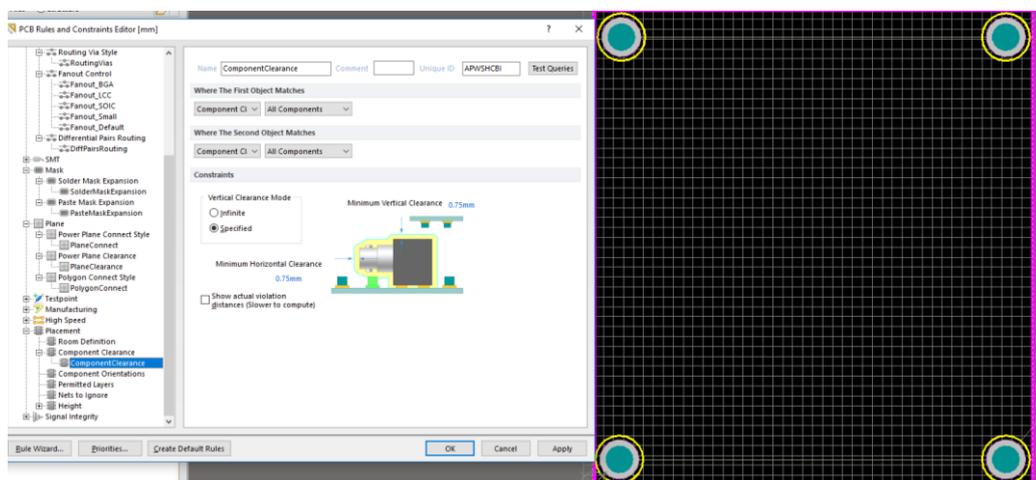


Рисунок 71 – Установка правила

Выделить все элементы, нажать Tools/Component Placement/ Arrange within Room (рис.72).

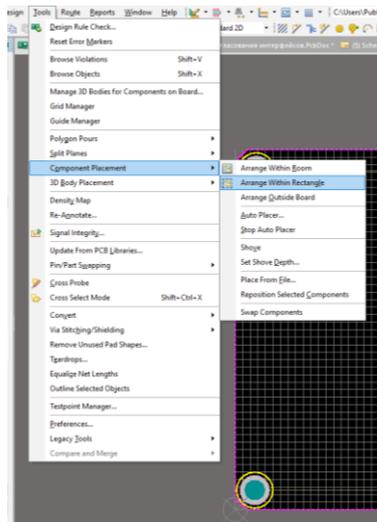


Рисунок 72 – Автоматическое размещение компонентов

Выделить поле размещения элементов с помощью инструмента Fill (рис.73).

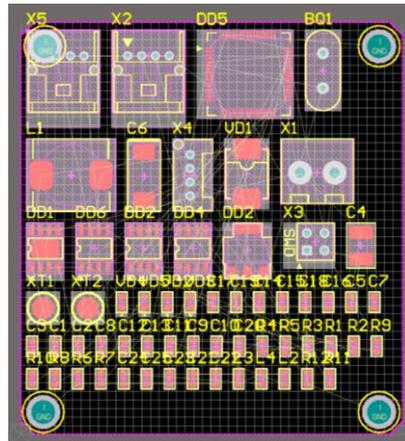


Рисунок 73 – Законченное авторазмещение

Требует доработок ручным способом.

Второй способ: Ручное размещение компонентов.

Ручное размещение предполагает свободные действия и ограничивается только рекомендациями, приводимыми в руководствах по применению компонентов или справочных материалах, и правилами расположения элементов.

После переноса всех элементов можно приступить к ручному размещению. Для переноса названия компонентов на другой слой нажать правой кнопкой мыши на название компонента, выбрать Find Similar Objects. Занести данные в таблицу согласно рисунку 74. Нажать ОК.

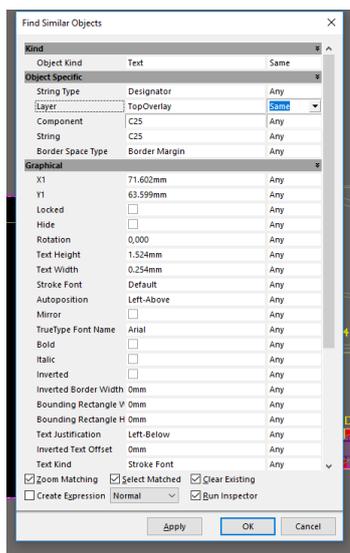


Рисунок 74 – Выбор слоя для обозначений

Появится окно PCB Inspector, в котором нужно изменить данные согласно рисунку 75.

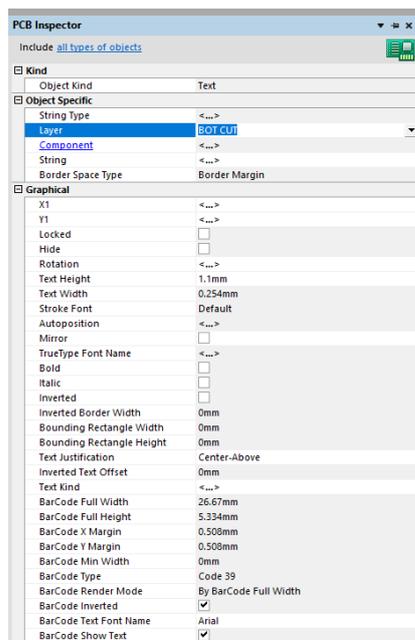


Рисунок 75 – Изменение параметров обозначений

Расположить сквозные отверстия по краям платы. Основная микросхема DD5, там больше всего выводов, поэтому она должна быть ближе к центру. При перемещении зеленая ветвь подсказывает как более эффективно расположить элемент, кнопка Пробел позволяет вращать элемент под 90 градусов (рис.76).

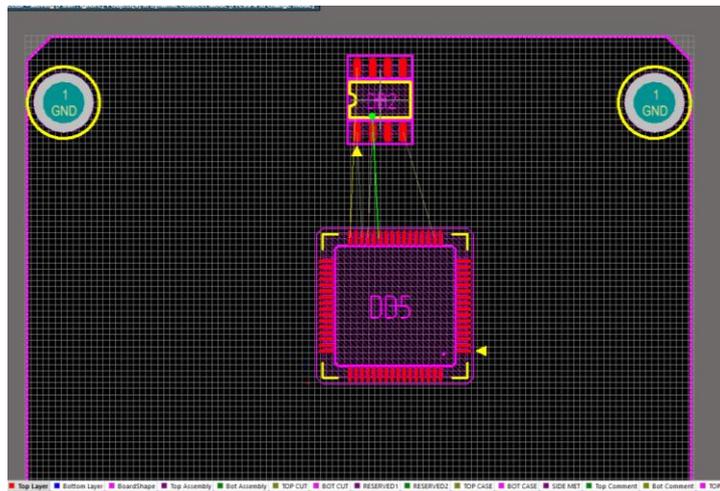


Рисунок 76 – Расположение элементов на ПП

Можно сверяться по принципиальным электрическим схемам, какой элемент должен быть расположен вблизи микросхемы. Например, рядом со схемой DD2 расположен резистор R2 и R3, а также конденсатор C7, следовательно на плате их лучше всего располагать вблизи и каждый перед определенным выводом (рис.77).

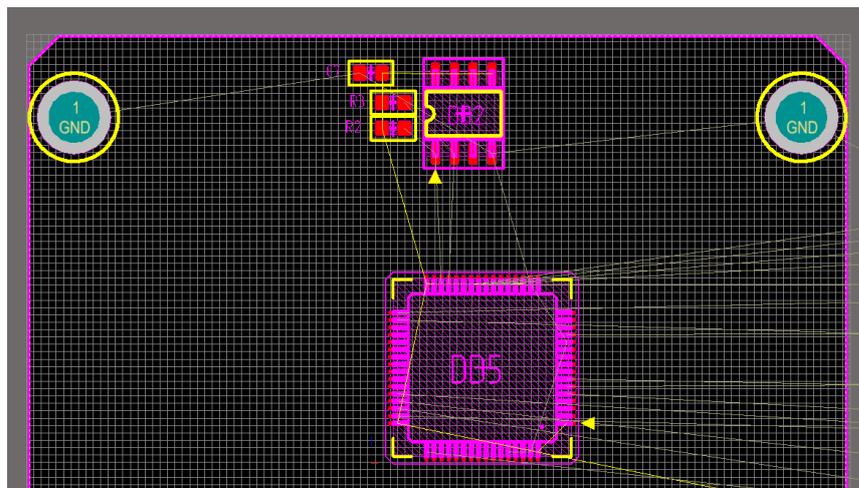


Рисунок 77 – Размещение DD2

На электрической схеме рядом со схемой DD5 располагаются элементы, показанные на рисунке 78.

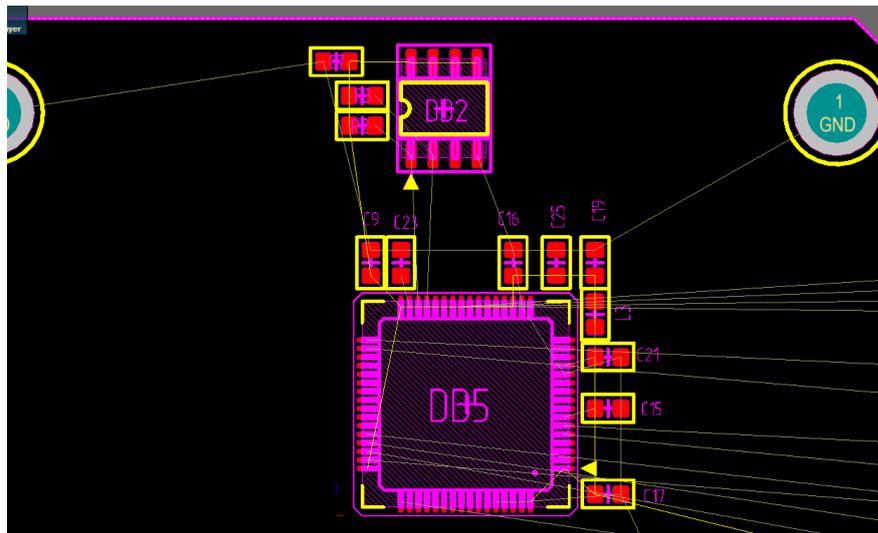


Рисунок 78 – Вокруг микросхемы DD5

Правильно будет расположить вторичные микросхемы относительно близко к главной, поэтому DD4 и DD6 располагаем слева от DD5, справа от DD5 ставим кварцевый резонатор. Также к микросхемам DD4 и DD6 идут разъемы, показанные на схеме, поэтому разъемы расположить на краю платы для того, чтобы было удобно и практично производить коннект внешних устройств (рис.79).

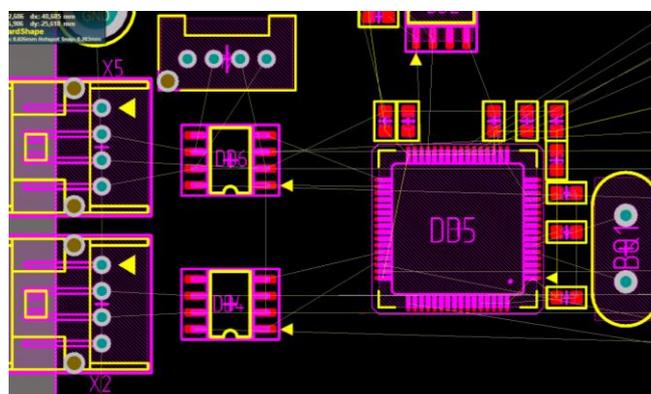


Рисунок 79 – Размещение резонатора и микросхем

Руководствуясь схемой можно расположить резисторы и светодиоды в месте над схемой DD5, к которой они подключаются (рис.80).

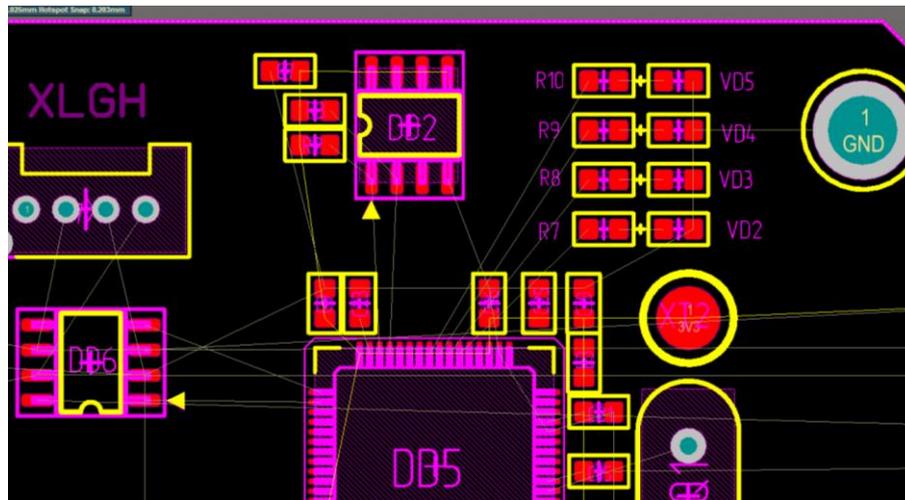


Рисунок 80 – Расположение светодиодов и вывода пот питание XT2

Согласно схеме расположить элементы, которые коннектятся с выводами микросхем DD4 и DD6, как можно эффективнее.

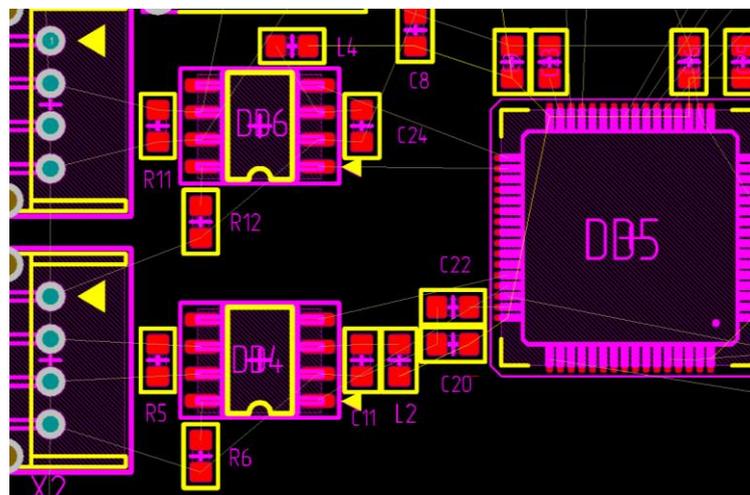


Рисунок 81 – Расположение элементов, взаимодействующих со схемами DD4, DD5 и DD6

На электрической принципиальной схеме показано, что микросхемы DD1 и DD3 находятся в близкой зависимости, имея выход на 5V питание, также поблизости должен располагаться диод VD1, разъем X1 и между двумя этими микросхемами обязательно идет катушка индуктивности L1 (рис.82).

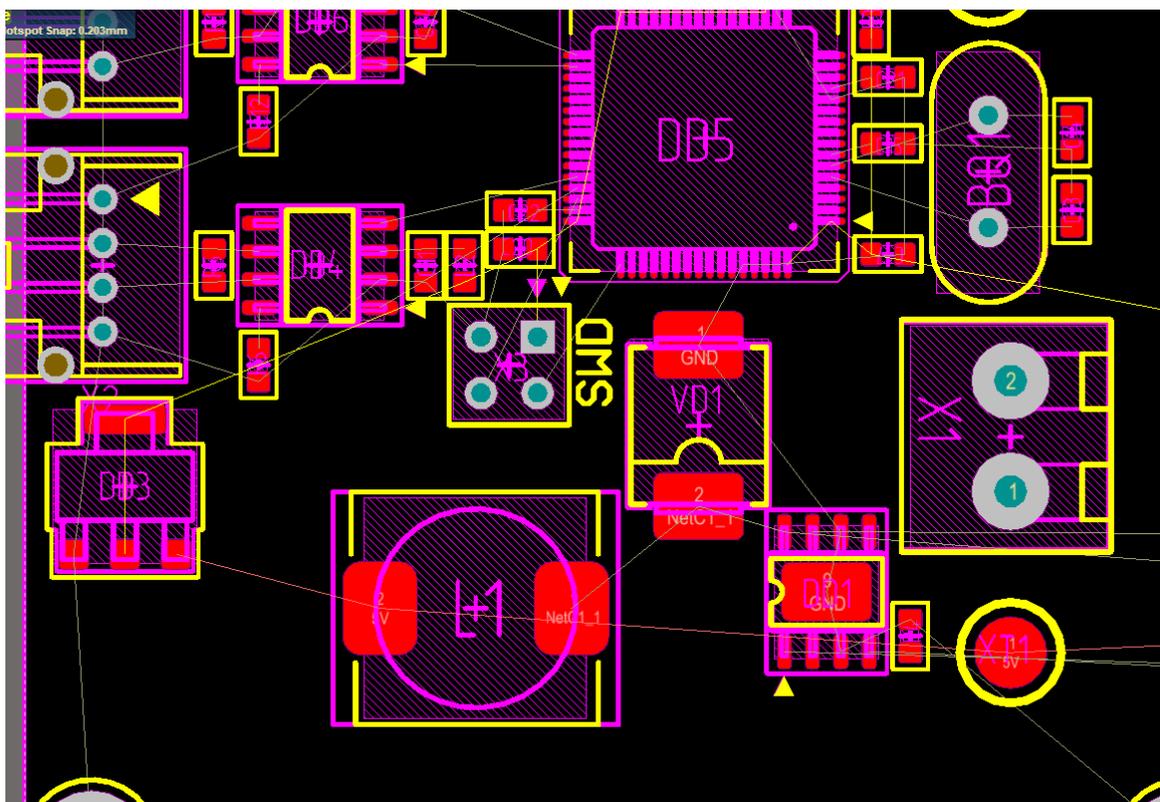


Рисунок 82 – Расстановка элементов DD1 и DD3

Размещаем оставшиеся компоненты близко к соединениям по принципиальной схеме (рис.83).

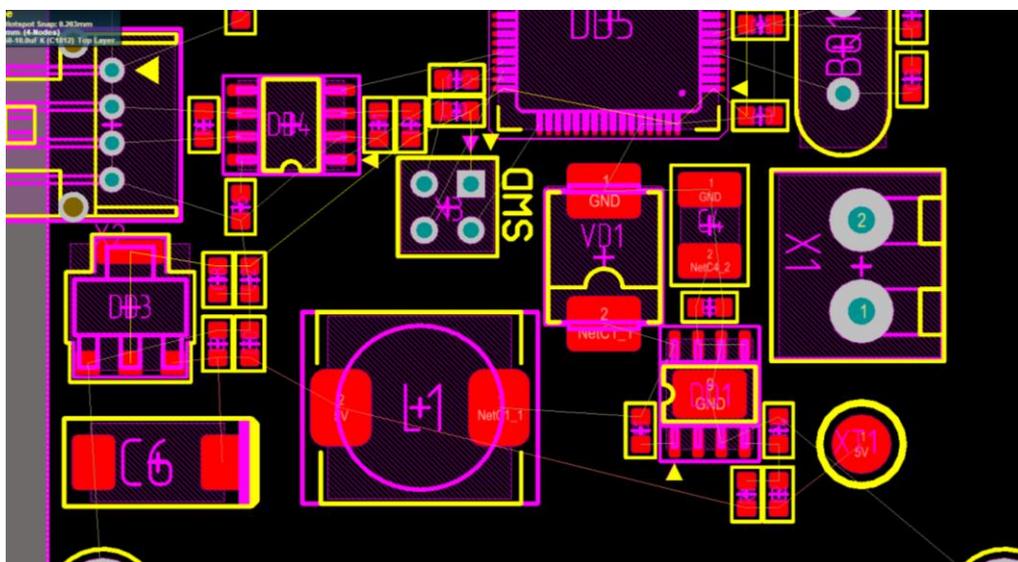


Рисунок 83 – Последние компоненты

Ручное размещение компонентов закончено (рис.84).

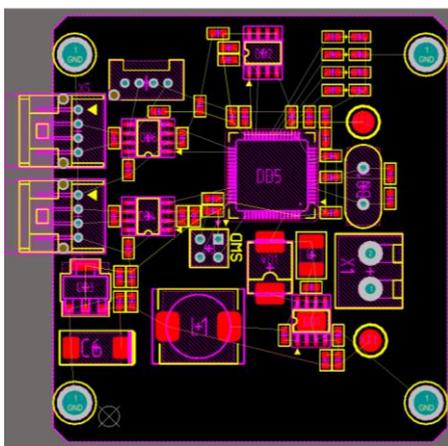


Рисунок 84 – Окончательная расстановка элементов на плате

Лабораторная работа 10. Трассировка печатной платы. Готовая печатная плата.

В Altium Designer есть возможность как автоматической, так и ручной трассировки печатной платы. Автоматическая трассировка считается менее эффективной, т.к. допускается много больше ошибок, чем при ручной.

Первый способ: автоматическая трассировка в Altium Designer легка в применении и состоит всего из нескольких шагов:

Нажать Route/Auto Route/All, после появится окно в котором будут указаны возможные ошибки при трассировке и ее стратегии (рис.85).

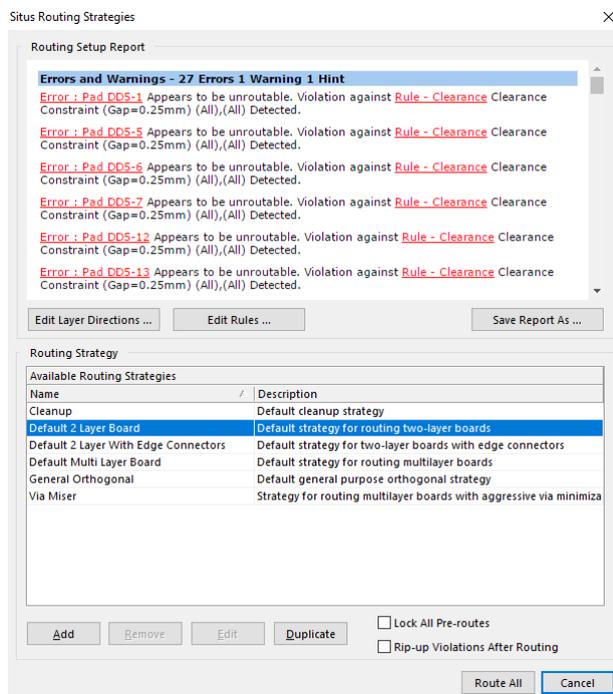


Рисунок 85 – Автотрассировка

На вкладке Routing Strategy, представлены стратегии трассировки: Cleanup – «чистка» топологии; Default 2 Layer Board – простая двухслойная плата; Default 2 Layer With Edge Connectors – двухслойная плата с торцевым разъёмом; Default Multilayer Board – многослойная плата и др.

При необходимости пользователь может задавать свои стратегии трассировки, для чего следует нажать кнопку Add в окне Situs Routing Strategies, после чего появится окно Situs Strategy Editor (рис.86).

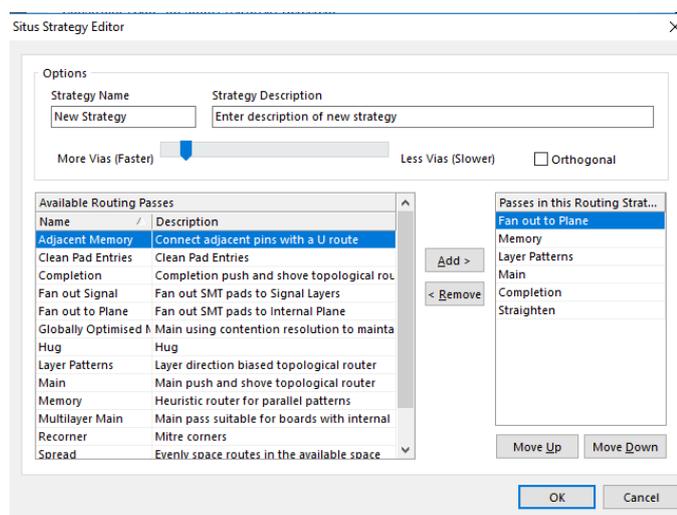


Рисунок 86 – Создание собственной стратегии трассировки

В стратегию можно добавить следующие важные процедуры:

Adjacent Memory – соединяет выводы U-образными проводниками;

Clean Pad Entries – «чистит» подходы к контактным площадкам;

Completion – добивается завершённости трассировки, для чего использует методы разрыва и расталкивания препятствий;

Memory (память) – находит все цепи, связанные с устройствами памяти или похожие на таковые и использует эвристический алгоритм.

Fan Out Signal – прорисовывает стрингеры у КП поверхностного монтажа на сигнальных слоях;

Fan Out to Plane – прорисовывает стрингеры у КП поверхностного монтажа с переходами на внутренние слои питания и заземления;

Hug – уплотняет проложенные дорожки;

Layer Pattern (шаблон для слоя) – использует шаблоны трассировки с учётом преобладающего направления на слое;

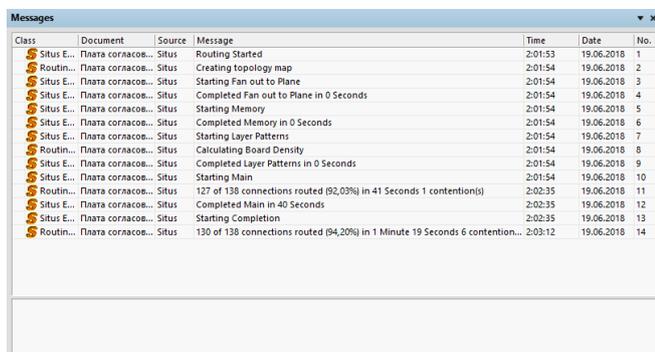
Main – главная процедура топологической трассировки с использованием методов разрыва и расталкивания препятствий;

Rescorner – добавляет сглаживание прямых углов;

Spread – равномерно использует доступное для прокладки место;

Straighten – выполняет общую чистку топологии.

Для запуска автоматической трассировки нажать на Route All. На панели сообщений отобразится процесс автотрассировки (рис.87).



| Class | Document | Source | Message | Time | Date | No. |
|------------|------------------|--------|--|---------|------------|-----|
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Routing Started | 2:01:53 | 19.06.2018 | 1 |
| Routin... | Плата согласо... | Situs | Creating Topology map | 2:01:54 | 19.06.2018 | 2 |
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Starting Fan out to Plane | 2:01:54 | 19.06.2018 | 3 |
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Completed Fan out to Plane in 0 Seconds | 2:01:54 | 19.06.2018 | 4 |
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Starting Memory | 2:01:54 | 19.06.2018 | 5 |
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Completed Memory in 0 Seconds | 2:01:54 | 19.06.2018 | 6 |
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Starting Layer Patterns | 2:01:54 | 19.06.2018 | 7 |
| Routin... | Плата согласо... | Situs | Calculating Board Density | 2:01:54 | 19.06.2018 | 8 |
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Completed Layer Patterns in 0 Seconds | 2:01:54 | 19.06.2018 | 9 |
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Starting Main | 2:01:54 | 19.06.2018 | 10 |
| Routin... | Плата согласо... | Situs | 127 of 138 connections routed (92,03% in 41 Seconds 1 contention(s)) | 2:02:35 | 19.06.2018 | 11 |
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Completed Main in 40 Seconds | 2:02:35 | 19.06.2018 | 12 |
| Situs E... | Плата согласо... | Situs | Starting Completion | 2:02:35 | 19.06.2018 | 13 |
| Routin... | Плата согласо... | Situs | 130 of 138 connections routed (94,20% in 1 Minute 19 Seconds 6 contention... | 2:03:12 | 19.06.2018 | 14 |

Рисунок 87 – Панель сообщений

Полностью разведенная плата при автоматической трассировке (рис.88). Видно, что есть множество недочетов, которые нужно исправлять.

Например:

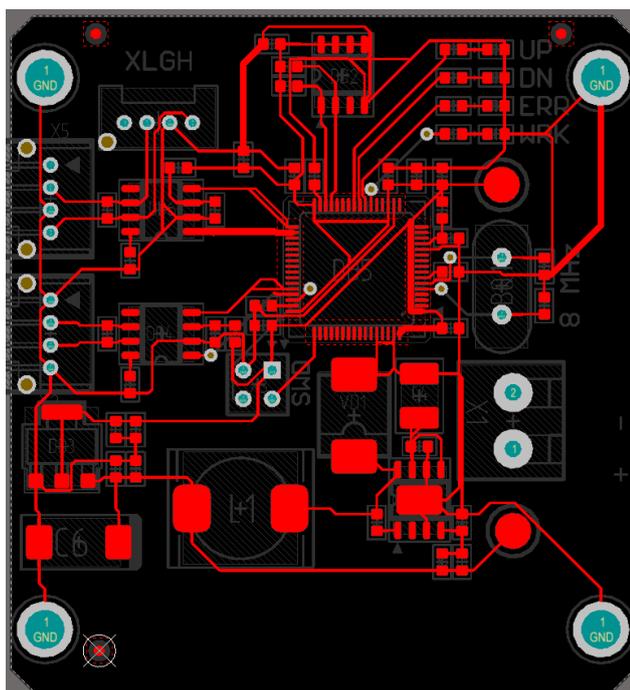


Рисунок 88 – Автоматическая трассировка

Ручная трассировка. Чтобы не допустить группных ошибок нужно руководствоваться несколькими правилами.

1) Нужно использовать максимально возможную ширину проводников, т.к. из-за меньших размеров может произойти падение

напряжения (Чем меньше площадь сечения проводника, тем больше его сопротивление. Чем больше сопротивление проводника, тем больше на нем упадет напряжение), нагрев проводника (мощность выделяемая на проводнике пропорциональна его сопротивлению, то есть чем больше сопротивление, тем больше тепла выделится на проводнике), низкая механическая прочность и т.д.

2) Ширина проводника, подключаемого к контактной площадке, должна составлять примерно 80% от ширины этой площадки (желательно).

3) Для цепей питания существует отдельное правило: дорожки максимально широкие. Питание должно приходиться на микросхему через керамический конденсатор, который по возможности ставят ближе к выводу этой микросхемы.

4) Использовать полигон для разводки цепи GND, а в идеале отдельный слой, который полностью выделен для данной цепи, например, нижний слой. Полигон представляет просто большой проводник.

5) Минимальное значение зазора между медными проводниками на печатной плате, нам диктуют технологические требования. Для 4-го (стандартного) класса значение составляет 0.15/0.15 мм или 6/6 mils. Иногда этого зазора недостаточно, решение – увеличение расстояния между проводниками. Напряжение пробоя зависит от типа материала и от толщины/ширины изолятора. В случае печатных плат — расстояние (зазор) между проводниками как раз является тем параметром, который влияет на критического значения напряжения пробоя. Чем больше расстояние между проводниками, тем большее напряжение необходимо чтобы пробить его.

6) Использовать минимальное количество переходных отверстий: если вам нужно соединить 2 контакта на разных слоях, то не используйте более 1-го переходного отверстия. Если 2 контакта находятся на одном слое и вы не можете соединить их напрямую, то используйте максимум 2 переходных отверстия. Если вам нужно больше переходов для соединения,

то что-то вы делаете не так — тренируйте логику и переразводите участок платы, который привел к проблеме.

Клавишей Shift+S перейти в режим просмотра одного слоя. Приступить к разводке с помощью инструмента Interactively Route Connection . Если проводник горит зеленым, то ошибка в толщине проводника. Нажать кнопку Tab и в меню проводника поменять его ширину (рис.89).

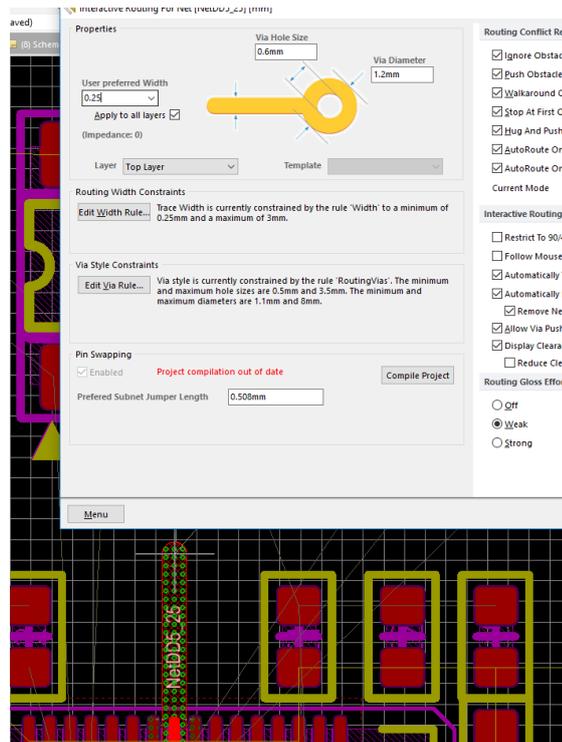


Рисунок 89 – Свойство проводника

Сначала разводим проводники шириной 0,25 мм. Для каждого контакта на печатной плате одного элемента имеется другой элемент с таким же названием контакта, в основном их и нужно соединить, площадки, которые нужно свести показываются тонкими белыми нитями между компонентами, желтыми нитями показывается цепь питания (рис.90).

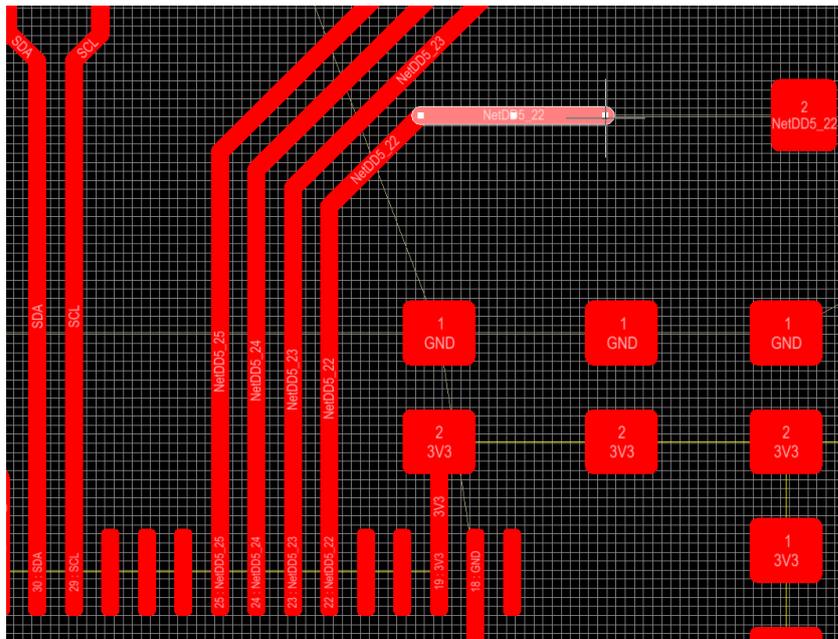


Рисунок 90 – Трассировка проводника шириной 0,25 мм

Трассировка проводников шириной 0,25 мм на рисунке 91, но остался один незаконченный проводник, т.к. расстояние до нужной контактной площадки большое или ограничено правилами трассировки, есть два варианта: 1) вести вокруг всей платы проводник, что значительно снизит эффективность всей трассировки, 2) применить переходное отверстие для переноса проводника на нижний слой.

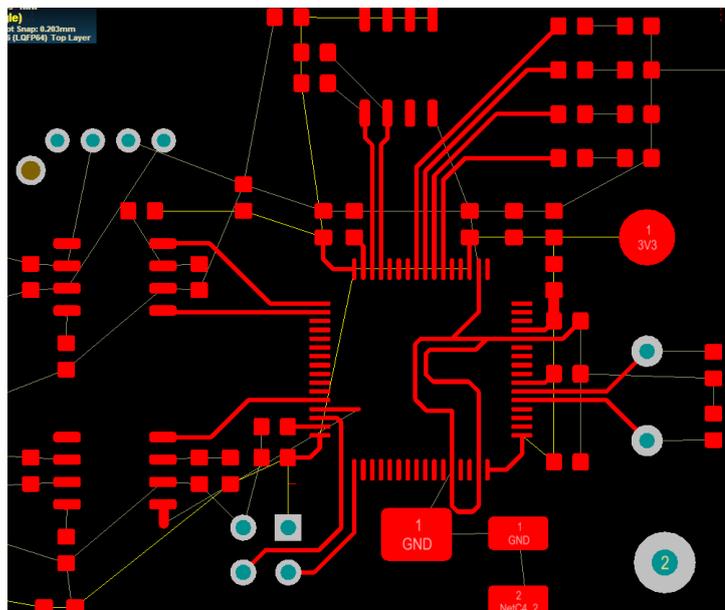


Рисунок 91 – Все проводники 0,25 мм

Второй способ более эффективный и правильный (рис.92). С помощью инструмента Via создаем два переходных отверстия, чтобы провести

проводник на другой стороне платы. Для этого перейти на слой Bottom Layer и протянуть проводник (рис.93).

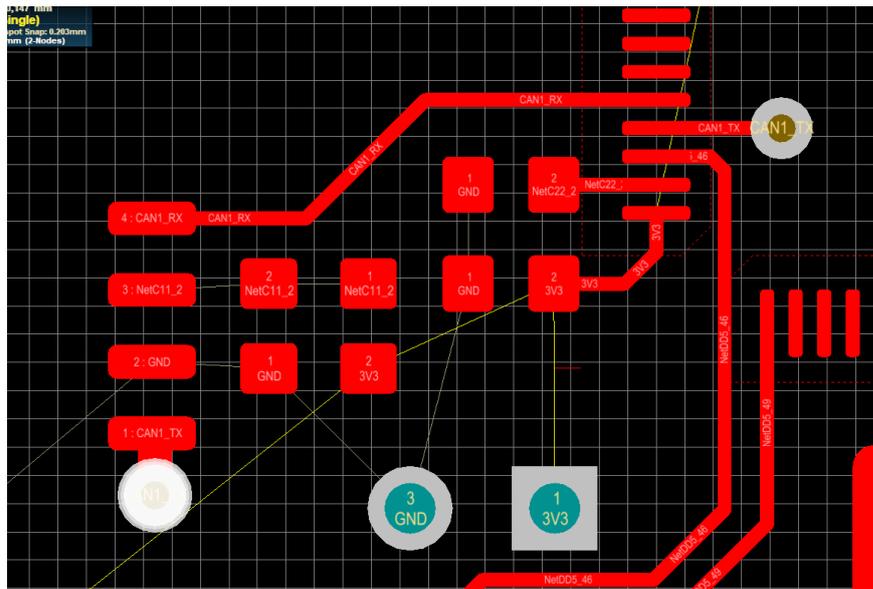


Рисунок 92 – Создание переходных отверстий

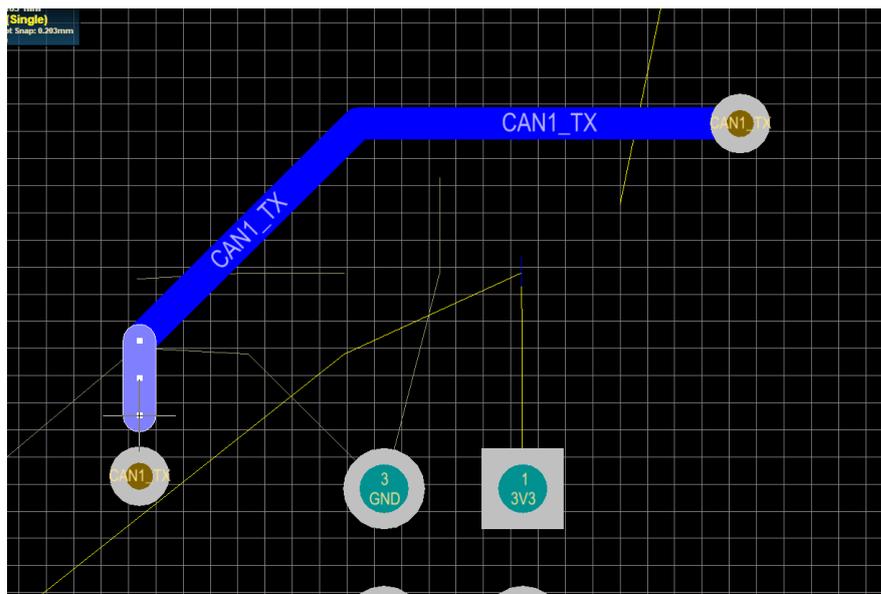


Рисунок 93 – Проводник на слое Bottom Layer

Соединим проводниками диоды и резисторы, для лучшей проводимости увеличим толщину проводник. Сверху у нас микросхема DD2, поэтому согласно вышенаписанным правилам нужно проводить цепь питания 3V3 через конденсатор перед тем, как она войдет в пин микросхемы. Подключить выходы SCL и SCA на микросхеме и конденсаторах (рис.94).

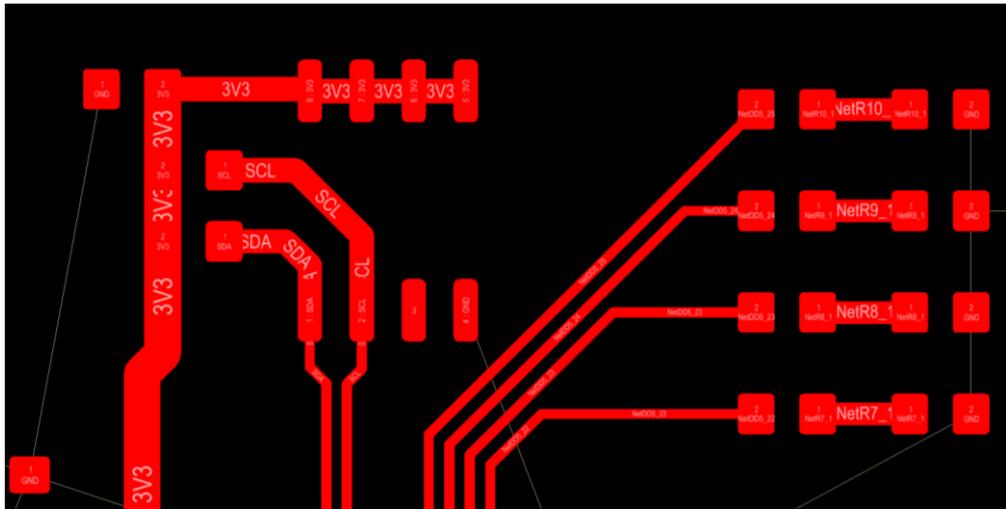


Рисунок 94 – Трассировка элементов

Соединить микросхемы DD4 и DD6 проводниками с элементами согласно названиям контактных площадок (рис.95).

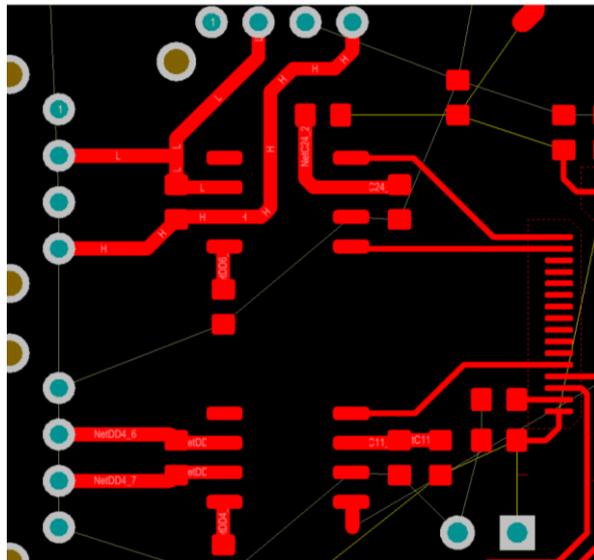


Рисунок 95 – Трассировка микросхем DD4 и DD6

Протянуть 5V цепь питания, подключить к схеме DD1 элементы как показано на рисунке 96.

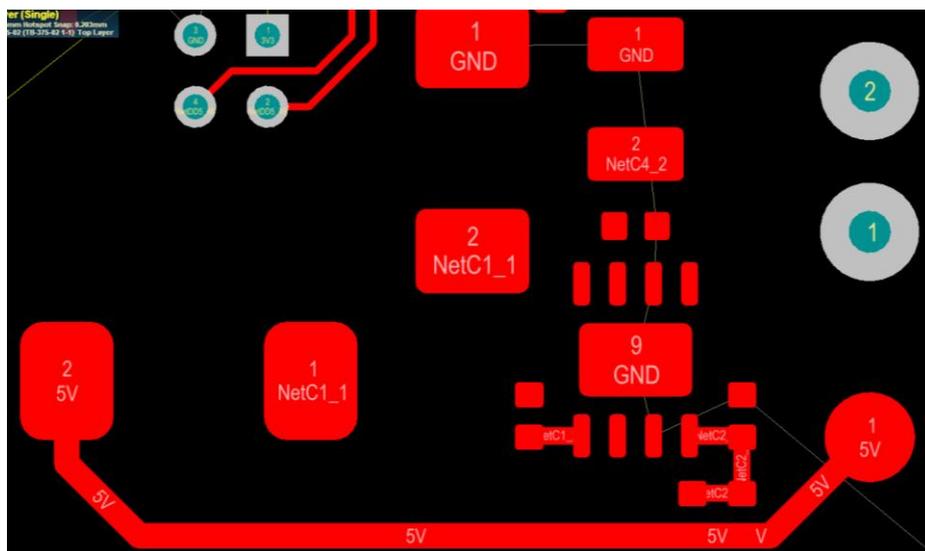


Рисунок 96 – Подключение DD1 и цепи питания 5V

Соединить оставшиеся проводники, подключить кварцевый резонатор (рис.97).

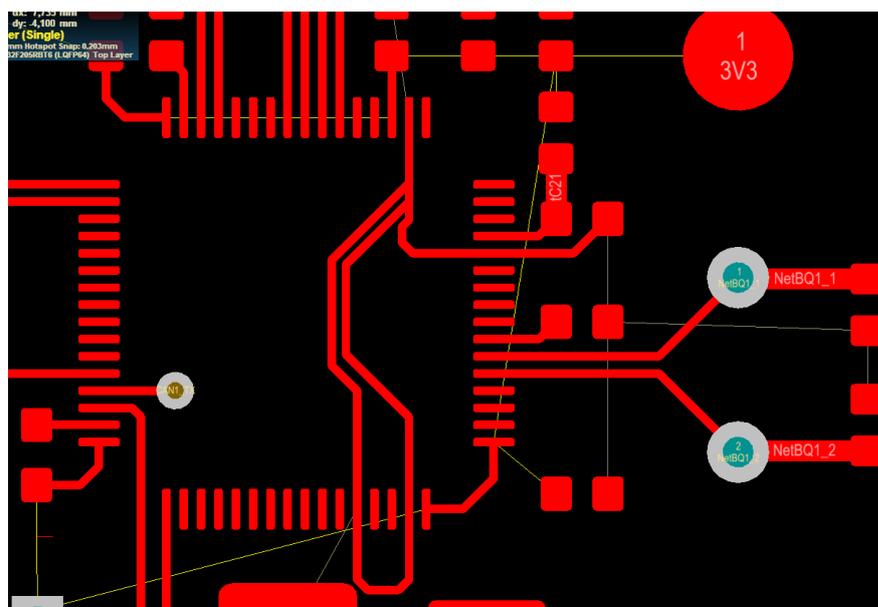


Рисунок 97 – Трассировка кварцевого резонатора

Нужно построить цепь питания 3V3. Она должна идти через элементы, через которые идет желтая нить (рис.98). Для того, чтобы выделить будущую цепь питания, нужно нажать на контактную площадку с обозначением 3V3 Ctrl+левая кнопка мыши.

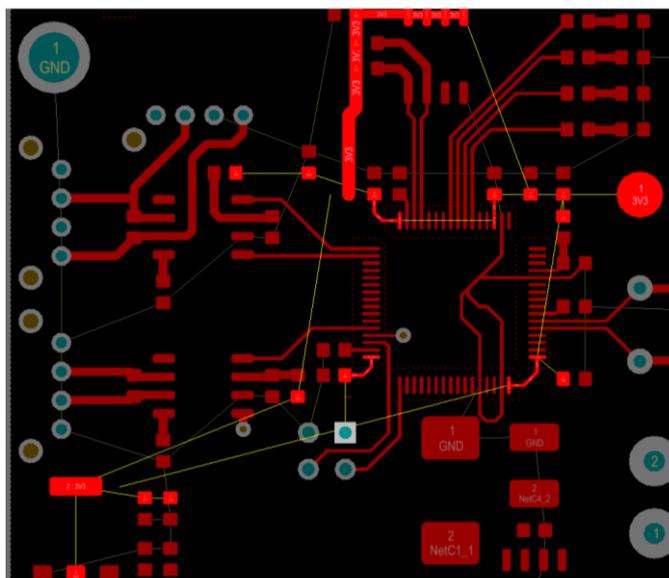


Рисунок 98 – Цепь питания 3V3

Согласно правилам и ограничениям получилось, что не все контактные площадки возможно соединить на слое Top Layer (рис.99).

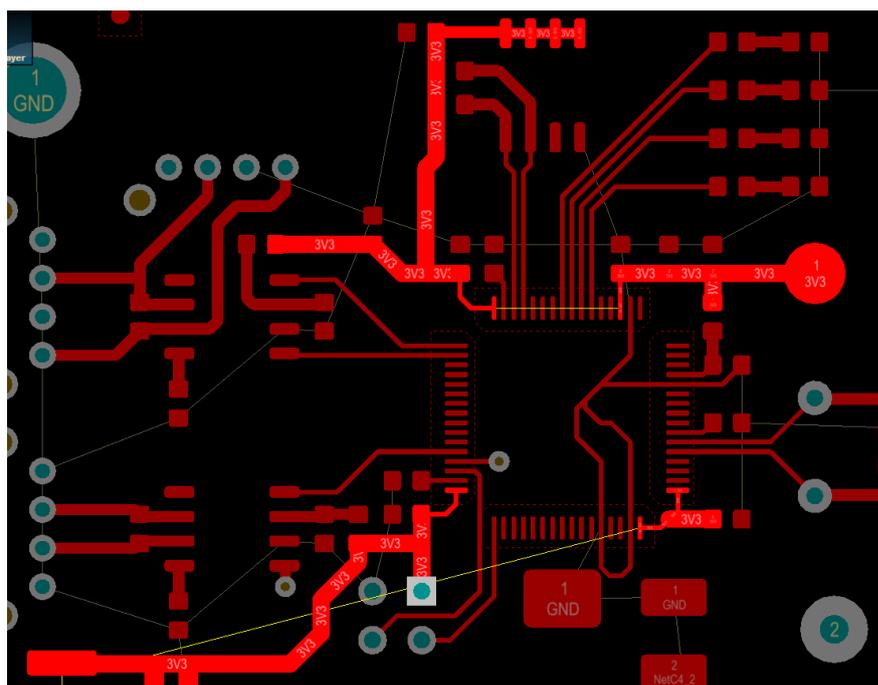


Рисунок 99 – Цепь питания 3V3 на слое Top Layer

Для конечной трассировки цепи питания 3V3 установить переходные отверстия (рис.100).

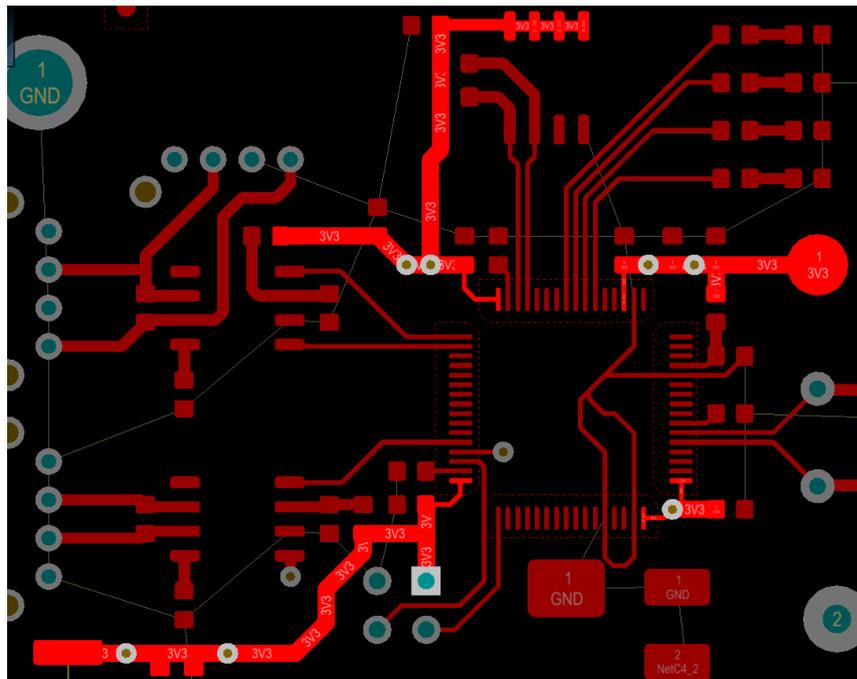


Рисунок 100 – Переходные отверстия для цепи питания 3V3

Перейти на слой Bottom Layer, произвести трассировку отверстий (рис.101).



Рисунок 101 – Трассировка цепи питания 3V3 на слое Bottom Layer

Рассмотрим расположение диода и катушки индуктивности. Т.к. они имеют большие контактные площадки, то нужно провести широкий проводник, но рядом имеется маленькая контактная площадка конденсатора и контактная площадка микросхемы (рис.102). Соединение проводником получается нецелесообразным. Также, на печатных платах (PCB) обычно

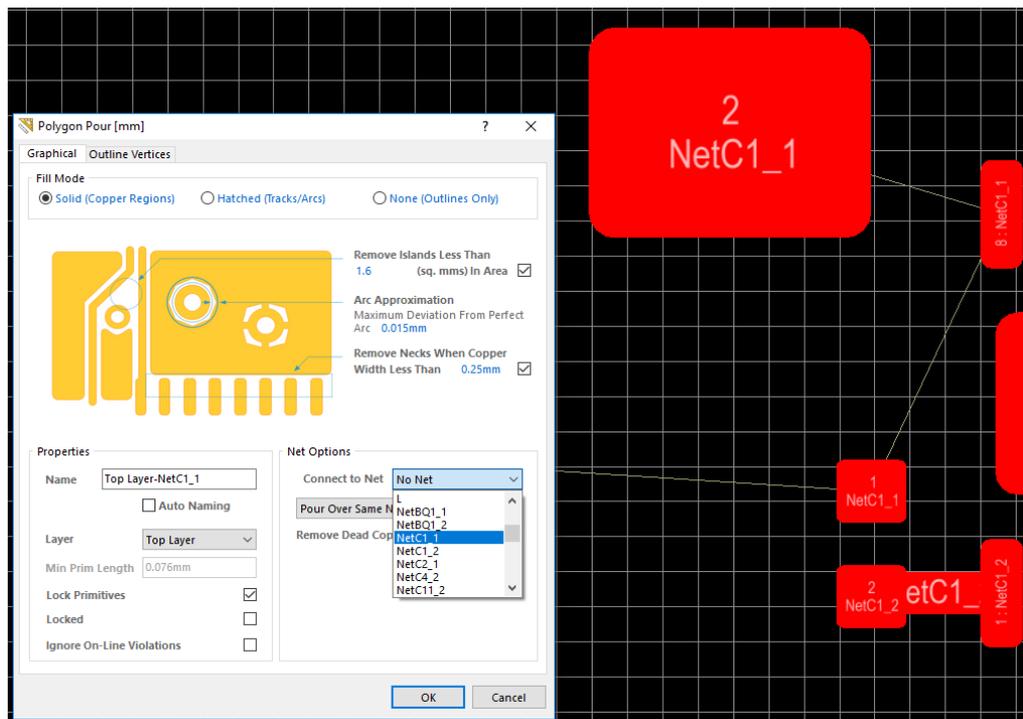


Рисунок 103 – Настройка полигона NetC1_1

Нарисовать контур полигона вокруг четырех этих площадок (рис.104).

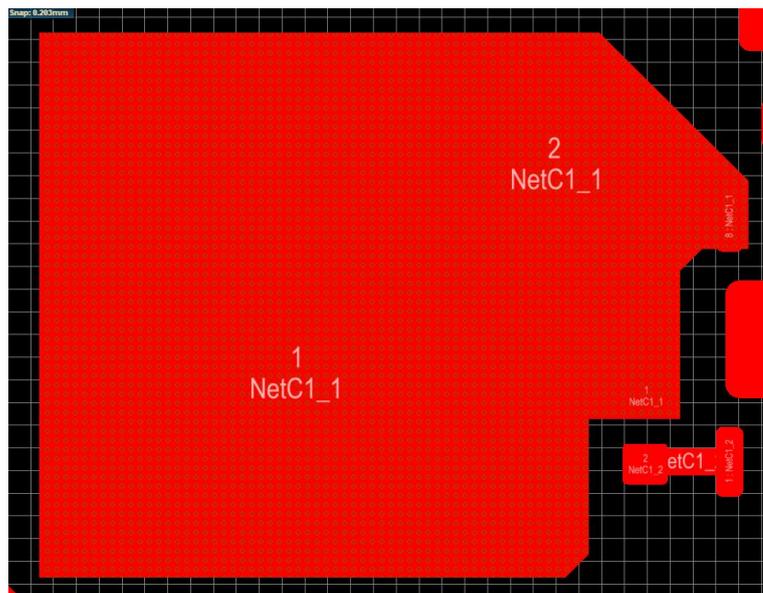


Рисунок 104 – Полигон NetC1_1

Если полигон выдает ошибку (подсвечивается зелеными крестиками), то следует нажать Tools/Polygon Pours/Repour All (рис.105).

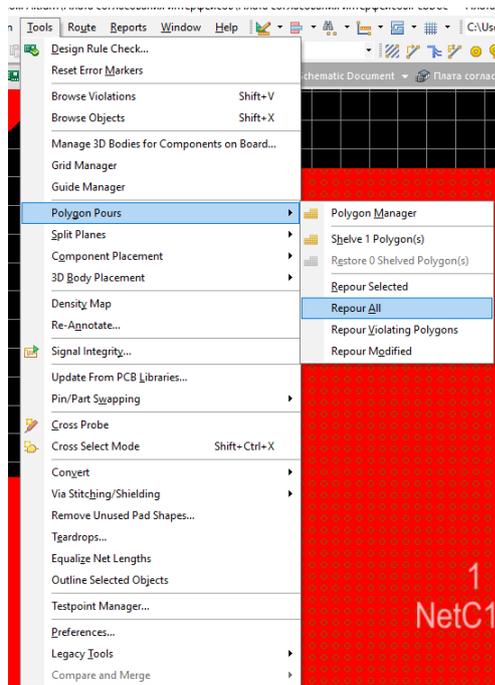


Рисунок 105 – Исправить ошибки полигона

Таким же образом следует соединить полигон NetC4_2 (рис.106).

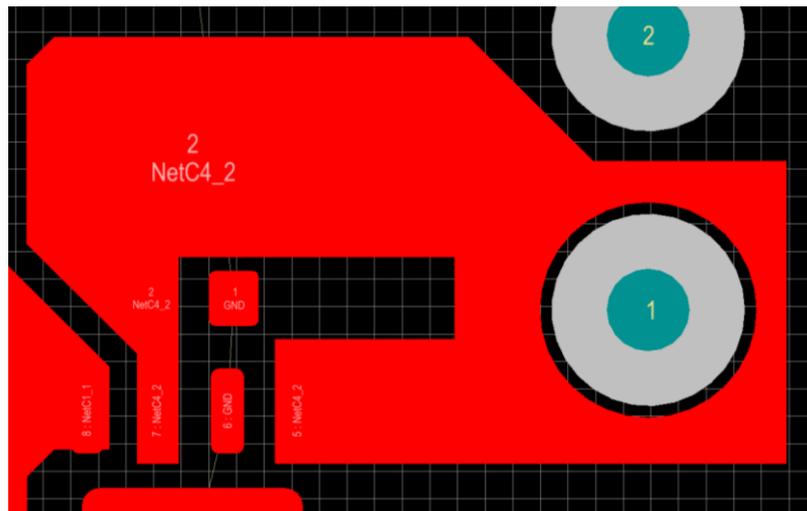


Рисунок 106 – Полигон NetC4_2

Обвести полигоном также можно цепи 3V3 и 5V (рис.107).

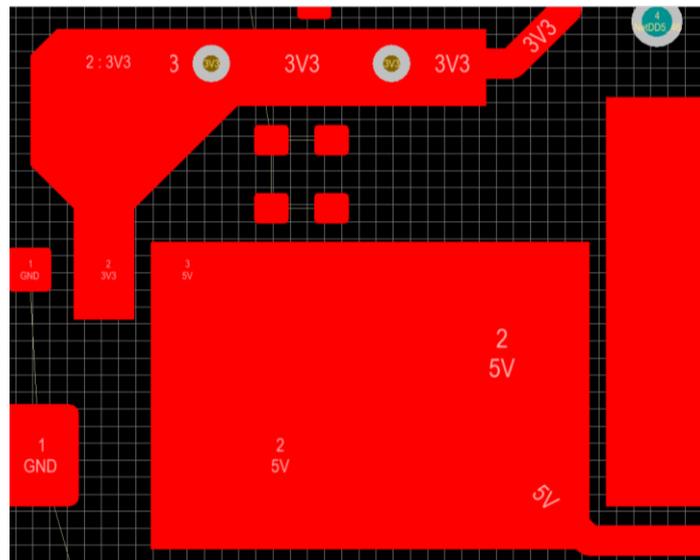


Рисунок 107 – Полигоны 3V3 и 5V

Требуется залить полигон GND по все оставшейся пустой поверхности, он должен заземлить элементы и обеспечить максимум заливки и максимально широкие области при подводке к PAD с большими импульсными и постоянными значениями тока.

Для этого нажимаем значок Polygon Pour. Свойства полигона (рис.108).

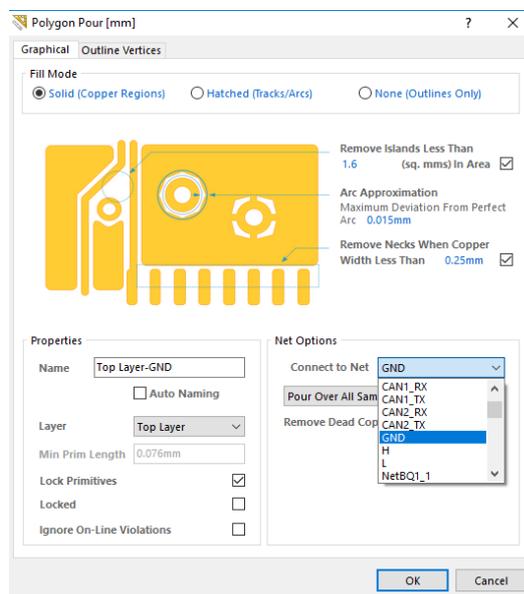


Рисунок 108 – Настройка полигона GND

Очертить контур платы. Залить (рис. 109).

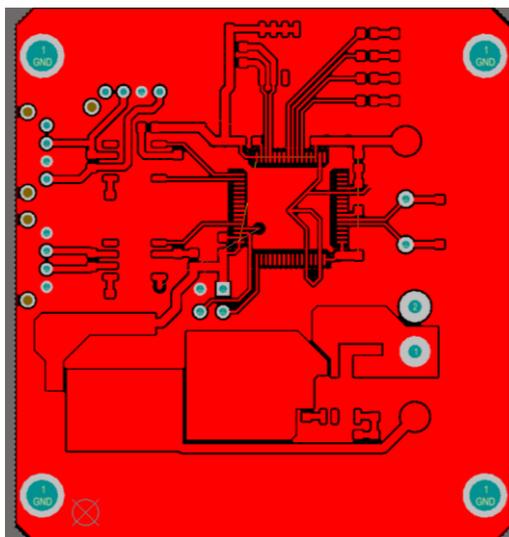


Рисунок 109 – Залитый полигон GND

Перейти на слой Bottom Layer, проделать те же операции. Залить полигон (рис.110).

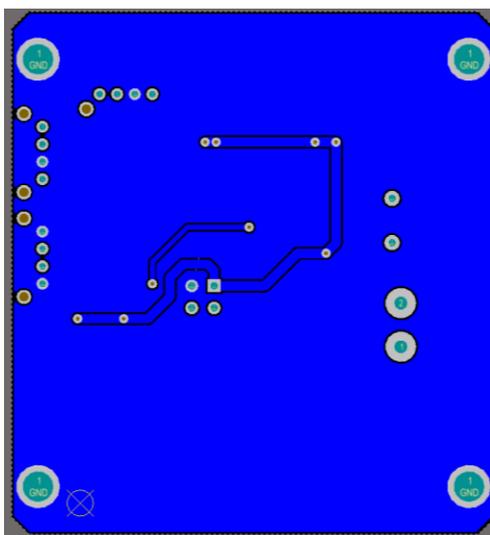


Рисунок 110 – Полигон GND на Bottom Layer

Следует добавить переходные отверстия, т.к. отверстие сократит путь земляной цепи, что поспособствует стабильности и надежности платы. Инструмент, который нужен для наложения массива на весь контур платы, располагается Tools/Via Stitching/Add Stitching to Net (рис.111).

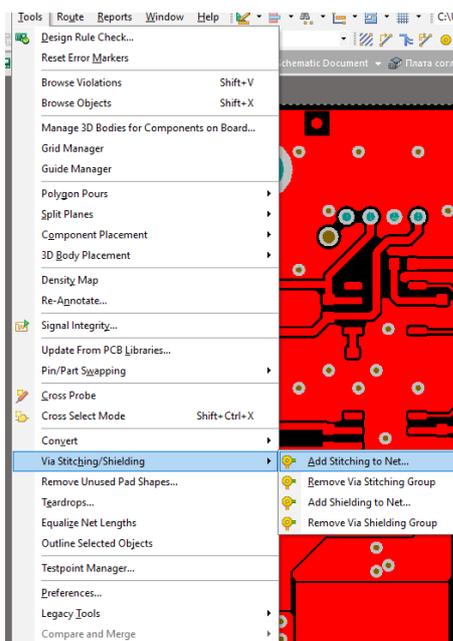


Рисунок 111 – Расположение матрицы переходных отверстий

В меню настроек можно установить размеры переходных отверстий, шаг их установки и другие свойства (рис.112).

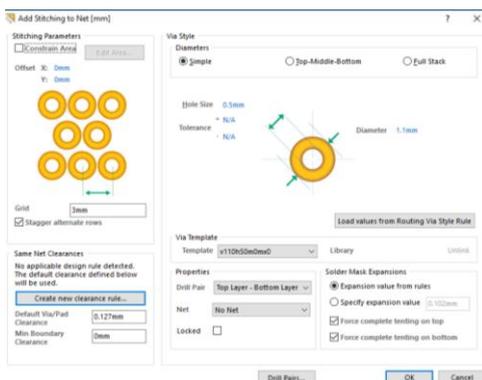


Рисунок 112 – Настройка матрицы переходных отверстий

Растановка переходных отверстий, где они будут располагаться, зависит только от разработчика, который проектирует плату(рис.113).

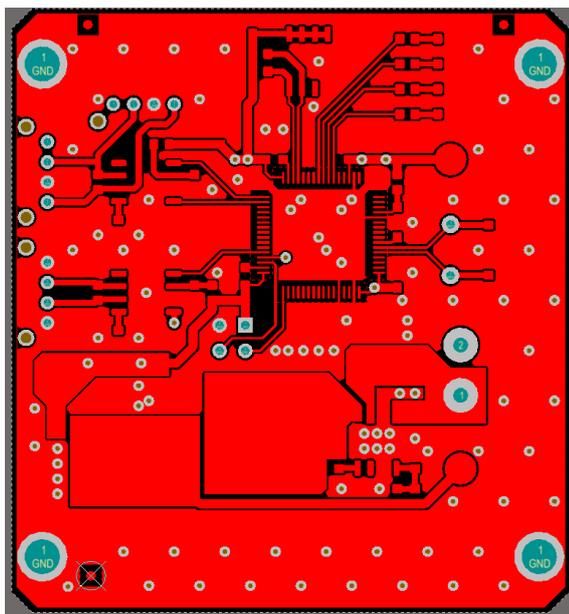


Рисунок 113 – Переходные отверстия на печатной плате

Для того, чтобы увидеть печатную плату в 3D, следует нажать клавишу 3 и зажать правую кнопку мыши+Shift, вращать движениями компьютерной мышки (рис.114).

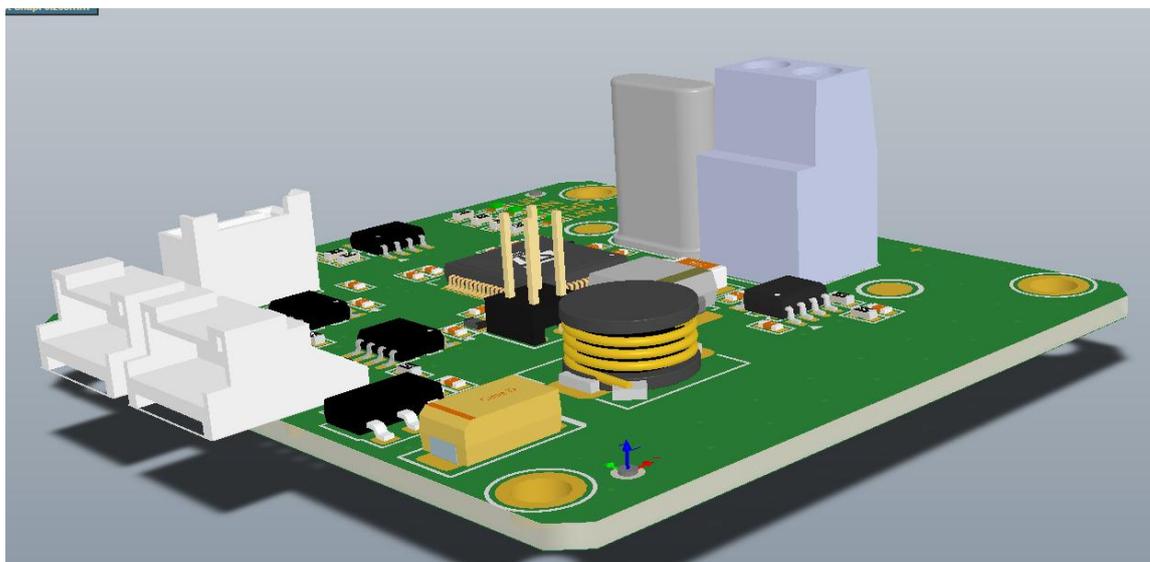


Рисунок 114 – Печатная плата согласования интерфейсов

Толщину (Board Thickness) и цвет платы (Colors and Visibility) можно поменять в окне View Configuration в разделе Active Configuration (рис.115).

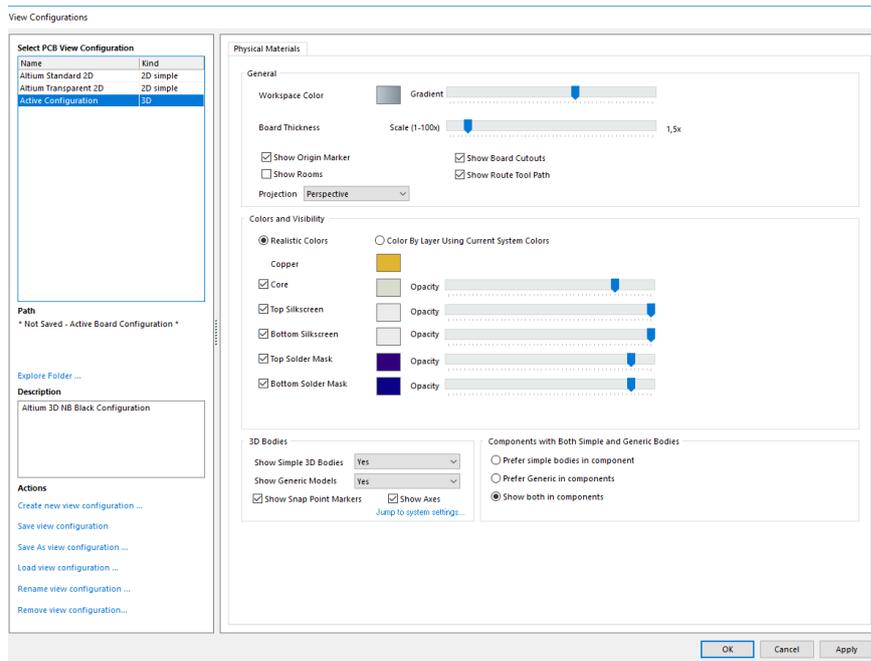


Рисунок 115 – Настройка вида платы

Сохранить весь проект.

Варианты задания к лабораторным работам по проектированию платы
согласования интерфейсов.

| Вариант | Размеры платы | Вид трассировки | Полигоны для цепей питания | Залитый полигон GND |
|---------|------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 55x60 | Ручная | 3V3 | Top, Bot Layer |
| 2 | 70x45 | Ручная | 3V3 | Top, Bot Layer |
| 3 | 60x50 | Ручная | 3V3 | Top, Bot Layer |
| 4 | 55x60 | Ручная | 3V3 | - |
| 5 | 70x45 | Ручная | 3V3 | - |
| 6 | 60x50 | Ручная | 3V3 | - |
| 7 | 55x60 | Ручная | 5V | Top, Bot Layer |
| 8 | 70x45 | Ручная | 5V | Top, Bot Layer |
| 9 | 60x50 | Ручная | 5V | Top, Bot Layer |
| 10 | 55x60 | Ручная | 5V | - |
| 11 | 70x45 | Ручная | 5V | - |
| 12 | 60x50 | Ручная | 5V | - |
| 13 | 55x60 | Ручная | 3V3, 5V | Top, Bot Layer |
| 14 | 70x45 | Ручная | 3V3, 5V | Top, Bot Layer |
| 15 | 60x50 | Ручная | 3V3, 5V | Top, Bot Layer |
| 16 | 55x60 | Ручная | 3V3, 5V | - |
| 17 | 70x45 | Ручная | 3V3, 5V | - |
| 18 | 60x50 | Ручная | 3V3, 5V | - |
| 19 | 55x60 | Ручная | - | Top, Bot Layer |
| 20 | 70x45 | Ручная | - | Top, Bot Layer |
| 21 | 60x50 | Ручная | - | Top, Bot Layer |
| 22 | 55x60 | Ручная | - | - |
| 23 | 70x45 | Ручная | - | - |
| 24 | 60x50 | Ручная | - | - |
| 25 | 80x40 | Ручная | 3V3, 5V | Top, Bot Layer |

**Набокин Никита Игоревич, Капралов Дмитрий Дмитриевич,
Николаев Валерий Викторович**

**Системы автоматизированного проектирования
радиоэлектронных средств**

Электромагнитная совместимость

Учебное пособие