Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра электронных вычислительных средств

Дисциплина: Системы автоматизированного проектирования электронных вычислительных средств

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту

на тему

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОГО УЗЛА СРЕДСТВАМИ САПР

БГУИР КП 1-40 02 02 018 ПЗ

Студент: гр. 750701 Соколов С.А.

Руководитель: Станкевич А. В.

Минск 2020

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 5](#_Toc58427737)

[1 АНАЛИЗ ЗАДАЧИ 6](#_Toc58427738)

[2 Особености применяемой элементной базы 7](#_Toc58427739)

[3 Описание применяемых САПР 8](#_Toc58427740)

[4 Оценка потребляемой мощности и токов, протекающих в отдельных цепях 11](#_Toc58427741)

[5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОРАЗМЕРА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ 14](#_Toc58427742)

[6 расчёт печатного монтажа 17](#_Toc58427743)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 22](#_Toc58427744)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 23](#_Toc58427745)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 24](#_Toc58427746)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б 23

ПРИЛОЖЕНИЕ В 24

ПРИЛОЖЕНИЕ Г 25

# ВВЕДЕНИЕ

Исходя из индивидуального задания по курсовому проекту, необходимо разработать печатную плату средствами САПР, которая будет соответствовать определенным требованиям. Основной задачей является получение готовой модели печатной платы, а также оформление конструкторской документации, которая состоит из:

* Схемы электрической принципиальной
* Чертежа печатной платы
* Сборочного чертежа печатного узла
* Перечня элементов

Дополнительная задача состоит в овладении навыками работы со справочной литературой и документацией на элементную базу рассматриваемого устройства.

Данная работа состоит из шести основных частей:

1. анализ задачи
2. выбор элементной базы
3. знакомство с необходимыми САПР
4. выбор печатной платы
5. решение задачи топологического синтеза
6. проверочные расчеты

Каждая из частей необходима для создания эффективного и правильно работающего устройства.

# 1 АНАЛИЗ ЗАДАЧИ

* 1. **П****о****становка задачи**

В данной работе необходимо разработать плату для устройства, отвечающего следующим требованиям:

* защищенность от значительных случайных ударов и вибрационных нагрузок при перемещении
* высокая надежность
* защищенность от попадания пыли, влаги, конденсата
* стойкость к циклическим сменам температуры

Согласно заданию, устройство будет представлено автономным блоком. Однако размеры печатной платы будут выбраны в соответствии со стандартом МЭК 297-3. Подробнее выбор типоразмера рассмотрен в пункте 5.3 данного курсового проекта.

Одним из важнейших факторов при разработке устройства является климатический фактор. Невозможно создать корректно работающее устройство, не зная условий эксплуатации. Разрабатываемая плата будет находиться в устройстве с всеклиматическим исполнением для суши и моря и размещенном в отапливаемых помещениях с искусственным климатом. Значения температур окружающего воздуха для данного климатического исполнения, следующие:

- верхнее значение +700 С;

- нижнее значение 00 С;

- среднее значение +200 С;

* 1. **Описание схемы устройства**

Данная схема представляет собой часть главной схемы монитора ViewSonic VA930-1. В качестве исходных данных используется инструкция, приведенная в списке использованной литературы.

Из-за сложности схемы и большого числа элементов по согласованию с руководителем в разработку были взяты только шесть листов из десяти. Именно поэтому в принципиальной схеме устройства были внесены некоторые изменения: удалены связи с теми элементами схемы, которые были исключены из задания, был добавлен только разъём для вывода изображения VGA, Итоговое число элементов равно 484.

Условно графические обозначения элементов были заменены в соответствии с ГОСТ. Схема электрическая принципиальная устройства, рассматриваемого в рамках курсового проекта, представлена в приложении А.

# 2 Особености применяемой элементной базы

Рассмотрим основные микросхемы.

Микросхема производства Analog Devices, AD9883-140 является аналоговым интерфейсом для отображения RGB-графики, произведённой компьютером. Корпус микросхемы – LQFP (Low Profile Quad Flat Package)– содержит планарные выводы, расположенные с четырёх сторон микросхемы, предназначен для поверхностного монтажа на печатную плату [1]. Допустимое напряжение питания 3.3 ± 0.3 В. Данная микросхема работает при температуре от -40 до + 85 ◦ С.

Микросхема производства SmartASIC, SD1210принимает аналоговые или цифровые RGB сигналы из видеокарты персонального компьютера в интерфейс как ЖК монитора, так и ЭЛТ. Корпус микросхемы – PQFP (Plastic Profile Quad Flat Package)– содержит планарные выводы, расположенные с четырёх сторон микросхемы, предназначен для поверхностного монтажа на печатную плату [1]. Допустимое напряжение питания 3.3 ± 0.3 В. Данная микросхема работает при температуре от 0 до + 115 ◦ С.

Микросхема производства Texas Instruments, SN75LVDS83 является передатчиком и содержит четыре 7-битных регистра сдвига с параллельной загрузкой и последовательным выходом, семитактовый синтезатор и пять низковольтных драйверов линии дифференциальной сигнализации (LVDS). Выполнена в корпусе PDIP (Plastic dual in-line package) – это прямоугольный корпус с двумя параллельными рядами контактов. Допустимое напряжение питания 3.3 ± 0.3 В. Данная микросхема работает при температуре от 0 до + 70 ◦ С.

Микросхема производства Atmel, AT24C21 представляет собой 1024 битную последовательную электрически стираемую и программируемую постоянную память (EEPROM), организованную как 128 слов по 8 бит каждое. Выполнена в корпусе PDIP. Допустимое напряжение питания +2.5 – +5.5 В. Данная микросхема работает при температуре от -40 до + 85 ◦ С.

# 3 Описание применяемых САПР

* 1. **AutoCAD**

AutoCAD — двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная компанией Autodesk. Первая версия системы была выпущена в 1982 году. AutoCAD и специализированные приложения на его основе нашли широкое применение в машиностроении, строительстве, архитектуре и других отраслях промышленности [2].

В рамках данного курсового проекта САПР AutoCАD была применена для доработки сборочного чертежа, представленного в приложении В. При этом были использованы базовые функции системы: масштабирование элементов, создание слоёв, выбора толщины и типа основных, тонких и осевых линий. Важной особенность AutoCAD, которая помогла в выполнении чертежей, является возможность импорта PDF файлов: чертежи были экспортированы из Altium Designer в формате PDF и импортированы в AutoCAD для их доработки.

* 1. **Altium Designer**

Сегодня Altium Designer — комплексная система автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств, разработанная австралийской компанией Altium. Ранее эта же фирма разрабатывала САПР P-CAD, который приобрёл необычайную популярность среди разработчиков электроники. Это система, позволяющая реализовывать проекты электронных средств на уровне схемы или программного кода с последующей передачей информации проектировщику ПЛИС или печатной платы. Отличительной особенностью программы является проектная структура и сквозная целостность ведения разработки на разных уровнях проектирования. Иными словами, изменения в разработке на уровне платы могут мгновенно быть переданы на уровень ПЛИС или схемы и так же обратно [3].

В состав программного комплекса Altium Designer входит весь необходимый инструментарий для разработки, редактирования и отладки проектов на базе электрических схем и ПЛИС. Редактор схем позволяет вводить многоиерархические и многоканальные схемы любой сложности, а также проводить смешанное цифро-аналоговое моделирование. Библиотеки программы содержат более 90 тысяч готовых компонентов, у многих из которых имеются модели посадочных мест, а также трёхмерные модели. Любую из вышеперечисленных моделей можно создать внутренними средствами программы.

Редактор печатных плат Altium Designer содержит мощные средства интерактивного размещения компонентов и трассировки проводников, которые совместно с интуитивной и полностью визуализированной системой установки правил проектирования максимально упрощают процесс разработки электроники. Инструменты трассировки учитывают все требования, предъявляемые современными технологиями разработок, например, при трассировке дифференциальных пар или высокочастотных участков плат. В состав программы входит автоматический трассировщик Situs, в котором используются наиболее прогрессивные алгоритмы трассировки печатных проводников.

Работа над всеми частями проекта ведётся в единой управляющей оболочке Design Explorer, что позволяет разработчику контролировать целостность проекта на всех этапах проектирования. Таким образом, изменения, внесённые на любом этапе разработки, автоматически передаются на все связанные стадии проекта. В дополнение к мощным средствам разработки, Altium Designer имеет широкие возможности импорта и экспорта сторонних систем проектирования и поддерживает практически все стандартные форматы выходных файлов (Gerber, ODB++, DXF ).

Именно поэтому Altium Designer использовался в данной работе как основная система автоматизированного проектирования, в которой и была создана модель печатной платы.

* 1. **Другие использованные приложения**

Важным этапом при проектировании печатных узлов является разработка конструкторской документации.

В процессе разработки конструкторской документации был использован плагин для Altium Designer — Board Assistant. Board Assistant является специализированной панелью инструментов, позволяющая разрабатывать и оформлять перечень элементов, схему электрическую принципиальную и конструкторскую документацию на печатные платы в формате PDF, добавлять на чертёж печатной платы обозначения сквозных отверстий, а также добавлять таблицу со сквозными отверстиями и иные дополнительные функции. На рисунке 3.1 показано основное окно плагина.

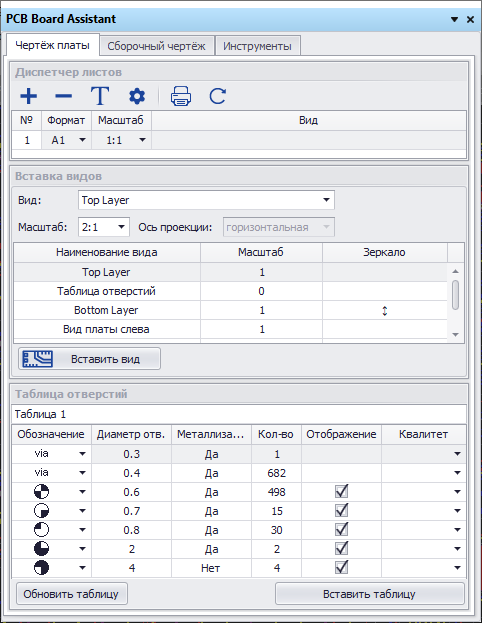


Рисунок 3.1 – Основное окно плагина Board Assistant

С помощью этой утилиты был оформлен чертеж печатной платы и выполнен вид спереди для сборочного чертежа.

Стоит отметить, что перечень элементов принципиальной схемы можно сделать и с помощью менеджера отчетов BOM (Bill of Materials).

# 4 Оценка потребляемой мощности и токов, протекающих в отдельных цепях

Электрическая мощность – это физическая величина, характеризующая скорость передачи или преобразования электрической энергии.

Мощность электрического тока – количественная мера тока, характеризующая его энергетические свойства. Определяется основными параметрами – силой тока и напряжением. Единица измерения – Ватт (Вт). Мощность определяется из формулы:

|  |  |
| --- | --- |
| *P = I ∙ U,* | (4.1) |

где  – протекающий ток; – падение напряжения.

Сила тока измеряется в Амперах (А) и вычисляется по закону Ома для участка цепи по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.2) |

где  – сопротивление электрорадиоэлемента.

Некоторые значения максимальной рассеиваемой мощности взяты из официальной документации на соответствующие элементы. Будем считать, что ёмкости, кварцевые резонаторы и соединители являются идеальными и мощности не потребляют, питание – 5 В.

Расчёт токов и мощностей, потребляемых элементной базой, занесем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расчёт токов и мощностей, потребляемых элементной базой

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Позиционное обозначение | Тип | Мощность одного элемента | Кол., шт. | Общая мощность |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Микро-схемы | DA1 | AD9883ABSTZ-140 | P = 650 mВт | 1 | P = 650 mВт |
| DD1, DD4 | AIC1732 | P = 500 mВт | 2 | P = 1000 mВт |
| DD2 | 74LVX14 | P = 500 mВт | 1 | P = 500 mВт |

Продолжение таблицы 4.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Микросхемы | DD3 | 24C21 | P = 210 mВт | 1 | P = 210 mВт |
| DD5 | 24C02 | P = 250 mВт | 1 | P = 250 mВт |
| DD6 | SIL151 | P = 900 mВт | 1 | P = 900 mВт |
| DD7 | 24LC08 | P = 200 mВт | 1 | P = 200 mВт |
| DD8 | SD1210 | P = 1000 mВт | 1 | P = 1000 mВт |
| DD9 | 74AHC1G14-TA | P = 195 mВт | 1 | P = 195 mВт |
| DD10 | 74LV4053 | P = 350 mВт | 1 | P = 350 mВт |
| DD11 | AV9173-01 | P = 500 mВт | 1 | P = 500 mВт |
| DD12, DD13 | SN75LVDS83 | P = 250 mВт | 2 | P = 500 mВт |
| DD14 | 74LCX125 | P = 450 mВт | 1 | P = 450 mВт |
| DD15 | SM0230 | P = 650 mВт | 1 | P = 650 mВт |
| DD16 | 24LC16 | P = 230 mВт | 1 | P = 230 mВт |
| Транзисторы | VT1, VT3 | MMBT3904L | P = 225 mВт | 2 | P = 450 mВт |
| VT2, VT4 | 2N3906 | P = 250 mВт | 2 | P = 500 mВт |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Продолжение таблицы 4.1 | | | | | |
| Резисторы | R1-111, 151-153 | 2КОм,1%,1/16W,TP,1206 | P = 70 mВт | 115 | P = 8050 mВт |
| R154-239 | 33Ом, 5%,1/10W,TP, 1206 | P = 61 mВт | 97 | P = 5917 mВт |
| Итого |  |  |  |  | Pобщ =  22502  mВт |

Токи в остальных цепях пренебрежимо малы, поэтому специальной оценки производить не имеет смысла.

Оценим потребляемую мощность всех элементов, подставив значения потребляемых мощностей всех ЭРЭ по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.3) |

где Рi – потребляемая мощность *i*-го элемента.

Общая потребляемая мощность составляет Pобщ = 22,502 Вт.

# 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОРАЗМЕРА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Много факторов влияет на определение размера печатной платы. Прежде всего стоит отметить, что ряд ограничений на размеры печатных плат накладывают методы изготовления платы и используемое оборудование. Важно уточнять у производителя, печатные платы каких размеров могут быть изготовлены.

В большинстве случаев размер и форма печатных плат будут зависеть от конкретного устройства и его конструкции. По техническому заданию не требуется плата сложной формы, поэтому при проектировании выбрана прямоугольная форма печатной платы.

Если печатный узел используется в составе стойки или как субблок, выбирается стандартный типоразмер печатной платы. Однако и для автономных блоков применяются типовые платы, благодаря чему достигается уменьшение как временных ресурсов, так и денежных. В рамках курсового проекта будет использована печатная плата стандартного размера в соответствии с МЭК 297-3.

При компоновке элементов на печатных платах важно понимать сколько места займет каждый элемент, иначе говоря, рассчитать его установочную площадь. Необходимо чтобы установочная площадь учитывала зазоры, которые служат для работы укладочного инструмента, поэтому рассчитанные площади умножают на коэффициент 1,3. Для большинства стандартных элементов установочная площадь рассчитывается по формуле:

где *b* – ширина устанавливаемого элемента;

*l* – длина устанавливаемого элемента.

Установочная площадь элементов разрабатываемой платы представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Установочная площадь элементов.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Элемент | Кол-во, шт. | Установочная площадь, мм2 |
| 1. Катушка индуктивности | 24 | 81,25 |
| 1. Конденсатор | 157 | 31 |
| 1. Конденсатор поляризованный | 15 | 22,77 |
| 1. Микросхема аналоговая AD9883ABSTZ-140 | 1 | 332,8 |
| 1. Микросхема цифровая AIC1732 | 2 | 25,42 |
| 1. Микросхема цифровая 74LVX14 | 1 | 70,53 |
| 1. Микросхема цифровая 24C21 | 1 | 109,1 |
| 1. Микросхема цифровая 24C02 | 1 | 98,07 |
| 1. Микросхема цифровая SIL151 | 1 | 780,33 |
| 1. Микросхема цифровая 24LC08 | 1 | 102,33 |
| 1. Микросхема цифровая SD1210 | 1 | 1 265,47 |
| 1. Микросхема цифровая 74AHC1G14-TA | 1 | 6,29 |
| 1. Микросхема цифровая 74LV4053 | 1 | 209,14 |
| 1. Микросхема цифровая AV9173-01 | 1 | 100,64 |
| 1. Микросхема цифровая SN75LVDS83 | 2 | 1 383,2 |
| 1. Микросхема цифровая 74LCX125 | 1 | 41,6 |
| 1. Микросхема цифровая SM0230 | 1 | 254,8 |
| 1. Микросхема цифровая 24LC16 | 1 | 104,54 |
| 1. Резистор | 239 | 6,66 |
| 1. Диод BAV99 | 3 | 9,75 |
| 1. Диод Шоттки | 9 | 6,73 |
| 1. Диод | 5 | 6,7 |
| 1. Транзистор MMBT3904L | 2 | 9,05 |
| 1. Транзистор 2N3906 | 2 | 21,67 |
| 1. Разъём VGA | 1 | 300 |
| 1. Разъём FI-SE30P-HF | 1 | 438,75 |
| 1. Кварцевый резонатор | 1 | 59,87 |
| Общая площадь элементов, | 11997,68 | |

Площадь печатной платы вычисляется по формуле:

где kз – коэффициент заполнения платы;

m – количество сторон монтажа.

Согласно условию задания, коэффициент заполнения разрабатываемой платы kз ≥ 0.7, а количество сторон печатного монтажа m = 1.

Таким образом, рассчитанная Sпп = 17 139,54 мм2. Обратившись к стандарту МЭК 297-3, выберем плату 5U размером 188,9 на 100 мм с толщиной печатной платы 2,5 мм.

# 6 расчёт печатного монтажа

По конкретной схеме электрической принципиальной электронного средства необходимо выполнить:

* расчет номинальной ширины проводника;
* расчёт диаметров монтажных отверстий;
* расчет диаметров контактных площадок;

**6.1. Определение номинального значения ширины проводника**

Ширина определяется протекающим по нему током *JH* и удельной плотностью тока в материале проводников.

|  |  |
| --- | --- |
| *t = tмд \* Jн \* h \* ρ* | (6.1) |

t = 0,25 мм;

где, t*мд* – минимально допустимая ширина проводника, мм;

*Jн* – ток нагрузки, А;

*h* – толщина проводника, мм (0,035 или 0,05);

ρ – удельная плотность тока, А/мм2:

* для наклеенной фольги – 20 А/мм2;
* для гальванически осажденной – 15 А/мм2.

**6.2. Определение номинальных значений диаметров монтажных отверстий.**

Для определения диаметров монтажных отверстий необходимо иметь данные о размерах выводов ЭРЭ.

Если вывод в сечении:

* круглый – берется его диаметр,
* другой формы – то наибольший размер сечения.

Номинальное значение диаметра монтажного отверстия *d*, мм, рассчитывают по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6.2) |

d1 = 0,6 мм;

d2 = 0,7 мм;

d3 = 0,8 мм;

d4 = 2 мм;

где *dэ*– максимальное значение диаметра вывода навесного ИЭТ, устанавливаемого на печатную плату. Для прямоугольного вывода за диаметр берется диагональ его сечения;

r – разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода (для прямоугольных – диагонали сечения устанавливаемого ИЭТ).

Величину *r* рекомендуется выбирать с учетом допусков на расположение выводов на корпусе устанавливаемого ИЭТ.

*Δd­­но* = – нижнее предельное отклонение номинального значения диаметра отверстия.

При автоматической установке на печатную плату величину *r* устанавливают равной 0,4 – 0,5 мм.

Уменьшение этой величины допускается в обоснованных случаях.

Предельное отклонение диаметров монтажных и переходных отверстий Δd устанавливают в соответствии с ГОСТ 23751-86.

Рекомендуется на печатной плате применять не более трех типоразмеров монтажных и переходных отверстий.

**6.3. Расчет диаметров контактных площадок**

Наименьшее номинальное значение диаметра контактной

площадки D, мм под выбранное отверстие рассчитывается по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6.3) |

D = 1,11 мм;

где d – номинальное значение монтажного отверстия;

*Δdbo* – верхнее предельное отклонение диаметра отверстия;

*Δdtp* – величина подтравливания диэлектрика, которая для МПП принимается равной 0, 03 мм, для ОПП – нулю;

*Тd* – позиционный допуск расположения оси отверстия;

*TD* – позиционный допуск расположения центра контактной площадки;

*Δtbo* – верхнее предельное отклонение диаметра контактной площадки;

*Δtно* – нижнее предельное отклонение диаметра контактной площадки.

7 Решение задачи топологического синтеза печатной платы с помощью применяемого пакета СаПР

Выбор варианта установки элементов, их размещение на печатной плате, в том числе и под автоматическую установку, осуществляется в соответствии с СТБ 29137-91, с учетом конструктивных особенностей печатного узла и устройства в целом.

При расположении навесных элементов необходимо предусматривать:

* рациональное их взаимное расположение, обеспечивающее наиболее простую трассировку и исключающее взаимное влияние на электрические параметры;
* обеспечение технологических требований, предъявляемых к аппаратуре (автоматическую сборку, пайку, контроль);
* обеспечение высокой надёжности;
* малых габаритных размеров и массы;
* быстродействие;
* теплоотвод;
* ремонтопригодность.

Задача трассировки — одна из наиболее трудоёмких задач, возникающих при автоматизации проектирования устройств. Одновременная оптимизация всех соединений при трассировке за счёт перебора всех вариантов в настоящее время невозможна. Поэтому разрабатываются в основном локально оптимальные методы трассировки, когда трасса оптимальна лишь на данном шаге при наличии ранее проведённых соединений.

Основная задача трассировки формулируется следующим образом: по заданной схеме соединений проложить необходимые проводники на плате, чтобы реализовать заданные технические соединения с учётом заранее заданных ограничений. Основными являются ограничения на ширину проводников и минимальные расстояния между ними.

Решение задачи топологического синтеза с помощью пакета САПР Altium Designer сводится к созданию электронных документов топологии печатной платы на основании ранее созданных схемы электрической принципиальной и библиотеки компонентов, а также совокупностью технологических ограничений, задаваемых пользователем в правилах редактора плат (PCB Rules and Constraints Editor).

Граничные значения основных параметров печатного монтажа, которые могут быть обеспечены при конструировании и производстве для различных классов точности.

Таким образом были установлены следующие ограничения:

* минимальная ширина проводника: 0,25 мм. (Width);
* топология трассировки: самый короткий (Shortest) – соединяет все узлы по кратчайшей траектории (Routing Topology);

Чертёж печатной платы представлен в приложении А.

1. Оценка качества разработанной конструкции

После окончания цикла проектирования печатного узла в САПР Altium Designer были произведены проверки выполненности установленных правил, которую проект успешно прошёл. Скриншот оттрасированной печатной платы представлен на рисунке 8.1.

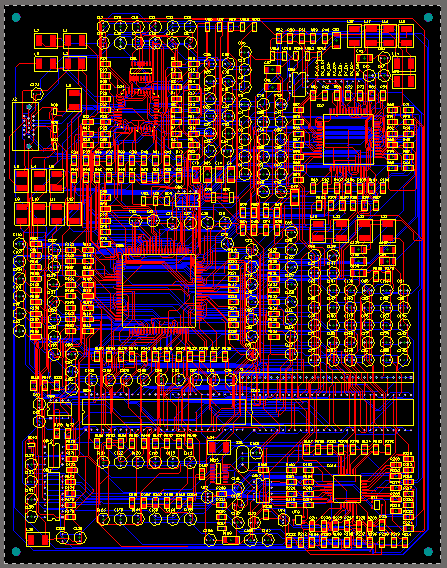


Рисунок 8.1 – Проект печатной платы в САПР Altium Designer

Чертежи печатной платы и сборочный чертеж ПП представлены в приложении А.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный курсовой проект включал в себя разработку печатной платы устройства и документации на неё в соответствии с заданием. Задание включало в себя следующие пункты:

* разработка электрической принципиальной схемы;
* генерацию списка связей;
* размещение посадочных мест;
* трассировку печатных соединений средствами пакетов САПР Altium Designer;
* передачу результатов проектирования в систему AutoCAD;
* выполнение конструкторской документации.

Итогом курсовой работы стала завершённая разработка печатной платы устройства. Средствами САПР Altium Designer удалось провести размещение и трассировку в соответствии и требованиями, изложенными в расчётах. В ходе работы были рассмотрены различные виды САПР и плагины для них.

Проделанная работа требовала большой внимательности в расчётах и чтении документации на элементную. Курсовой проект был полезен для формирования навыков разработки печатных плат и электронных вычислительных средств в целом.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] – Статья про семейство корпусов микросхем QFP [Электронный ресурс]: 2020г. URL:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/QFP>

[2] – Статья про САПР AutoCAD [Электронный ресурс]: 2020г. URL:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>

[3] – Статья про САПР Altium Designer [Электронный ресурс]: 2020г. URL:

https://ru.wikipedia.org/wiki/Altium\_Designer

[4] – Краткое изложение типоразмеров печатных плат [Электронный ресурс]: 2020г. URL:

https://www.cta.ru/cms/f/326673.pdf

[5] – Романов Ф.И., Шахнов В.А., Конструирование систем микро- и персональных ЭВМ. – М.: Высш. шк., 1995

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

**(Обязательное)**

**Схема электрическая структурная**