



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ

«ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ» (ИУ)

КАФЕДРА

«ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭА» (ИУ4)

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

НА ТЕМУ:

*«Разработка, моделирование и экспериментальное
исследование устройства LoRa-USB адаптера»*

Студент

(Подпись, дата)

Круглов В. С.

Руководитель курсового проекта

(Подпись, дата)

Чистяков М. Г.

Москва, 2024

АННОТАЦИЯ

В рамках данной курсовой работы был разработан комплект конструкторской документации для устройства «LoRa-USB адаптер». Описаны принципы работы устройства, обоснован выбор элементной базы. Спроектирована топология печатной платы в САПР Altium Designer 24 и сборочный чертеж устройства. Проведено моделирование работы устройства в САПР Proteus.

В результате работы получено полностью работоспособное устройство, разработана принципиальная схема устройства, собран макетный образец, проведены экспериментальные исследования его функциональных параметров и сравнение параметров работы устройства с параметрами, полученными при моделировании.

Ключевые слова: микроконтроллер, радиопередача, LoRa, USB, UART.

ABSTRACT

As part of this course work, a set of design documentation for the "LoRa-USB adapter" device was developed. The principles of operation of the device are described, the choice of the element base is justified. The topology of the printed circuit board in CAD Altium Designer 24 and the assembly drawing of the device are designed. The simulation of the device operation in the Proteus CAD is carried out.

As a result of the work, a fully functional device was obtained, a schematic diagram of the device was developed, a mock-up sample was assembled, experimental studies of its functional parameters were carried out and the parameters of the device operation were compared with the parameters obtained during modeling.

Keywords: microcontroller, radiotraffic, LoRa, USB, UART.

СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ И ТЕРМИНЫ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ УСТРОЙСТВА “LORA-USB АДАПТЕР”	6
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ	7
3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА “LORA-USB АДАПТЕР”	8
4 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ «LORA-USB АДАПТЕР»	10
5 МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА “LORA-USB АДАПТЕР”	12
6 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ	17
7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ	30
8 РАЗРАБОТКА СБОРОЧНОГО ЧЕРТЕЖА И СПЕЦИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВА “LORA-USB АДАПТЕР”	35
9 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ“LORA-USB АДАПТЕР”	40
10 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	45

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ И ТЕРМИНЫ

ГОСТ	– Государственный стандарт
ВАХ	– Вольт-амперная характеристика
КМО	– Компонент, монтируемый в отверстия
КМП	– Компонент, монтируемый на поверхности
ДПП	– Двухсторонняя печатная плата
МК	– Микроконтроллер
САПР	– Система автоматизированного проектирования
ОУ	– Операционный усилитель
ПК	– Персональный компьютер
ПО	– Программное обеспечение
ПП	– Печатная плата
СБ	– Сборочный чертеж
СП	– Спецификация
УГО	– Условное графическое обозначение
ШИМ	– Широтно-импульсная модуляция
ЭРЭ	– Электрорадиоэлементы

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена разработке и исследованию устройства «LoRa-USB адаптер».

«LoRa-USB адаптер» - электрический прибор, который позволяет передавать данные, получаемые по USB, через LoRa связь.

Целью работы является LoRa-USB адаптера на базе микроконтроллера, разработка комплекта конструкторской документации, а также экспериментальное исследование устройства для выявления его пригодности к эксплуатации.

Для достижения поставленных целей в работе был решен следующий комплекс задач:

- разработка алгоритма работы устройства;
- написание программного кода;
- отладка программного кода;
- разработка схемы электрической структурной;
- разработка схемы электрической принципиальной;
- моделирование схемы с использованием схемотехнической САПР;
- разработка топологии печатной платы и создание чертежей;
- сборка макетного образца устройства;
- экспериментальные исследования работы устройства и ПО.

Исходными данными для работы являются:

- задание на выполнение курсового проекта;
- календарный план выполнения курсового проекта.

Результатами работы являются:

- расширенное техническое задание;
- схема электрическая структурная (Э1);
- схема электрическая принципиальная (Э3);

- перечень элементов;
- чертеж печатной платы;
- сборочный чертеж;
- спецификация;
- алгоритм работы устройства (ПД1);
- плакат демонстрационный (ПД2) сравнения результатов моделирования и эксперимента;
- разработанный опытный образец;
- расчетно-пояснительная записка (РПЗ).

Структура и объем работы: Работа состоит из 48 страниц, включает список основных понятий, введение, 10 глав, заключение, список используемых источников и перечень приложений.

В результате анализа существующих решений была выявлена структура устройства LoRa-USB адаптеров, основанная на микроконтроллере, содержащем модуль LoRa приёмопередатчика, и USB-UART моста.



Рассмотрим работу данной схемы. USB-UART мост преобразует данные из USB в UART для передачи на микроконтроллер, который их передаёт через LoRa модуляцию на антенну.

2 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Согласно техническому заданию, должно быть разработано LoRa-USB адаптера с использованием LoRa приёмопередатчика и USB-UART моста.

Для обеспечения стабильной работы устройства необходим источник питания 3,3В для цифровых микросхем. Было выбрано решение в виде использования понижающего стабилизатора напряжения с 5 В от USB до 3.3 В.

Таким образом в разработанном техническом задании были сделаны следующие требования к конструкции изделия:

- Номинальное выходное напряжение: $3.3\text{В} \pm 5\%$ (постоянное).
- Питание через порт USB.
- Антенна частотой 868МГц и импедансом 50 Ом.
- Импеданс дорожек радиопередачи 50 Ом.
- Максимальный ток потребления 500мА.
- Вывод информации через USB.
- Световая индикация при передаче данных по USB.
- Тактовая частота микроконтроллера 32МГц.
- Объем памяти микроконтроллера, занимаемый прошивкой не более 256 кБайт.
- Рабочий температурный диапазон: $-20 \dots +55^{\circ}\text{C}$

Вывод

В данном разделе были синтезированы и обоснованы основные технические требования к разрабатываемому устройству. В результате синтеза получились требования, позволяющие разработать устройство с использованием микроконтроллера и USB-UART моста, которые будет легко программироваться и отлаживаться.

3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА “LORA-USB АДАПТЕР”

Разработка схемы электрической структурной (Э1) предполагает первоначальную оценку работы и выделение основных структурных частей, из которых состоит устройство LoRa-USB адаптер. Структурная схема была разработана согласно ГОСТ 2.701-2008. В качестве среды разработки была выбрана программа «Altium Designer». Структурная схема устройства представлена на рисунке 3.1, а также на чертеже ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 Э1.

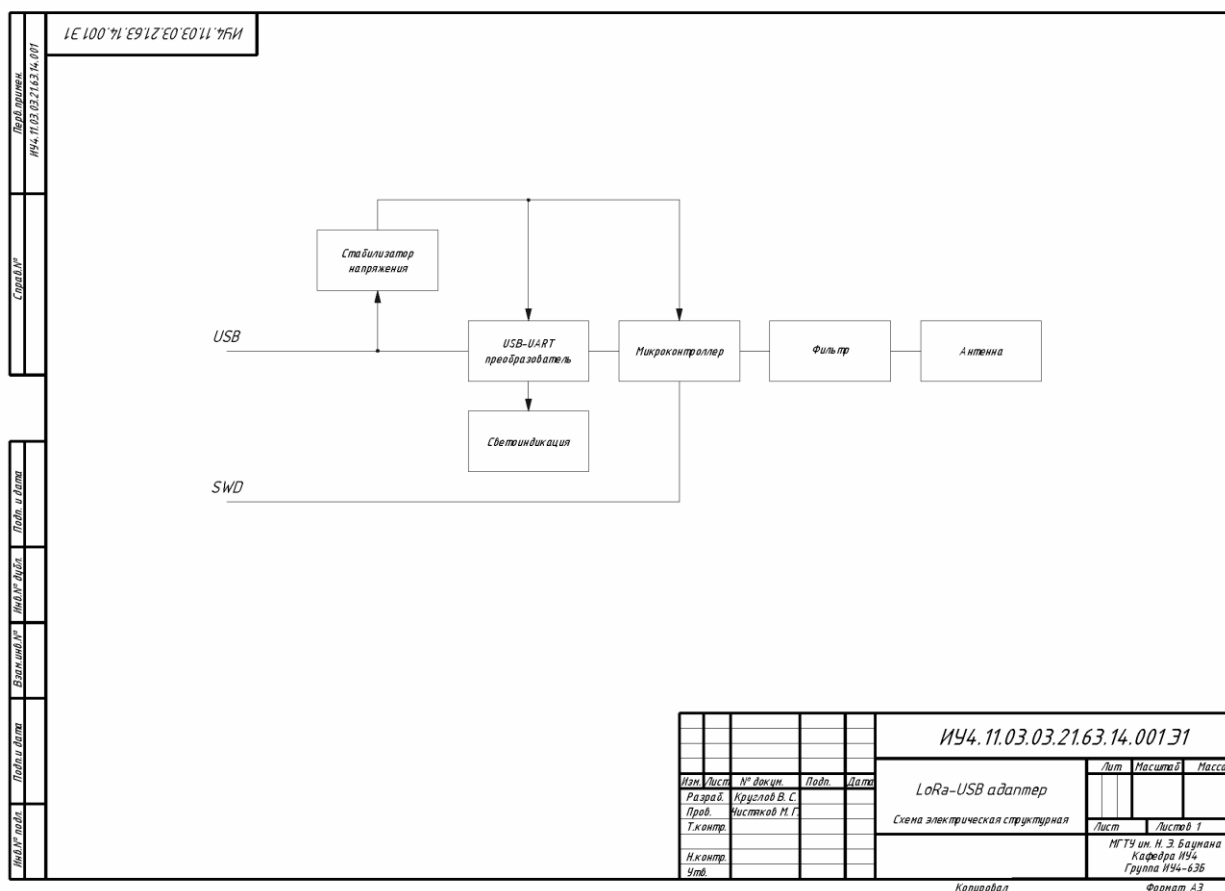


Рисунок 3.1 - Схема электрическая структурная устройства LoRa-USB адаптера

Устройство можно разделить на несколько основных частей:

- Стабилизатор напряжения.
- Микроконтроллер.
- USB-UART преобразователь.
- Фильтр.
- Антенна.

Линейный стабилизатор напряжения нужен для подачи напряжения микроконтроллеру и USB-UART мосту, для их стабильной и безопасной работы.

В качестве микроконтроллера был выбран 32-битный микроконтроллер STM32WLE5CCU6, который содержит встроенный LoRa приёмопередатчик и малые габариты, а также UART модуль.

В качестве USB-UART модуля выбран CP2102N, т.к. имеет малые габариты и выводы для светоиндикации.

Вывод

В данном разделе была разработана структурная схема устройства LoRa-USB адаптера. Оформлена по ГОСТ 2.701-2008 в пакете «Altium Designer».

Были описаны причины использования именно такой структурной схемы. Упомянуты выбранные элементы на каждую позицию. Произведено описание работы устройства в контексте представленной структурной схемы устройства.

4 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ «LORA-USB АДАПТЕР»

Разработка схемы электрической функциональной (Э2) предполагает первоначальную оценку работы и выделение основных функциональных частей, из которых состоит устройство. Функциональная схема была разработана согласно ГОСТ 2.701-2008. В качестве среды разработки была выбрана программа «Solid Edge». Функциональная схема устройства представлена на рисунке 4.1, а также на чертеже ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 Э2.

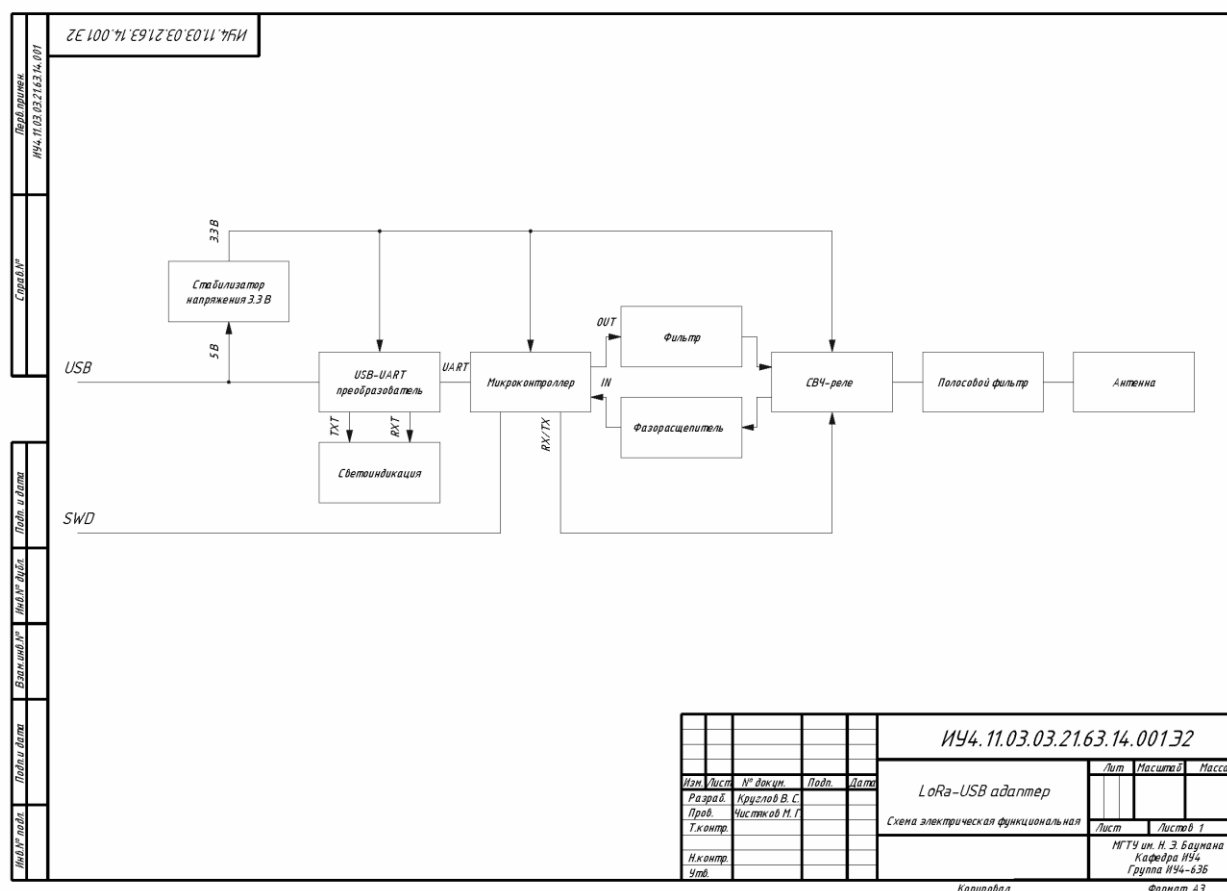


Рисунок 4.1 - Схема электрическая функциональная устройства

Устройство можно разделить на несколько основных частей:

- Стабилизатор напряжения.
- Микроконтроллер.
- USB-UART преобразователь.
- Фильтр для отправляемого сигнала.
- Фазорасщепитель принимаемого сигнала.
- СВЧ-реле.

- Полосовой фильтр.
- Антенна.
- Светоиндикация

Линейный стабилизатор напряжения XC6219B332MR нужен для подачи напряжения микроконтроллеру и USB-UART мосту, для их стабильной и безопасной работы.

В качестве микроконтроллера был выбран 32-битный микроконтроллер STM32WLE5CCU6, который содержит встроенный LoRa приёмопередатчик и малые габариты, а также UART модуль.

В качестве СВЧ-реле выбрана микросхема HMC544AETR, т.к. имеет малые габариты и управляется напряжением со всего 2 входов.

В качестве USB-UART модуля выбран CP2102N, т.к. имеет малые габариты и выводы для светоиндикации.

Вывод

В данном разделе была разработана функциональная схемы устройства LoRa-USB адаптера. Оформлена по ГОСТ 2.701-2008 в пакете «Solid Edge». Были описаны причины использования именно такой структуры. Упомянуты выбранные элементы на каждую позицию. Произведено описание работы устройства в контексте представленных структурной и функциональной схем устройства.

5 МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА “LORA-USB АДАПТЕР”

Целью данного раздела является моделирование аналоговых составляющих разрабатываемого устройства LoRa-USB адаптера.

Моделирование фильтров производилось в программах «Proteus». Схема модели представлена на рисунке 5.1.

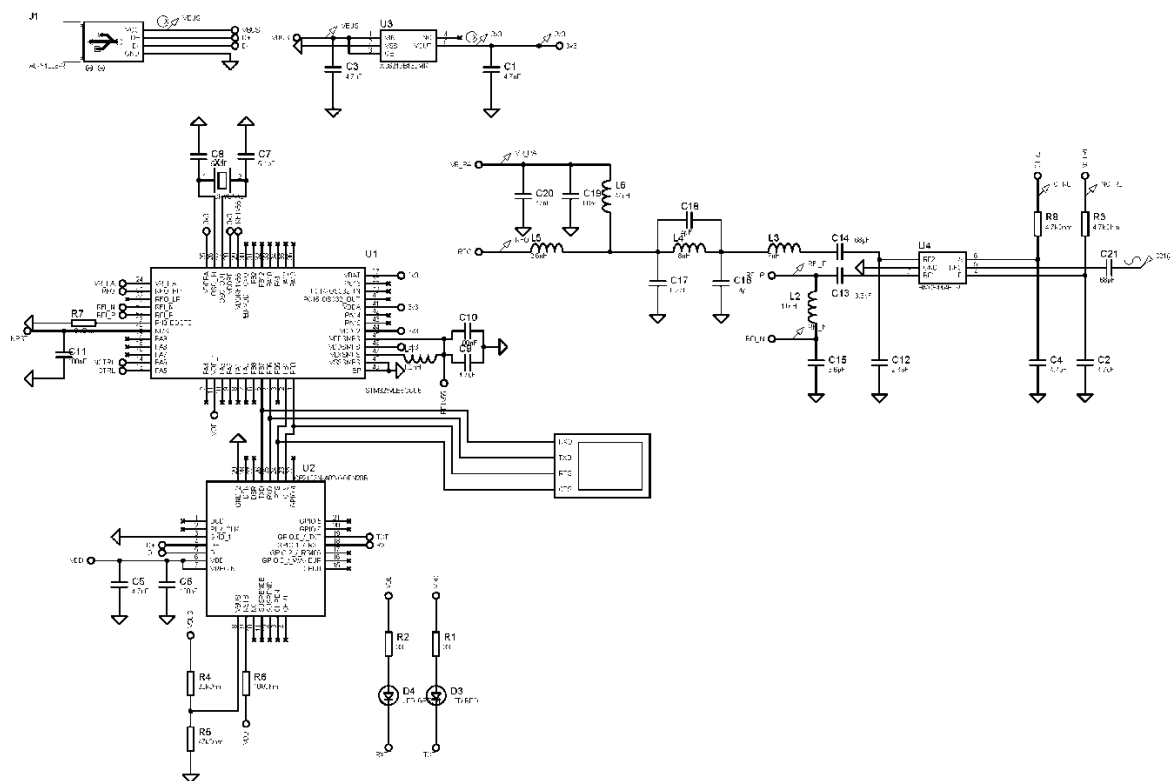


Рисунок 5.1 – Схема модели

Для определения работоспособности схемы необходимо проверить передачу информации от USB через преобразователь интерфейса до микроконтроллера, разницу фаз на входах дифференциальной пары RFI_P, RFI_N, коэффициент передачи радиосигнала через фильтр в направлении отправки и приёма

На следующих графиках представлены результаты моделирования радиосигнала при различных значениях частоты сигнала: коэффициент передачи при отправке (рисунок 5.2); коэффициент передачи на входах RFI_N, RFI_P (рисунок 5.3); фазы на входах RFI_N, RFI_P (рисунок 5.4).

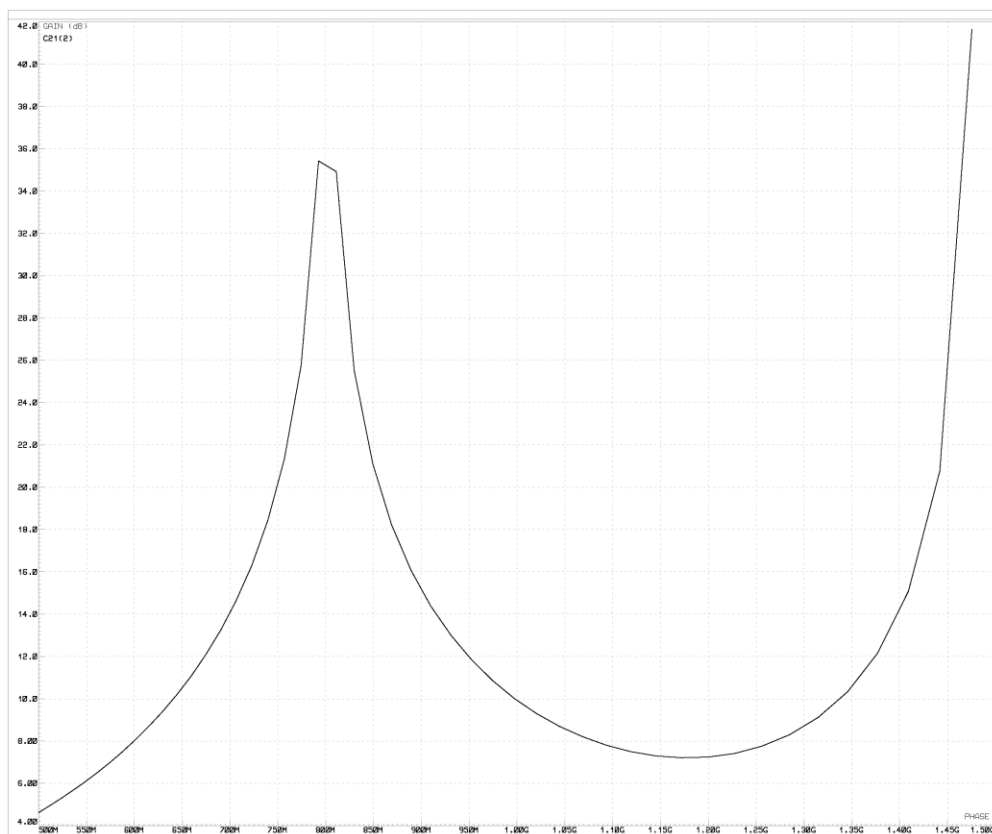


Рисунок 5.2 – Коэффициент передачи при отправке

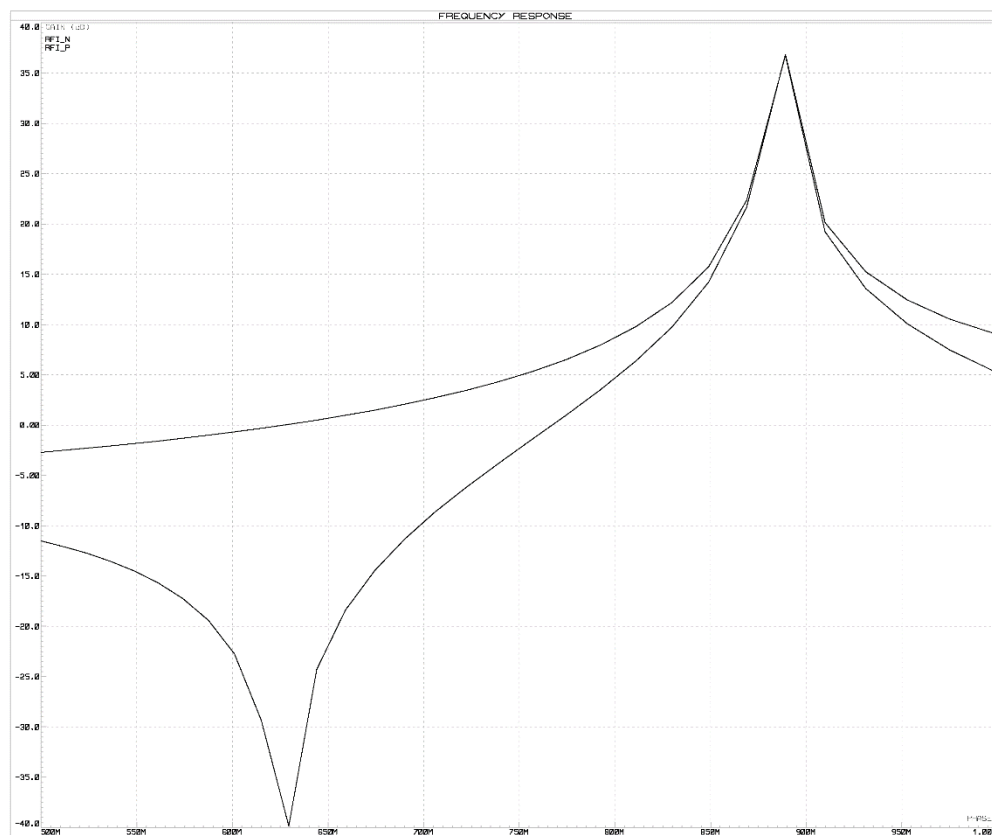


Рисунок 5.3 – Коэффициент передачи получаемого сигнала

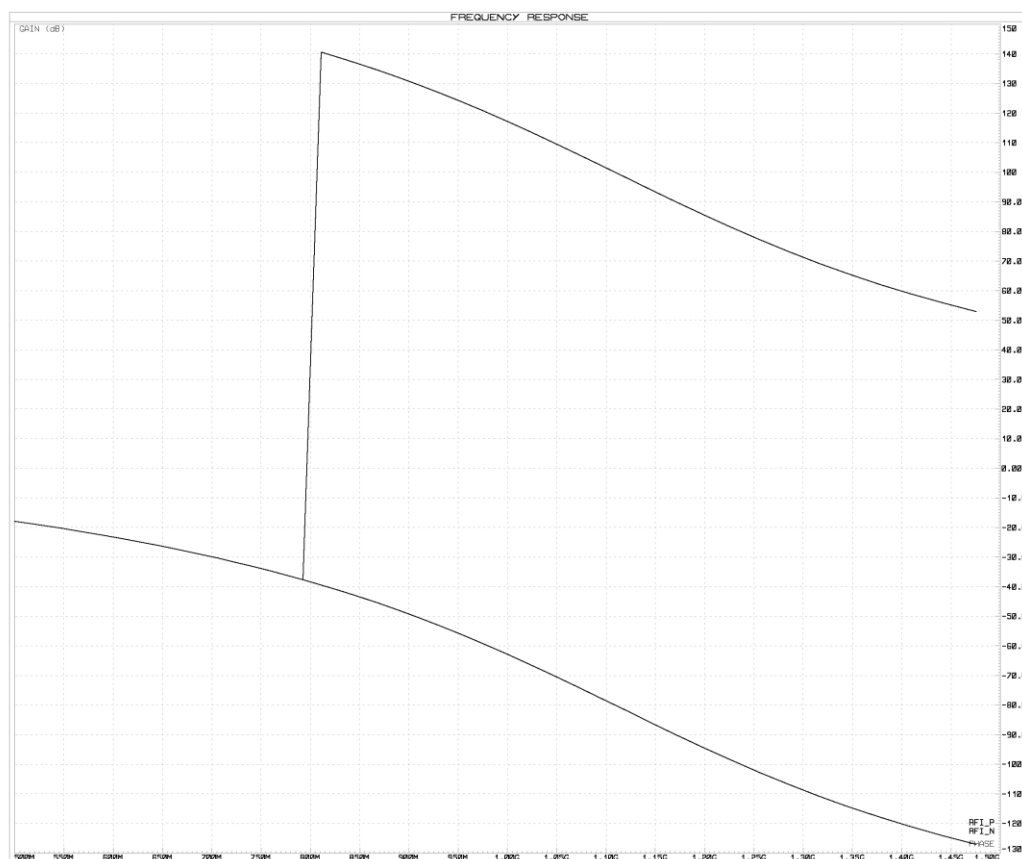


Рисунок 5.3 – Фазы RFI_N, RFI_P

По графикам видно, что пик передаточной характеристики при отправке соответствует частоте 800МГц, а при необходимой частоте 868МГц усиление в 19дБ. При приёме сигнала равенство мощностей дифсигналов достигается при частоте 868МГц, а противофаза сигналов при частотах выше 800МГц.

Тип антенны для уменьшения габаритов выбран планарный в виде проводника на печатной плате (рисунок 5.4). Проектирование и моделирование антенны проведено в программе “Ansys HFSS”. С помощью эволюционной оптимизации по минимуму пика S -параметра получены параметры толщины проводников, шага между витками меандра и т.д.

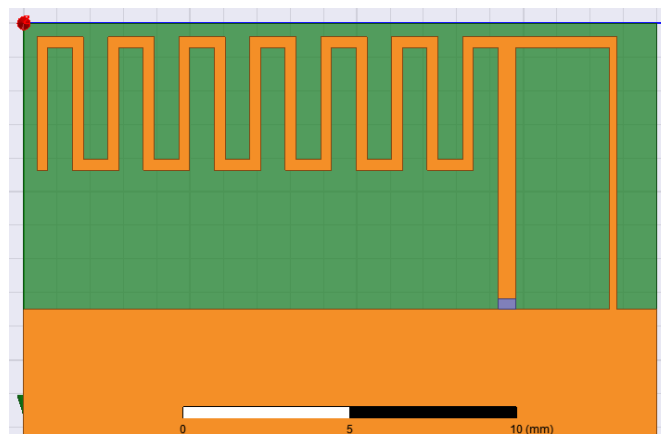


Рисунок 5.4 – Антенна в программе HFSS

Результаты анализа созданной антенны представлены на графиках (рис 5.5, 5.6). Импеданс антенны при частоте 868МГц равен 50Ом, S-параметр -6. Эти значения соответствуют требуемым изначальной схемы МВ1791.

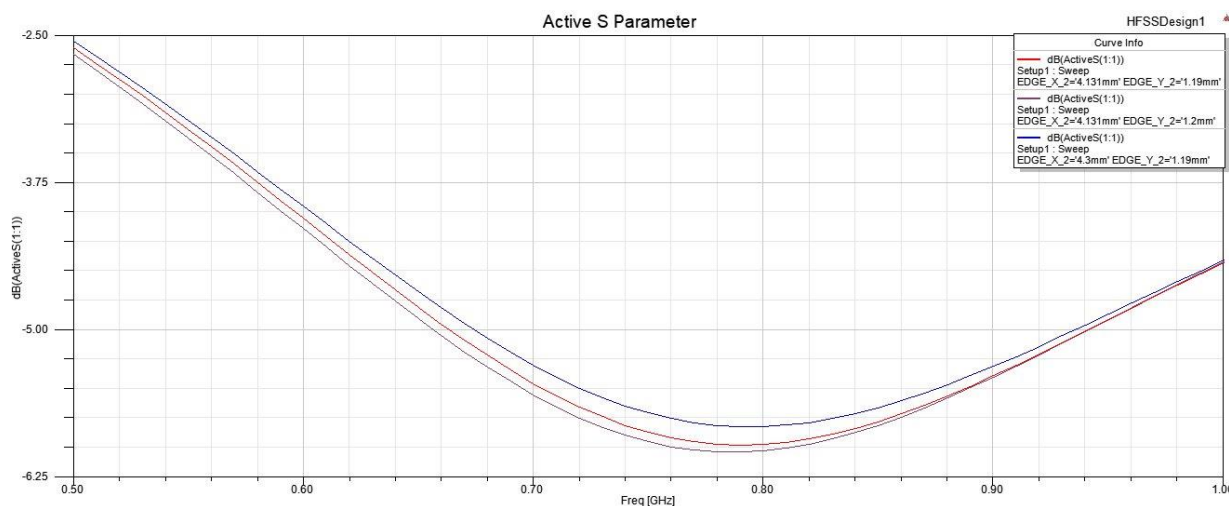


Рисунок 5.5 – S-параметр антенны

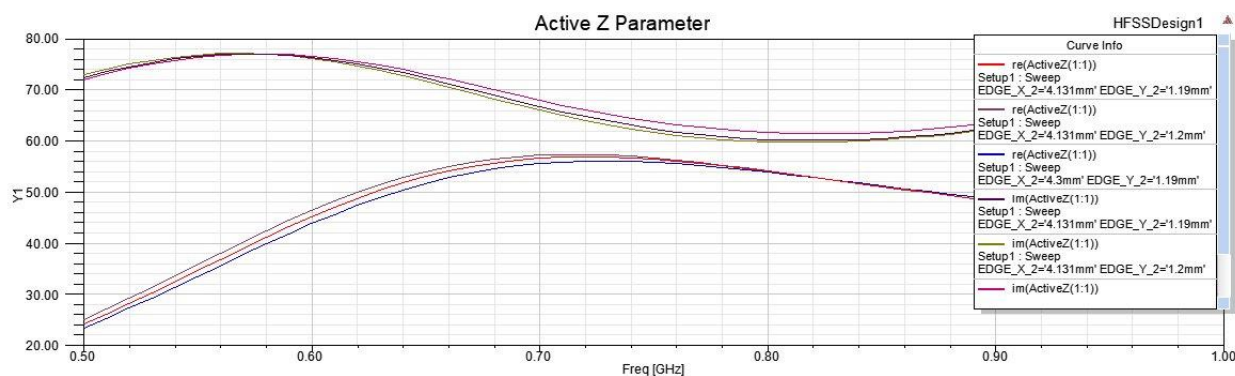


Рисунок 5.6 – Импеданс антенны

По требованию согласования импедансов, импеданс проводников должен быть 50Ом. Основными факторами, влияющим на этот импеданс, является толщина проводника и толщина диэлектрика. Для этого в программе “Matlab”

(рисунок 5.7) рассчитаны параметры проводников при используемой в плате толщине диэлектрика 300мкм (плата многослойная). Требуемая толщина – 530мкм.

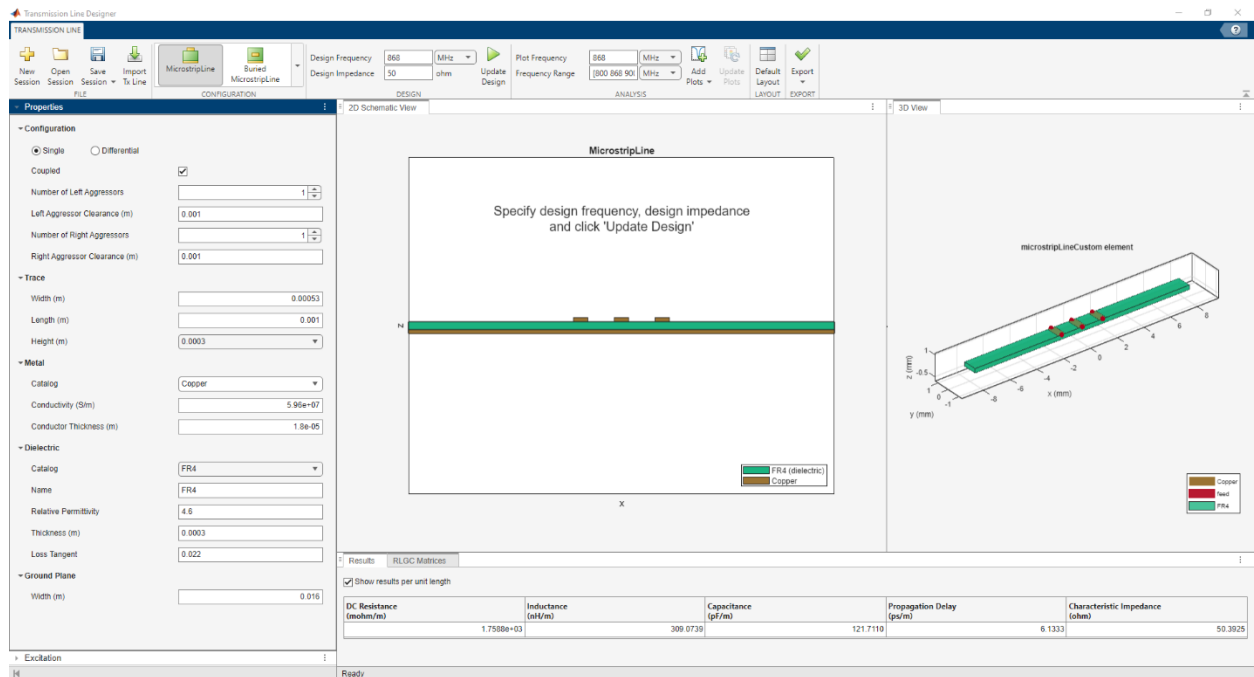


Рисунок 5.7 – Импеданс дорожек

Таким образом достигается согласование импедансов в радиочасти для увеличения мощности сигнала.

Вывод

В данном разделе было проведено моделирование работы аналоговой части устройства. Таким образом, при верном подборе цифровых компонентов устройство будет функционировать согласно заявленным характеристикам.

6 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

6.1 Разработка принципиальной схемы устройства LoRa-USB адаптера

Схема электрическая принципиальная (Э3) устройства была разработана согласно ГОСТ 2.701-2008 и ГОСТ 2.702-2011 на основе анализа электрической структурной схемы (Э1) (рисунок 3.1). Разработанная схема электрическая принципиальная (Э3) LoRa-USB адаптера представлена на рисунке 6.1. и на чертеже ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 Э3. В качестве среды разработки была выбрана САПР «Altium Designer».

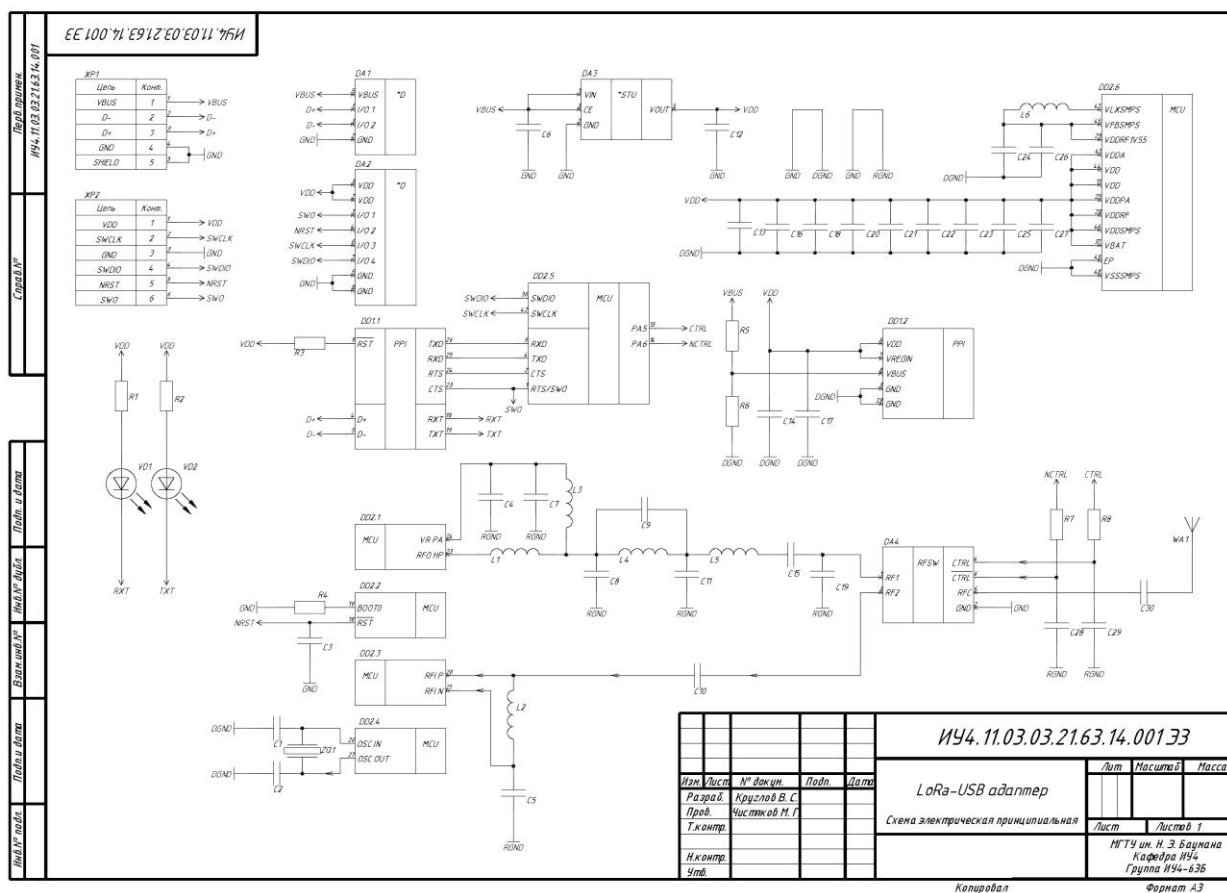


Рисунок 6.1 – Схема электрическая принципиальная устройства LoRa-USB адаптер

Рассмотрим принцип работы приведенной схемы. Начнем с питания схемы. Устройство питается от вывода 1 выхода XP1, который является выходом разъема USB-штекера. Напряжение 5 вольт с этого вывода поступает на вход стабилизатора напряжения DA3, на выходе которого формируется 3.3 В, что необходимо для питания микроконтроллера. Также диодные сборки DA1 и DA2

защищают устройство от статического заряда. Для корректной работы стабилизатора напряжения используются конденсаторы C6 и C12.

После обеспечения напряжением всех узлов системы устройство выходит в рабочий режим. USB-UART преобразователь DD1 передаёт данные между USB штекером и UART модулем микроконтроллера, для чего имеет делитель напряжения резисторами R5 и R6 от 5В до 3.3В опорного напряжения, разграничивающего биты 0 и 1 данных. Выход XP2 предназначен для программирования микроконтроллера.

Для обеспечения корректной работы всей периферии микроконтроллера необходимо схемотехнически решить проблему возникновения помех от работы самого микроконтроллера и USB-UART моста. Для этого используются конденсаторы C13, C16, C18, C20-C23, C25, C27, C14, C17 для каждого вывода питания, которые представляют собой фильтры низких частот, что качественно сказывается на количестве помех выбрасываемыми цифровыми схемами на линию питания. Также для питания радиочасти требуются низкочастотные фильтры из L6, C24, C26

Для корректной работы микроконтроллера вывод RESET необходимо подключить параллельно конденсатору, для того чтобы шумы от питания не сбросили ход работы устройства. R7, C28 и R8, C28 – низкочастотные фильтры для предотвращения самопроизвольного переключения под влиянием шумов радиочасти.

В радиочасти конденсаторы C15, C30 – блокирующие; L2, C6 – фазорасщепитель, дающий сдвиг фаз 180 градусов при частоте выше 800МГц; L1 и C8 – LC согласующая цепь импеданса; C9 – фильтр второй гармоники; L4, C11 – согласуют импеданс; L5, C11, C19 – низкочастотный фильтр.

6.2 Обоснование работы устройства

Питание на плату подается через порт для загрузки прошивки в микроконтроллер (XP2). Питание идет USB через соответствующий переходник и составляет 5В.

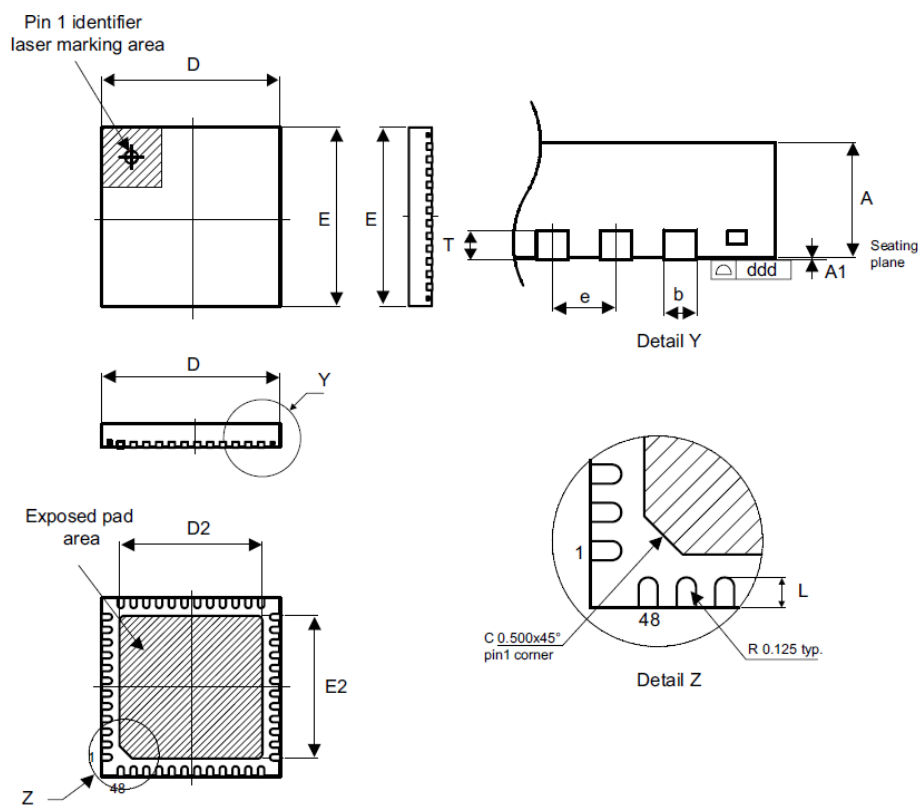
Цепь, содержащая DA3 является цепью стабилизации питания, на выходе которой 3.3В, необходимые для работы микроконтроллера. Цепь VD1, VD2 – цепь индикации работы устройства.

Цепь RFI_N, RFI_P – цепь входа радиосигнала. На нее идет сигнал в соответствии с программой, заданной МК. Отправка данных проходит через цепь VR_PA и RFO_HP.

6.3 Обоснование выбора элементной базы

В качестве управляющего устройства был выбран 32-битный микроконтроллер STM32WLE5CCU6 (DD2). Выбор был сделан на основе ТЗ.

Цоколевка и размеры корпуса микроконтроллера UFQFPN-48 приведены на рисунке 6.3.1.



A0B9_ME_V3

Рисунок 6.3.1 – Цоколевка и размеры микроконтроллера STM32WLE5CCU6

Технические характеристики выбранного микроконтроллера:

- Напряжение питания: 1.8...3.6 В.
- Ширина шины данных: 32-бит.
- Тактовая частота до 48 МГц.

- Объем flash памяти 256 кБайт.
- Объем RAM памяти 64 кБайт.
- Встроенные интерфейсы: UART, SPI, I2C, LoRa.
- Частота радиочасти 150...960 МГц.

Для преобразования 5 В входного питания в 3,3 В и для стабильного поддержания данного напряжения был выбран стабилизатор XC6219B332MR (DA3). Цоколевка и размеры корпуса регулятора напряжения SOT-23-5 представлены на рисунке 6.1.2.

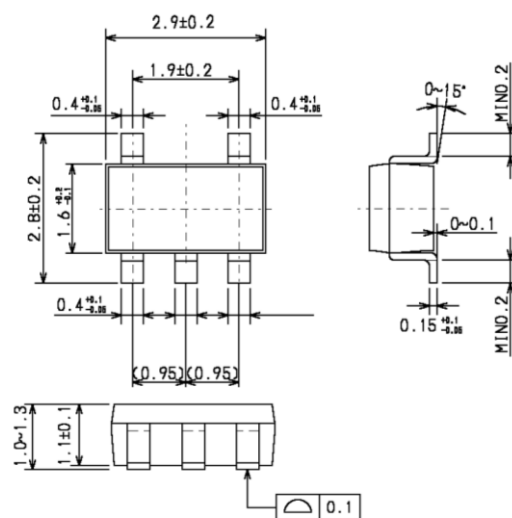


Рисунок 6.3.2 – Цоколевка и размеры стабилизатора напряжения
XC6219B332MR

Как описывалось ранее стабилизатор напряжения нужен для обеспечения, требуемого микроконтроллером напряжения.

Технические характеристики выбранного стабилизатора:

- полярность положительная
- тип выхода фиксированный
- максимальный ток нагрузки 300 мА
- максимальное входное напряжение 6 В
- диапазон рабочих температур -40...+85°C.

Конденсаторы в схеме необходимы для стабильной работы и подавления помех на различных устройствах, а также в схемах фильтров радиочасти. В

качестве конденсаторов для подавления помех на стабилизаторе питания (С6, С12) выбраны керамические конденсаторы X5R номиналом 100 нФ и 10 мкФ, с рабочим напряжением 16 В. Для стабильной работы микроконтроллера были выбраны керамические конденсаторы X5R номиналом 10 мкФ и 0.1 мкФ соответственно.

Цоколевка и размеры корпуса конденсаторов представлены на рисунке 6.3.3.

ГАБАРИТНЫЕ И УСТАНОВОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ

Табл. 1

Серия	Типо-размер	Размеры, мм				
		L	W	T	e	g min.
GRM15	0402	1,0	0,5	0,5	0,3	0,4
GRM18	0603	1,6	0,8	0,8	0,5	0,5
GRM21	0805	2,0	1,25	0,6-1,25	0,7	0,7
GRM31	1206	3,2	1,6	0,85-1,6	0,8	1,5
GRM32	1210	3,2	2,5	0,85-2,5	0,3 min.	1,0
GRM43	1812	4,5	3,2	2 max.	0,3 min.	2,0
GRM55	2220	5,7	5,0	2 max.	0,3 min.	2,0

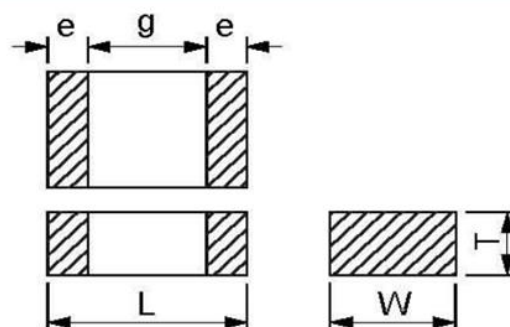


Рисунок 6.3.3 – Цоколевка и размеры конденсаторов

Основные технические характеристики конденсаторов:

- типоразмер 0402.
- рабочее напряжение от 16 до 50 В.
- допуск номинала 5%.
- диапазон рабочих температур -55...+125°C.

В качестве индукторов (L1-L6) были выбраны многослойные индукторы, которые предназначены для работы в цепях переменного тока. Используются для поверхностного монтажа.

Цоколевка и размеры корпуса резисторов представлены на рисунке 6.3.4.

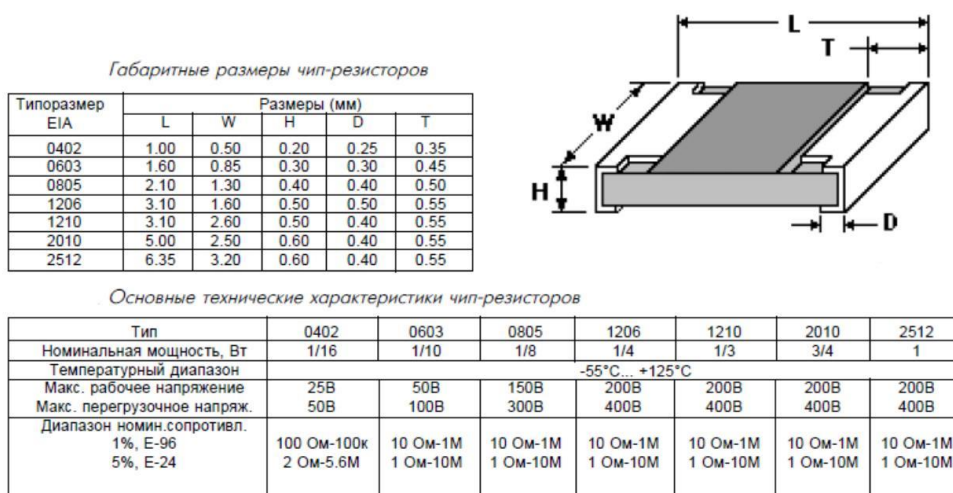


Рисунок 6.3.4. – Цоколевка и размеры индукторов

Основные технические характеристики резисторов:

- типоразмер 0402.
- рабочее напряжение 16 В.
- допуск номинала 5%.

В качестве резисторов (R1-R8) были выбраны толсто пленочные резисторы, которые предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного тока. Используются для поверхностного монтажа. Для всех резисторов, используемых в данной схеме обязательным требование, является показатель номинальной мощности равный 0,25 Вт.

Цоколевка и размеры корпуса резисторов представлены на рисунке 6.3.5.

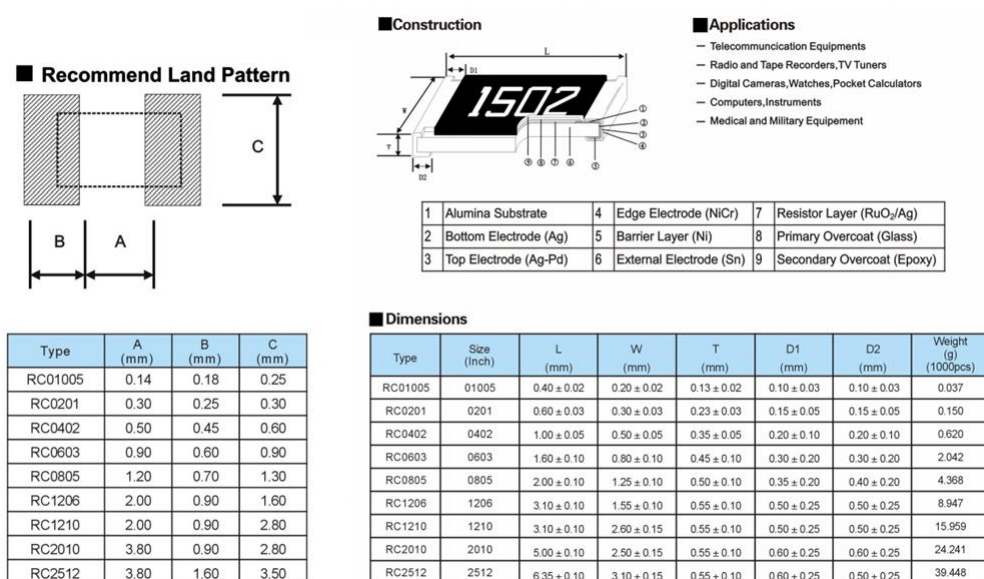


Рисунок 6.3.5 – Цоколевка и размеры резисторов

Основные технические характеристики резисторов:

- типоразмер 0402.
- рабочее напряжение 200 В.
- допуск номинала 5%.
- номинальная мощность 0.25 Вт.

В качестве USB-UART моста (DD1) был выбран CP2102N-A02-GQFN28R. Внешний вид и цоколевка представлены на рисунке 6.3.6.

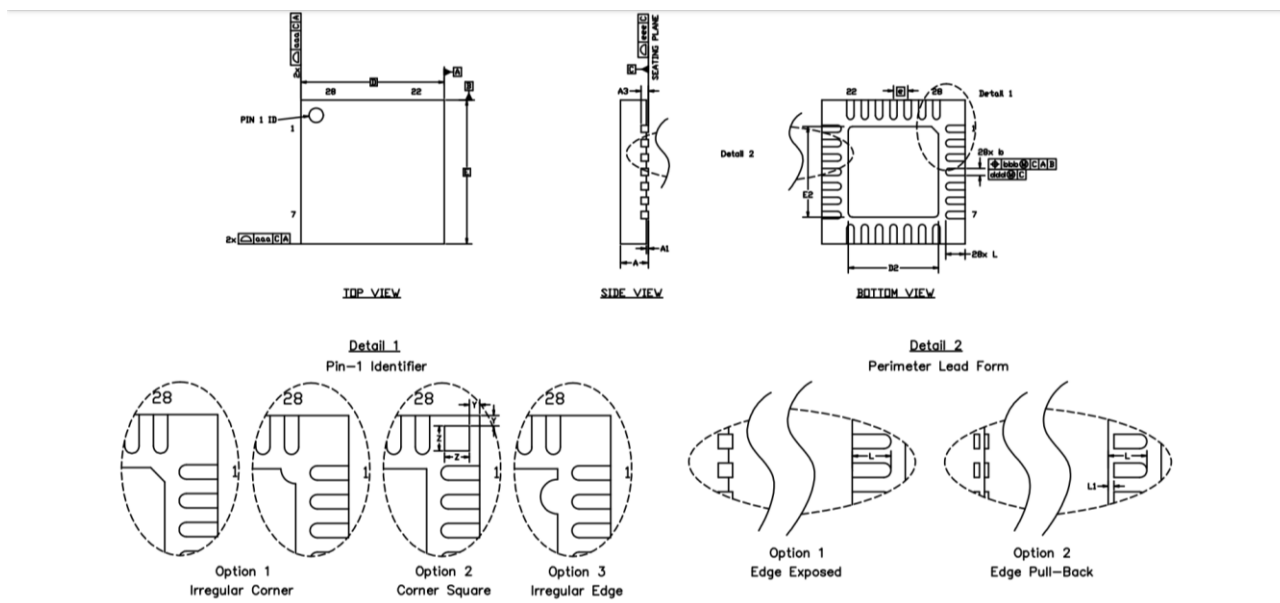


Рисунок 6.3.6 - Цоколевка и размеры CP2102N

Основные технические характеристики кнопки тактовой CP2102N-A02-GQFN28R:

- Рабочее напряжение 3.3 В.
- Буфер данных 512 байт.

В качестве разъема для прошивки микроконтроллера (XP2) были выбраны штыревые вилки типа PLS-6. Внешний вид и цоколевка штыревой вилки типа PLS представлены на рисунке 6.3.7.

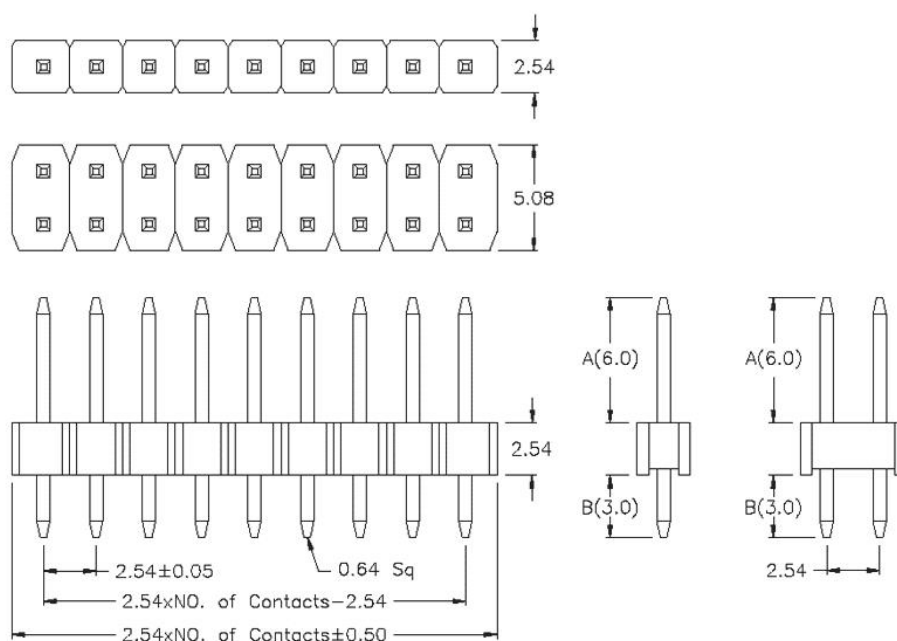


Рисунок 6.3.7 - Цоколевка и размеры штыревой вилки

В качестве разъема для подключения к USB порту компьютера (XP3) был выбран разъем USB type A. Внешний вид и цоколевка разъема представлены на рисунке 6.3.8.

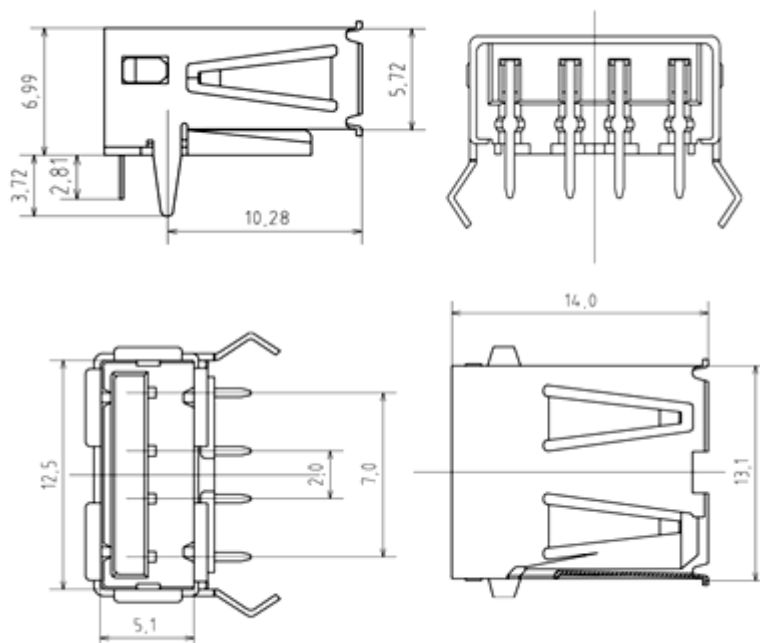


Рисунок 6.3.8 - Цоколевка и размеры разъема USB type A

В качестве СВЧ-реле (DA4) выбран HMC544AETR. Внешний вид и цоколевка разъема представлены на рисунке 6.3.9.

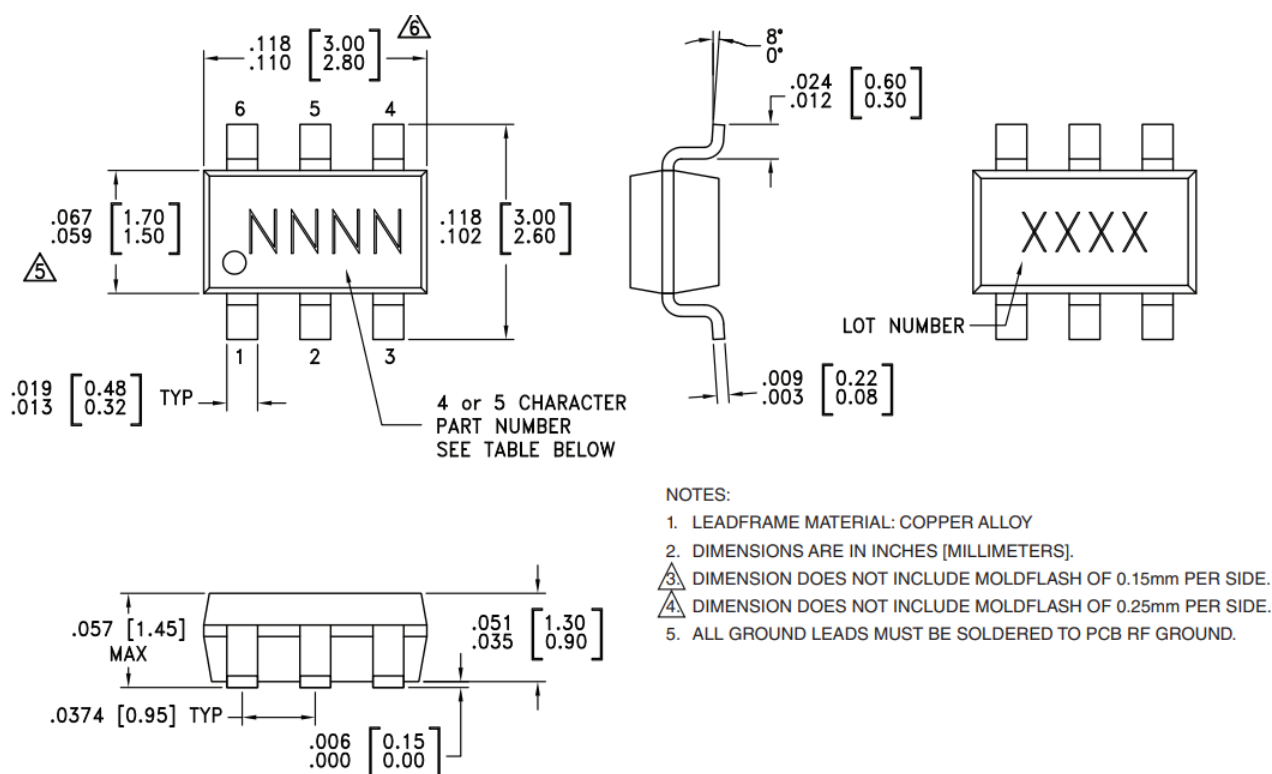


Рисунок 6.3.9 - Цоколевка и размеры разъема HMC544AETR

Основные технические характеристики СВЧ-реле HMC544AETR:

- Рабочее напряжение 3.3 или 5 В.
- Уровень принимаемого сигнала +39дБм

В качестве схемы защиты от электростатики DA1 выбрана SRV05-4.TCT. Внешний вид и цоколевка разъема представлены на рисунке 6.3.10.

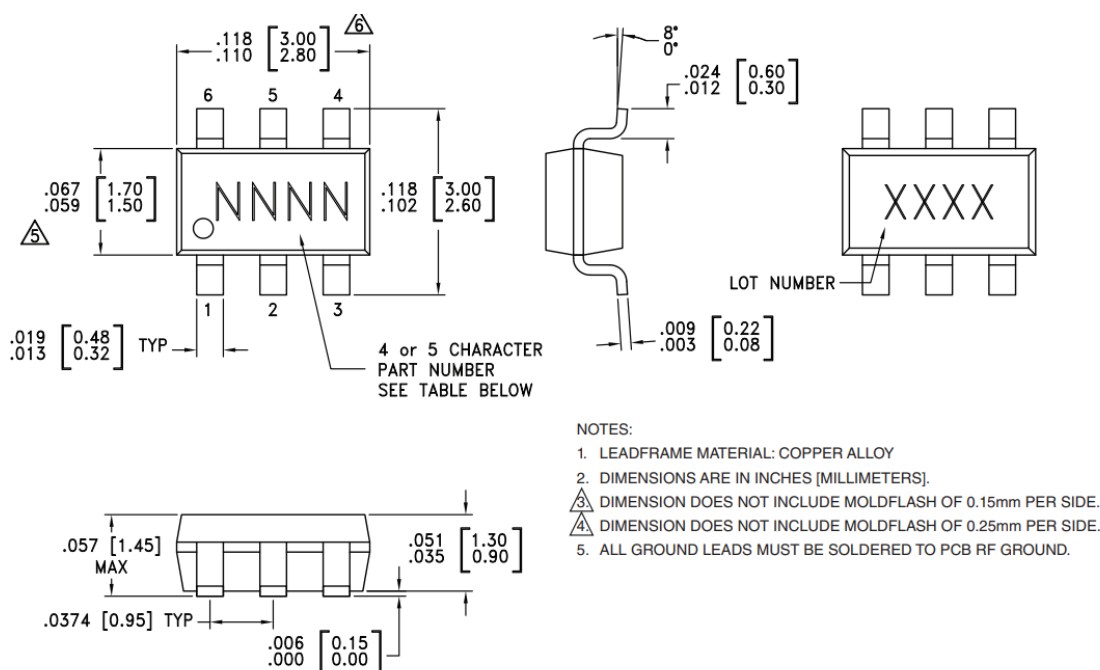


Рисунок 6.3.10 - Цоколевка и размеры SRV05-4.TCT

Основные технические характеристики SRV05-4.TCT:

- Пиковый ток 12 А.
- Максимальное обратное напряжение 5 В.

В качестве схемы защиты от электростатики DA2 выбрана SRDA3.3-4DR2G. Внешний вид и цоколевка разъема представлены на рисунке 6.3.11.

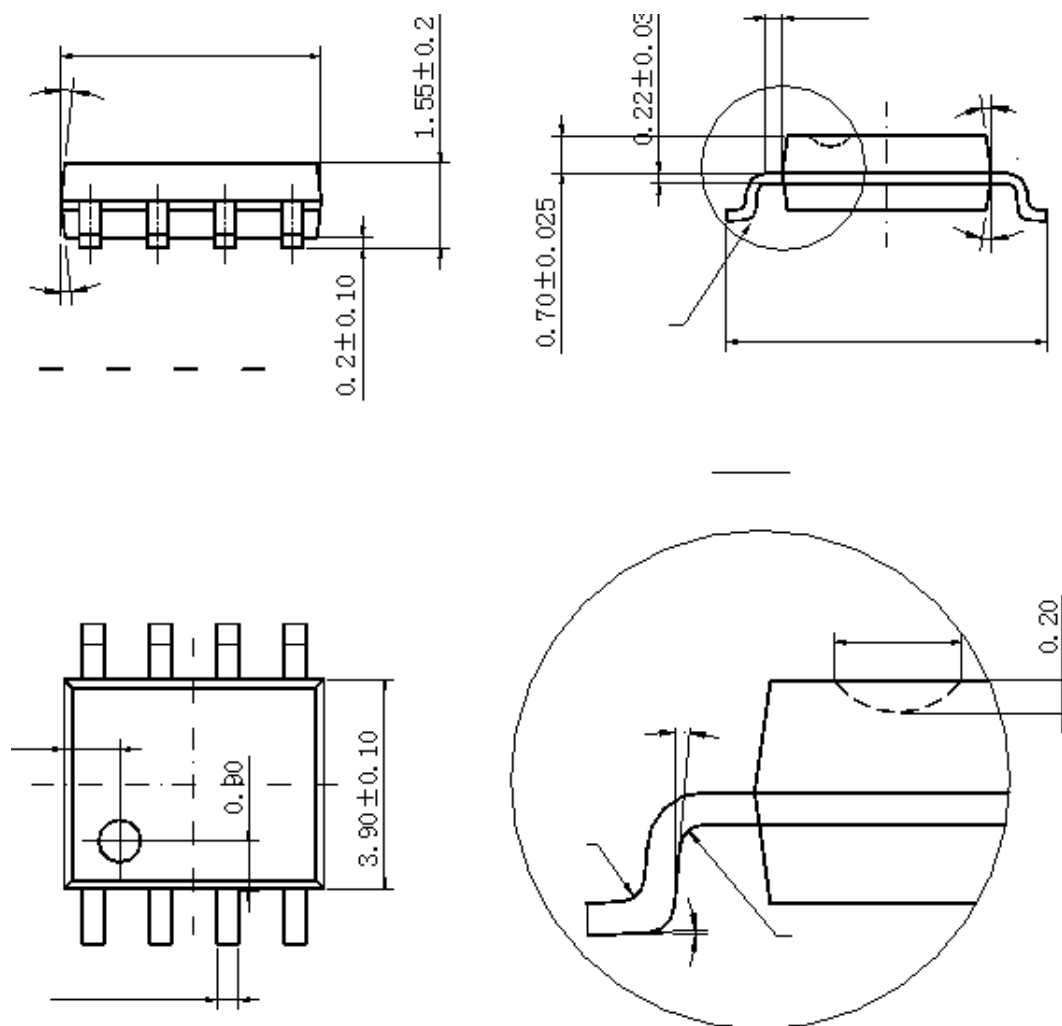


Рисунок 6.3.11 - Цоколевка и размеры SRDA3.3-4DR2G

Основные технические характеристики SRDA3.3-4DR2G:

- Пиковый ток 12 А.
- Максимальное обратное напряжение 5 В.

Для зелёных светодиодов при токе 20 мА упадет 2 В, тогда сопротивление резистора будет равно

$$R_{\text{к}} = \frac{3.3 - 2}{0.02} = 65 \text{ Ом (берем 68 Ом)}$$

6.4 Разработка перечня элементов (ПЭЗ)

После выбора элементной базы был составлен перечень элементов схемы (ПЭЗ) согласно ГОСТ 2.701-2008. Перечень элементов ПЭЗ) представлен на рисунках 6.4.1, 6.4.2., а также документом ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 ПЭ.

Перв. примен.	ИЧУ.11.03.03.21.63.14.001	Поз. обозна- чение	Наименование	Кол.	Примечание						
			<u>Разъёмы</u>								
		XP1	Штекер USB-A PL-4 (Molex, США)	1							
			<u>Конденсаторы</u>								
		C1,C2	Чип-конденсатор керамический К10-16В-5, 1пФ±5%(Murata, Япония)	12							
Справ. №		C3,C16,C18	Чип-конденсатор керамический К10-16В-100нФ±10%(Murata, Япония)								
		C17,C20...C23									
		C25,C27									
		C6,C12...C14	Чип-конденсатор керамический К10-16В-4, 7мкФ±10%(Murata, Япония)	5							
		C4	Чип-конденсатор керамический К10-16В-47нФ±5%(Murata, Япония)	1							
		C5	Чип-конденсатор керамический К10-16В-3.6нФ±5%(Murata, Япония)	1							
		C7,C15,C30	Чип-конденсатор керамический К10-16В-68нФ±5%(Murata, Япония)	3							
Подп. и дата		C8	Чип-конденсатор керамический К10-16В-6.2нФ±5%(Murata, Япония)	1							
		C9	Чип-конденсатор керамический К10-16В-4нФ±5%(Murata, Япония)	1							
		C10	Чип-конденсатор керамический К10-16В-3.3нФ±5%(Murata, Япония)	1							
		C11,C19	Чип-конденсатор керамический К10-16В-2.4нФ±5%(Murata, Япония)	2							
		C24	Чип-конденсатор керамический К10-16В-0.47мкФ±10%(Murata, Япония)	1							
		C26,C28,C29	Чип-конденсатор керамический К10-16В-33нФ±10%(Murata, Япония)	3							
		Инв. № вкл.			<u>Резисторы</u>						
				R1,R2	Чип-резистор толстоплёночный C2-0,125Вт-330м±10%(Yageo, Китай)	2					
R3,R4	Чип-резистор толстоплёночный C2-0,125Вт-10кОм±10%(Yageo, Китай)			2							
Взам. инв. №		R5	Чип-резистор толстоплёночный C2-0,125Вт-22кОм±10%(Yageo, Китай)	1							
		R6,R7,R8	Чип-резистор толстоплёночный C2-0,125Вт-47кОм±10%(Yageo, Китай)	3							
Подп. и дата											
Инв. № подл.		Разраб.	Кружлов В. С.								
		Пров.	Чистяков М. Г.								
		Н.контр.									
		Утв.									
ИЧУ.11.03.03.21.63.14.001 ПЭЗ											
LoRa-USB адаптер Перечень элементов											
<table><tr><td>Лист</td><td>Лист</td><td>Листов</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>2</td></tr></table> <div>МГТУ им. Н. Э. Баумана Кафедра ИЧУ Группа ИЧУ-635</div>						Лист	Лист	Листов		1	2
Лист	Лист	Листов									
	1	2									

Рисунок 6.4.1 – Перечень элементов, первая страница

Поз. обозна- чение		Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Индукторы</u>		
L1		Чип-индуктор многослойный LQG15HN2N6J (Murata, Япония)	1	
L2		Чип-индуктор многослойный LQG15HN11NJ (Murata, Япония)	1	
L3		Чип-индуктор многослойный LQG15HN47NJ (Murata, Япония)	1	
L4		Чип-индуктор многослойный LQG15HN1N8J (Murata, Япония)	1	
L5		Чип-индуктор многослойный LQG15HN7NJ (Murata, Япония)	1	
L6		Чип-индуктор многослойный LQG15HN150J (Murata, Япония)	1	
		<u>Светодиоды</u>		
VD1		TO-2106BC-MGD (OASISTEK, Кумау)	1	
VD2		TO-2106BC-MRF (OASISTEK, Кумау)	1	
		<u>Микросхемы</u>		
DA1		SRV05-4.TCT (Semtech, США)	1	
DA2		SRDA3.3-4DR2G (Onsemi, США)	1	
DA3		XC6219B332MR (UMW, Кумау)	1	
DA4		HMC544AETR (Analog Devices, США)	1	
DD1		CP2102N-A02-GQFN28R (Silicon Laboratories, США)	1	
DD2		STM32WLE5CCU6 (STMicroelectronics, США)	1	
ZQ1		Кварцевый резонатор XRCGB16M000FXN02R0 (Murata, Япония)		
Инв. № подл.	Подп. и дата			
	Инв. № дубл.			
	Взам. инв. №			
	Подп. и дата			
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
				Дата
	ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 ПЭЗ			Лист
				2

Рисунок 6.4.2 – Перечень элементов, вторая страница.

Необходимые данные об элементах записываются в «Наименование» и «Примечание». Туда указываются наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, - для функциональной группы – наименование.

Связь перечня с УГО элементов осуществляется через графу «Поз. Обозначения». Та, в свою очередь, в ПЭЗ проставляется на основе схемы ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 ЭЗ.

Вывод

В данном разделе была разработана схема электрическая принципиальная, при помощи программного пакета «Altium Designer». Рассмотрен схемотехнический принцип работы устройства. Произведено обоснование использования тех или иных элементов. Помимо этого, был произведен расчет резистора для светодиода.

Таким образом результатом являются:

1. Чертеж схемы Электрической принципиальной ЭЗ
2. Перечень элементов.

7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

7.1 Проектирование топологии печатной платы

Исходя из принципиальной схемы, представленной в п. 4.1 была выполнена трассировка печатной платы и создана 3Д модель. В качестве среды разработки был выбран САПР «Altium Designer 24», результат представлен на рисунках 7.1.1.-7.1.4

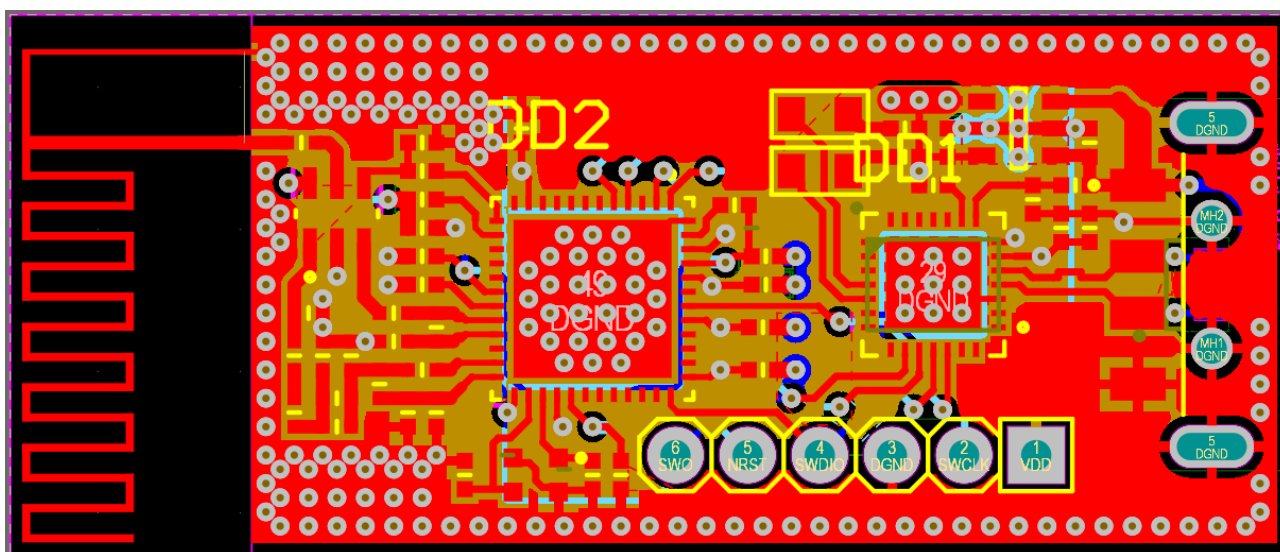


Рисунок 7.1.1 – верхний внешний слой ПП

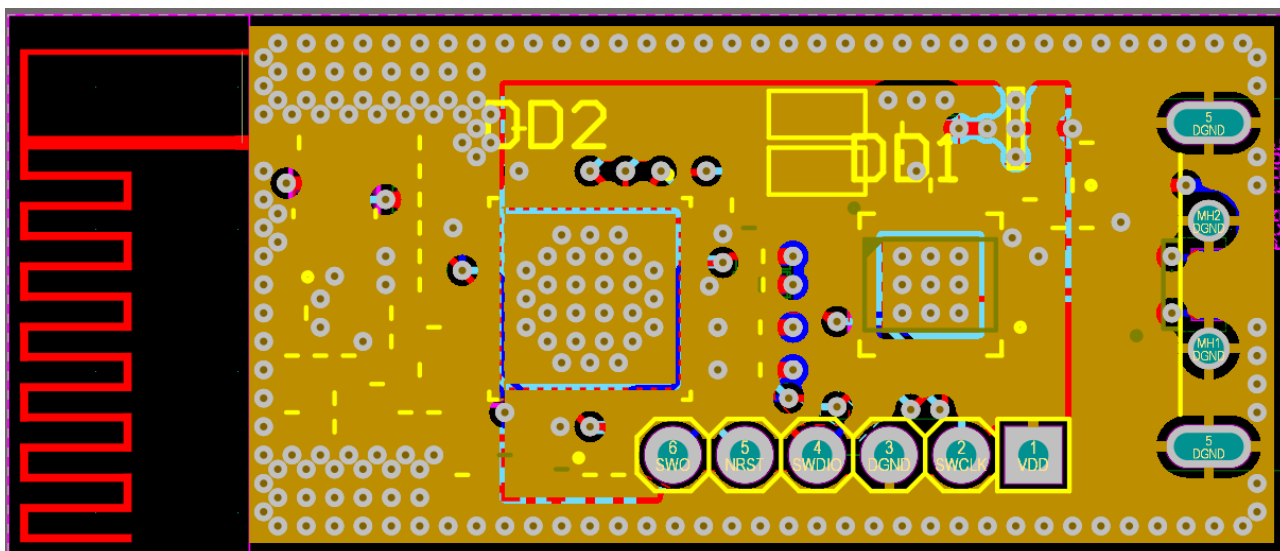


Рисунок 7.1.2 – верхний внутренний слой ПП

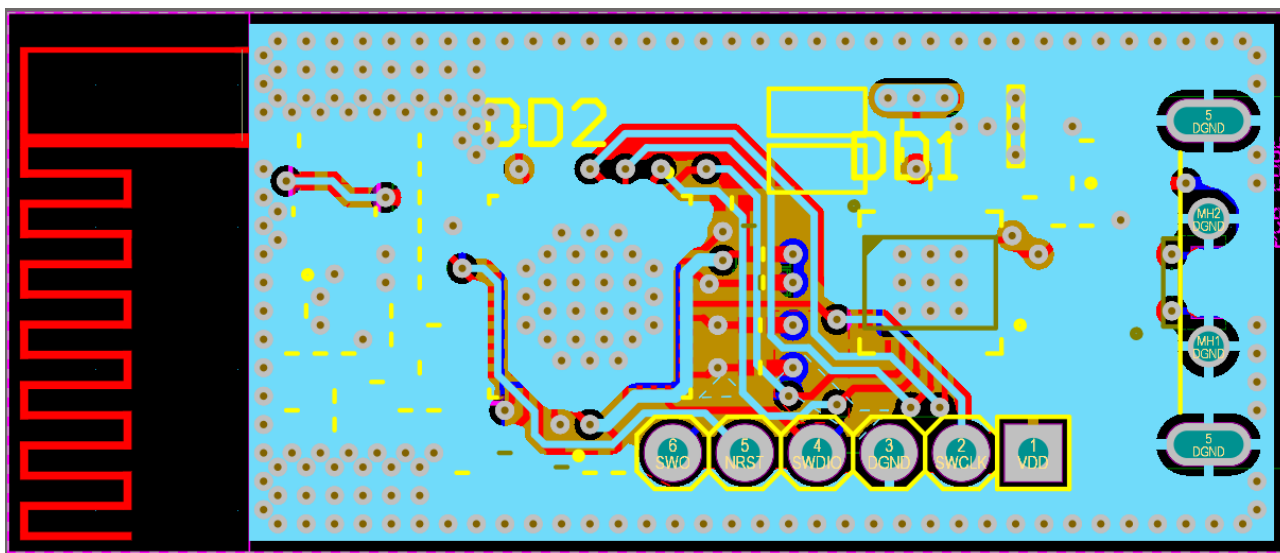


Рисунок 7.1.3 – нижний внутренний слой ПП

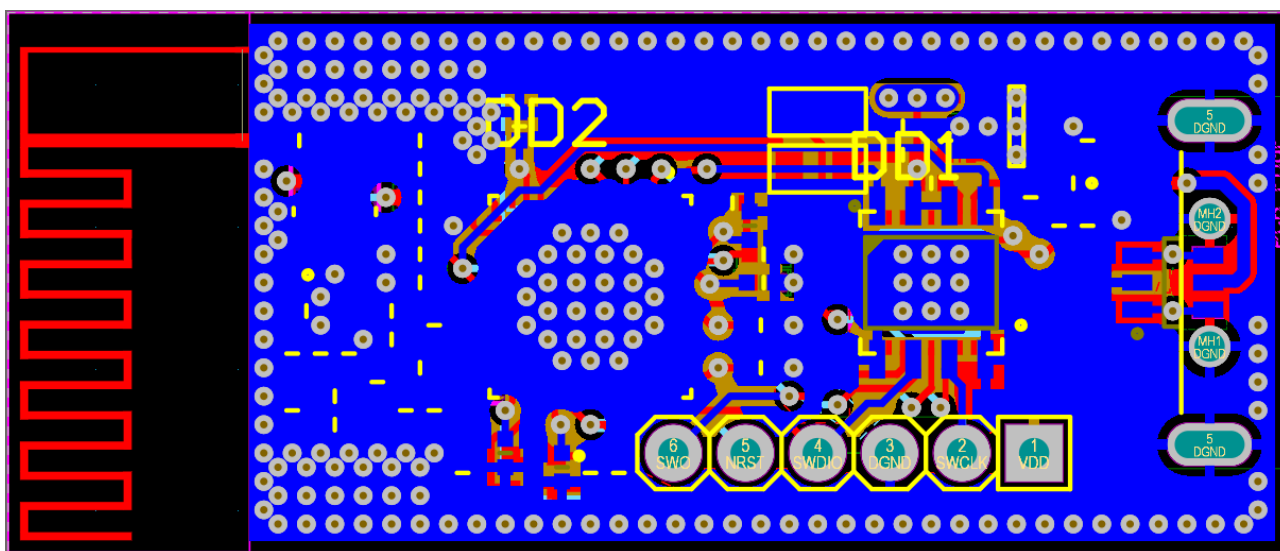


Рисунок 7.1.4 – нижний внешний слой ПП

При трассировке печатной платы основными целями были: компактность изделия, простота изготовления и минимальная длина дорожек передачи данных. Получилась двухсторонняя печатная плата габаритами 45x19 мм.

Толщина медных дорожек варьируется от 0.2 до 0.52 мм, расстояние между печатными проводниками печатной платы не менее 0.2 мм, что соответствует 4 классу точности.

В «Altium Designer 24» на основе посадочных мест была разработана 3Д модель устройства, представленная на рисунке 7.1.5.

7.2 Изготовление печатной платы

Для изготовления двухсторонней печатной платы 4-го класса точности было принято решение заказать производство платы на предприятии «PCB Manufacture», так как в домашних условиях сложно получить металлизацию отверстий и нужную степень точности.

Так как плата изготавливалась на специализированном предприятии, была достигнута нужная степень точности.

Внешний вид печатной платы представлен на рис 7.2

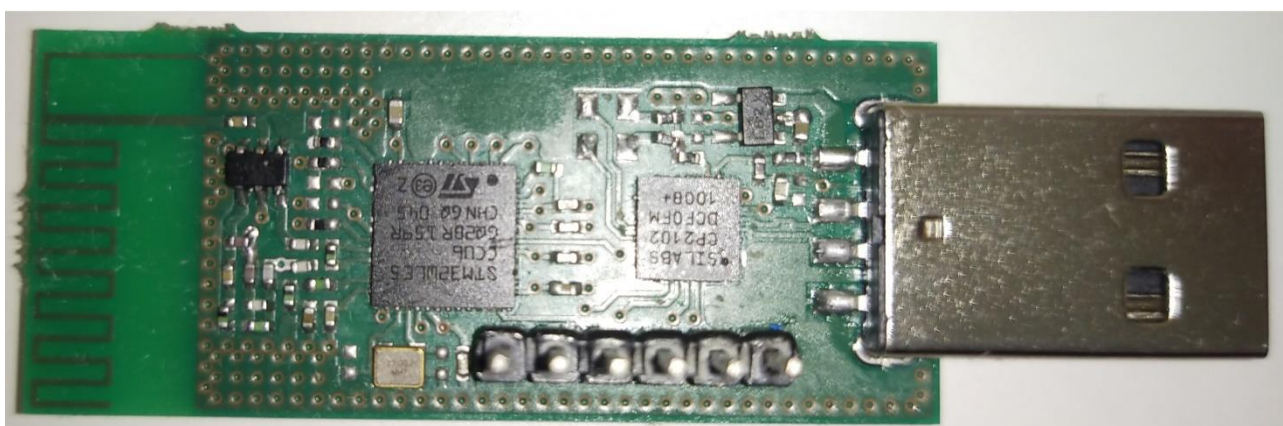


Рисунок 7.2 – Печатная плата устройства

Часть конденсаторов на входах питания не установлена для уменьшения времени пайки, работа цифровых схем проверена и корректна.

Вывод

В данном разделе была произведена разработка топологии печатной платы в соответствии с принципиальной схемой, указанной на рис 4.1. Так же было обосновано то или иное технологическое решение при разработке топологии печатной платы. Было приведено описание технологических и схемотехнических решений, прямым образом влияющих на работу устройства, таких как расстояние от помех генерирующих выводов до фильтрующих конденсаторов, необходимость в малой длине сигнальных проводников.

Также в соответствии с разработанной топологией печатной платы был изготовлен шаблон. Были объяснены способы и технология изготовления шаблона для печатных плат, класс точности которых выше или равняется

третьему. Так же была изготовлена сама печатная плата на предприятии «PCB Manufacture».

Результатом данного раздела являются:

- Gerber-файлы отверстий и проводящего рисунка
- Фотошаблон проводящего рисунка верхнего слоя печатной платы
- Фотошаблон проводящего рисунка нижнего слоя печатной платы
- Прототип печатной платы, изготовленный методом фрезерования на предприятии «PCB Manufacture»

8 РАЗРАБОТКА СБОРОЧНОГО ЧЕРТЕЖА И СПЕЦИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВА “LORA-USB АДАПТЕР”

8.1 Анализ сборочного состава

На основе топологии печатной платы, разработанной в п. 6 был разработан сборочный чертеж печатной платы. На нем указана информация, необходимая для сборки платы. На рисунке 8.1.1 представлена часть сборочного чертежа, где показано расположение всех элементов на устройстве, а также их обозначение в соответствии с принципиальной схемой (рисунок 4.1). Печатные проводники условно не показаны. Неуказанные предельные отклонения размеров $\pm IT12/2$. Электромонтаж ИЭТ осуществляется согласно схеме ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 ЭЗ.

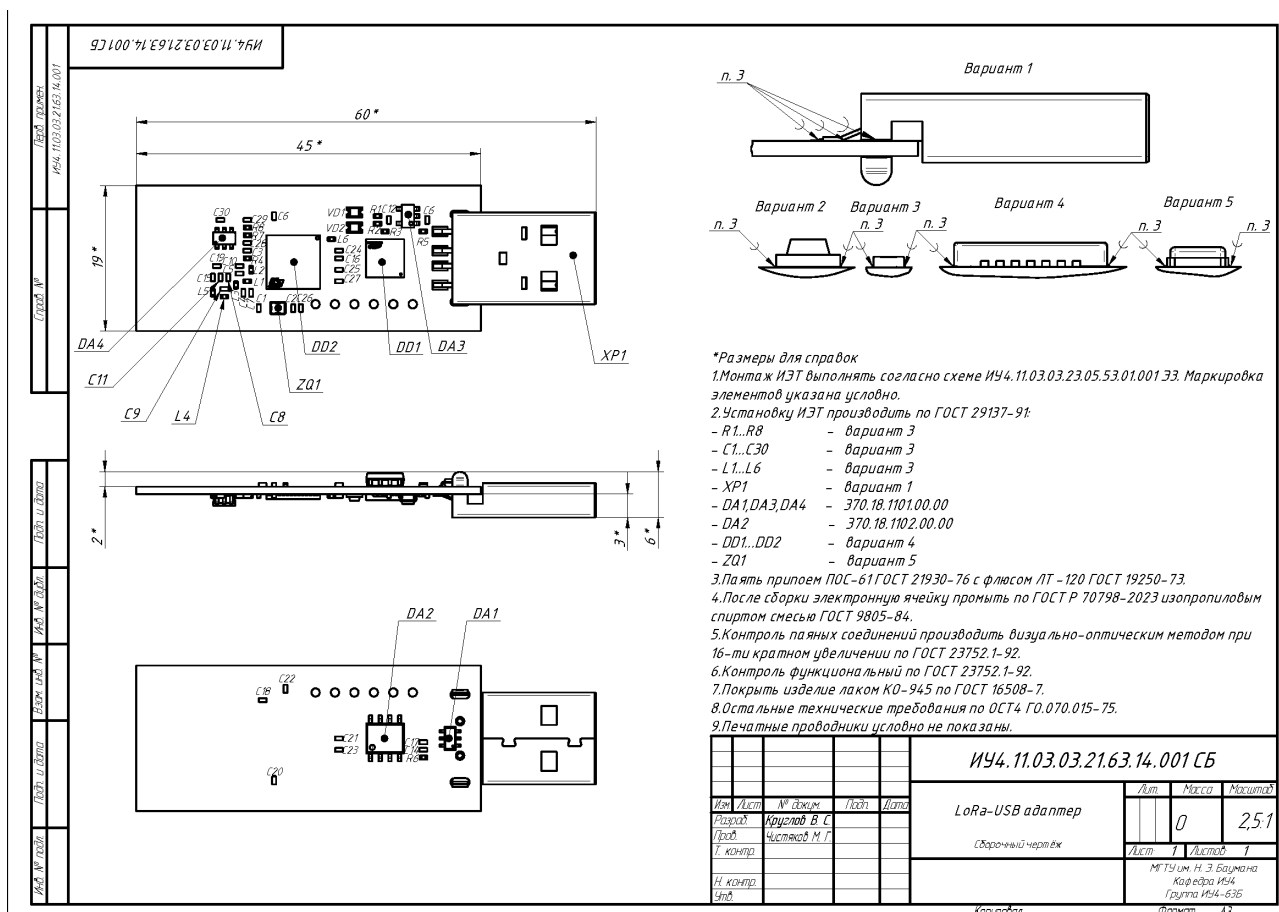


Рисунок 8.1.1 – Часть сборочного чертежа печатной платы

Габаритные размеры всего изделия составляют 45х68 мм. Пайку выводов стоит производить ПОС-61 ГОСТ 21930-70 согласно ГОСТ 23592-96.

Допускается применение импортного припоя с аналогичными характеристиками.

Пайку устройства стоит проводить в следующем порядке:

1. Конденсаторы.
2. Резисторы.
3. Индукторы.
4. Микросхемы.
5. Разъемы.
6. Светодиоды.
7. Кварцевый резонатор.

После сборки устройство промыть в ультразвуковой очистительной ванне со спирто-бензиновой смесью ГОСТ 18300-87.

Контроль паянных соединений проводить визуально-оптическим методом по ГОСТ 24715-81.

Остальные технические требования по ОСТ 4 Г0.070.14-75.

8.2 Разработка спецификации

Спецификация – основной документ курсовой работы. В спецификацию вносят составные части, входящие в специфицируемое изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям.

Страницы СП представлены на рисунках 8.2.1, 8.2.2 и непосредственно в самом документе спецификации ИУ4.11.03.03.21.63.14.001.

Перв. примен.		ИУ4.11.03.03.21.63.14.001		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
								Документация		
				A3			ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 СБ	Сборочный чертёж		
				A3			ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 Э1	Схема электрическая структурная		
				A3			ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 Э2	Схема электрическая функциональная		
				A3			ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 Э3	Схема электрическая принципиальная		
				A4			ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 ПЭЭ	Перечень элементов		
Справ. И				A3			ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 ПД1	Алгоритм работы устройства		
				A3			ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 ПД1	Плакат демонстрационный		
				A2			ИУ4.11.03.03.23.05.53.12.002	Плата печатная		
								Детали		
					1		ИУ4.11.03.03.23.05.53.12.002	Плата печатная	1	
								Прочие изделия		
								Чип-конденсаторы керамические		
					2			K10-16B-5,1нФ1±5%(Murata, Япония)	2	С1,С2
					3			K10-16B-100нФ±10%(Murata, Япония)	10	С3,С16...С18,С25
										С20...С23,С27
					4			K10-16B-4.7мкФ±10%(Murata, Япония)	5	С6,С12...С14
					5			K10-16B-47нФ±5%(Murata, Япония)	1	С4
					6			K10-16B-3.6нФ¼5%(Murata, Япония)	1	С5
					7			K10-16B-68нФ¼5%(Murata, Япония)	3	С7,С15,С30
					8			K10-16B-6.2нФ¼5%(Murata, Япония)	1	С8
					9			K10-16B-4нФ¼5%(Murata, Япония)	1	С9
					10			K10-16B-3.3нФ¼5%(Murata, Япония)	1	С10
					11			K10-16B-2.4нФ¼5%(Murata, Япония)	2	С11,С19
					12			K10-16B-0.47мкФ¼10%(Murata, Япония)	1	С24
					13			K10-16B-33нФ¼10%(Murata, Япония)	3	С26,С28,С29
								ИУ4.11.03.03.21.63.14.001		
				Изм.	Лист		№ докум.	Подп.	Дата	
				Разраб.	Круглов В. С.					
				Пров.	Чистяков М. Г.					
				Н.контр.						
				Утв.						
				LoRa-USB адаптер				Лит.		
				спецификация				Лист		
								Листов		
								1		
								2		
								МГТУ им. Н. Э. Баумана		
								Кафедра ИУ4		
								Группа ИУ4-63Б		

Рисунок 8.2.1 –Первая страницы спецификации устройства

СП устройства LoRa-USB адаптера разработана в соответствии с ГОСТ 2.106 и состоит из следующих разделов в соответствующей последовательности:

- Документация.
- Детали.
- Прочие изделия.

В раздел «Документация» внесены все документы, составляющие основной комплект конструкторских документов специфицируемого изделия, кроме самой спецификации, а также документы основного комплекта записываемых в спецификацию неспецифицируемых составных частей (деталей), кроме их рабочих чертежей.

В раздел «Детали» была внесена деталь, непосредственно входящая в специфицируемое изделие – плата печатная.

Раздел «Прочие изделия» схож по наполнению с перечнем элементов (ПЭЗ), за исключением того, что запись изделий в пределах каждой группы происходит в алфавитном порядке наименований изделий, а обозначения УГО элементов записываются в графу «Примечание».

Вывод

В данном разделе был разработан технологический маршрут сборки устройства. Был разработан сборочный чертеж, в соответствии с которым должна производиться сборка прототипа устройства. Была указана методика осуществления контроля паяных соединений.

Таким образом, результатом раздела является пакет конструкторской документации на сборку макета устройства, в который входят:

- Сборочный чертеж устройства.
- Спецификация.

9 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ “LORA-USB АДАПТЕР”

Для данного устройства был разработан алгоритм работы (ПД1) на основе прерываний. Устройство ожидает получения передаваемых данных по UART, после чего или немедленно их отправляет, или ожидает события окончания передачи.

Разработанный алгоритм представлен на рисунке 9.1 и на чертеже ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 ПД1.

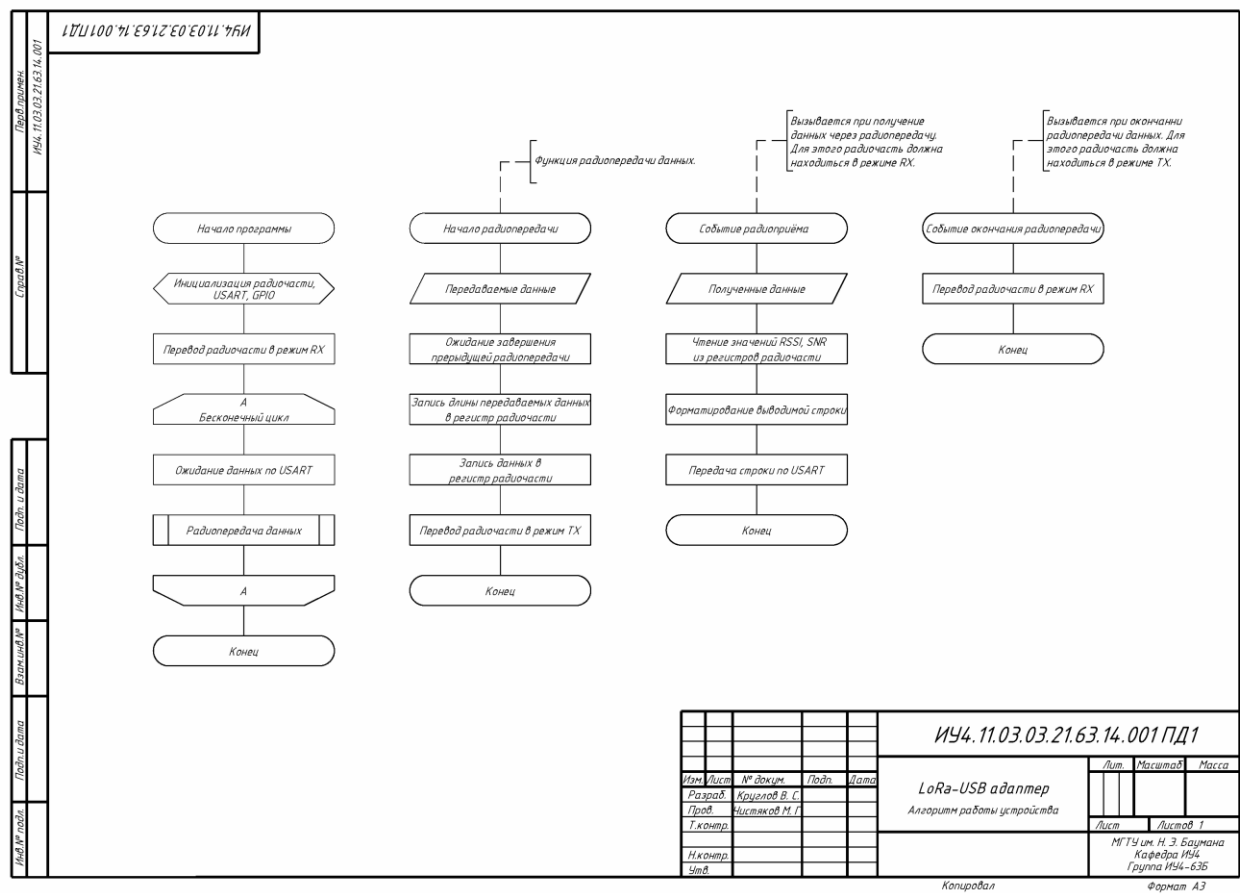


Рисунок 9.1 – Алгоритм работы программного обеспечения устройства

Программное обеспечение было разработано в среде разработки STM32CubeIDE с помощью библиотеки HAL.

Настройки выводов микроконтроллера представлены на рисунке 9.2.

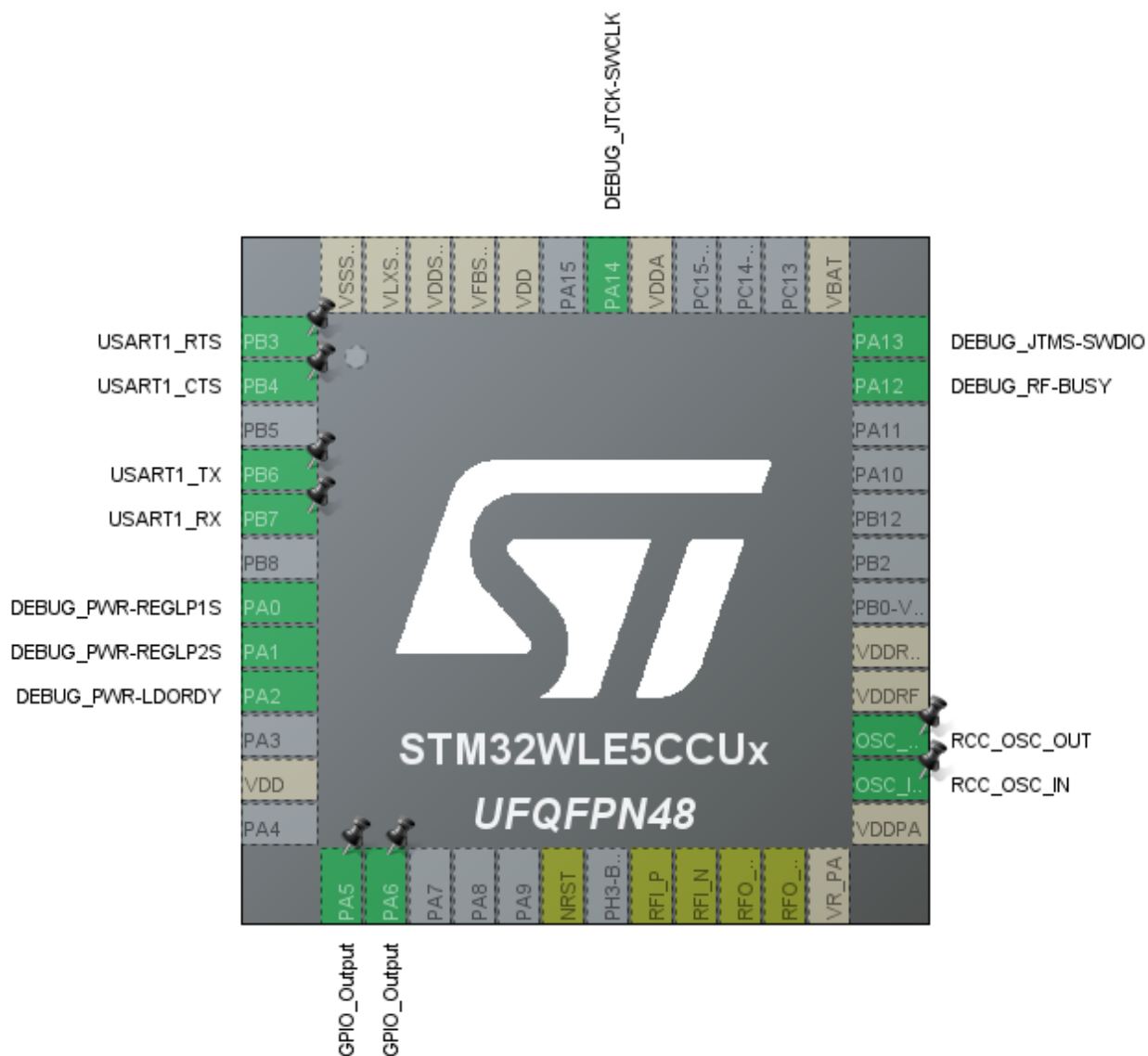


Рисунок 9.2 – Конфигурация выводов микроконтроллера

Вывод

В данном разделе был разработан алгоритм работы программного обеспечения, который позволяет осуществлять обработку данных. Данный алгоритм является оптимальный с точки зрения потребления памяти и скорости работы.

10 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА

Целью данного раздела является экспериментальное исследование устройства для выявления некорректного поведения программной или аппаратной части.

Исследование производилось в соответствии с разработанной схемой измерительного стенда (ПД2). Схема представления на рисунке 9.1 и на чертеже ИУ4.11.03.03.21.63.14.001 ПД1.

Было проведено исследование работы аналоговой части устройства, а именно цепей спектрограммы эфира во время передачи данных. Исследование проводилось в соответствии с разработанной схемой измерительного стенда, представленной на рисунке 10.1.

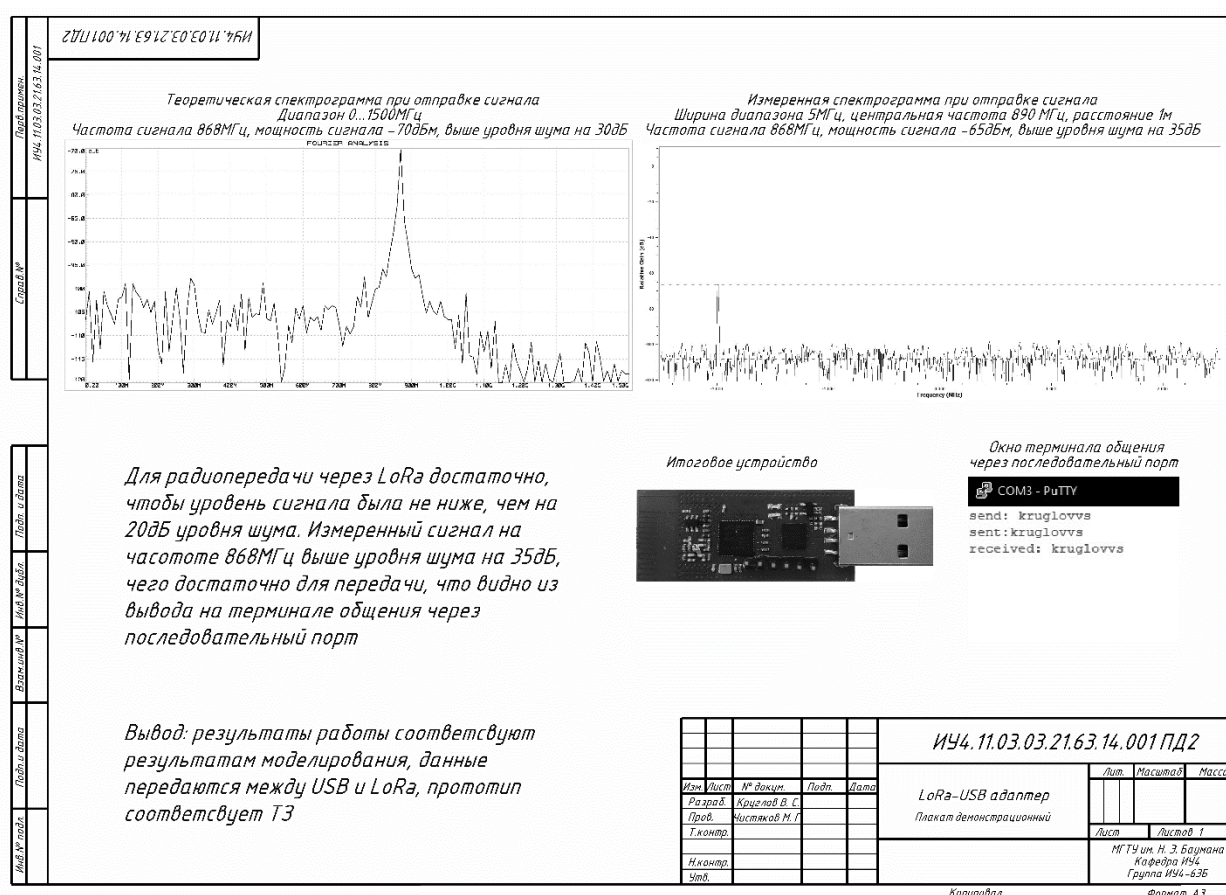


Рисунок 10.1 – Сравнение моделирование и эксперимента

Измерения были проведены с помощью SDR в режиме непрерывного сканирования эфира. Выполнено сравнение получившихся значений с результатами моделирования данной цепи. Значения частот передачи совпадают, выведенные в терминал сообщения совпадают.

Вывод

В результате данного раздела было подтверждено корректное функционирование алгоритма и правильность работы цепей с транзисторами и, как следствие, всего устройства в целом. По результатам данного тестирования можно сделать вывод что устройство удовлетворяет требованиям ТЗ, с точки зрения корректности и качества работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе курсового проекта спроектировано, разработано, собрано и протестировано устройство «LoRa-USB адаптер», полностью удовлетворяющее выданному ТЗ. Разработана схема электрическая структурная (Э1), схема электрическая функциональная (Э2), на основе этих схема разработана электрическая принципиальная схема (Э3).

Также было проведено моделирование устройство, по результатам которого было подтверждено корректное функционирование устройства. Представлена принципиальная схема работы устройства, представлено обоснование выбора элементной базы устройства и составлен перечень элементов (ПЭЗ).

Произведено проектирование печатной платы и ее изготовление в соответствии с принципиальной схемой и схемой трассировки. Представлен чертеж печатной платы. Была разработана спецификация и сборочный чертеж устройства, а также технологический маршрут его сборки.

Полученное в ходе разработки устройство способно корректно выполнять функции в соответствии с полученными через USB данными. Также стоит отметить положительные качества устройства, такие как компактность и простота управления. Благодаря использованию современной компонентной базы и оптимизации схемотехнических решений, устройство компактно по размеру и имеет низкое энергопотребление, что делает его удобным в использовании и транспортировки. Интерфейс устройства «LoRa-USB адаптер» разработан таким образом, что управление интуитивно понятно.

Из отрицательных качеств можно выделить малую мощность передачи вследствие малых габаритов антенны и сложность пайки малых компонентов.

Разработанное устройство может быть использовано в качестве средства коммуникации или в образовательных целях для изучения и отладки LoRa-WAN сетей. Задание на курсовую работу считаю выполненным в полном объеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] М. Х. Джонс. Электроника – практический курс. Москва: Постмаркет, 1999. – 528с.
- [2] ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению (с поправкой).
- [3] ГОСТ 2.702-2011 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем.
- [4] Монк, Саймон. Электроника. Теория и практика – 4-е изд.: Пер. с англ./ Саймон Монк, Пауль Шерц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 1168 с.:ил. – (Электроника)
- [5] Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – 5-е изд, перераб _ М.: Мир, 1998. – 704 с., ил.
- [6] Семенцов С.Г., сборник лекции по курсу “Основы аналого-цифровой схемотехники”.
- [7] ГОСТ 23752-79 Платы печатные. Общие технические условия (С изменениями №1-5).
- [8] ГОСТ Р 53429-2009 Платы печатные. Основные параметры конструкции.
- [9] ГОСТ 10316-78 Гетинакс и стеклотекстолит фольгированные. Технические условия (с Изменениями №1-6).
- [10] ГОСТ 21930-76 Припои оловянно-свинцовые в чушках. Технические условия (с Изменениями №1,2,3,4).
- [11] ГОСТ 11284-75 Отверстия сквозные под крепежные детали. Размеры (С изменением №1)
- [12] ГОСТ 29137-91 Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования.

- [13] ГОСТ 23592-96 Монтаж электрический радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Общие требования к объемному монтажу изделий электронной техники и электротехнических.
- [14] ГОСТ 18300-87 Спирт этиловый ректификованный технический. Технические условия.
- [15] ГОСТ 24715-81 Соединения паяные. Методы контроля качества.
- [16] ГОСТ 2.106 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы (с Изменением №1).
- [17] Проектирование коммутационных структур электронных средств: учеб. пособие / В.Н. Гриднев, Г. Н. Гриднева – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014 – 344 с.: ил. (Библиотека “Конструирование и технология электронных средств” в 25 кн. Кн.7).