

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Радіочастотний трансивер діапазону 850-950 МГц

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАС-41

спеціальності 172 Електронні комунікації та

радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Степований Д.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яворський Б.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Марценюк А.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дедів Л.Є.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис) (прізвище та ініціали)

«03» червня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Степановому Денису Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Радіочастотний трансивер діапазону 850-950 МГц

Керівник роботи Яворський Богдан Іванович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 03 » 06 2024 року № 4/7-581

2. Термін подання студентом завершеної роботи 13.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи передачі сигналу $f=900\pm2$ МГц; вихідна потужність сигналу $P_{с.вих}=4,5$ dB; девіація частоти, не більше $\Delta f=3\pm0.1$ кГц; споживана потужність < 5 Вт; живлення від акумуляторних батарей напругою до 4,5 В

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

аналіз технічного завдання; аналіз схемних рішень виконання виробу;

розроблення схеми структурної виробу, схеми електричної принципової,

розрахунок номіналів елементів схеми електричної принципової; конструювання виробу,

а саме: обґрунтування вибору елементної бази, трасування друкованої плати,

розробка компоновки друкованого вузла.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема;
2. Схема електрична принципова;
3. Друкована плата;
4. Друкований вузол;

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Степований Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Яворський Б.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Радіочастотний трансивер діапазону 850-950 МГц». Кваліфікаційна робота бакалавра // ТНТУ імені Івана Пулюя, ФПТ, група РАС-41. // Тернопіль, 2024р. //с.- 60, рис.- 23, бібліог.- 21, додат.- 3.

Ключові слова: ТРАНСИВЕР, РАДІОКАНАЛ, МОДУЛЯЦІЯ.

В роботі проведено розробку Радіочастотного трансивера діапазону 850-950 МГц.

Проаналізовано характеристики, можливості та способи реалізації трансиверів на основі мікросхем nRF24AP1, T2803, MAX2837, AT86RF215 та TRF6900. Мікросхему TRF6900 використано для розробки трансивера. На основі стандартних та пропонованих виробником рішень було розроблено схему структурну та електричну такого трансивера. Також додатково в схемі було реалізовано інтерфейс на основі мікросхеми MAX3232. Також було вибрано решту елементів, необхідних для роботи схеми та проведено трасування друкованої плати. В середовищі Автокад оформлено відповідні креслення для відповідності стандартам та технічним вимогам до конструкторської документації.

ANNOTATION

Theme of qualification work : "Radio frequency transceiver in the range of 850-950 MHz". // Ternopil, 2024. // p.- 60, fig.- 23, bibliog.- 21, appendix- 3.

Keywords: TRANSCEIVER, RADIO CHANNEL, MODULATION.

In the work, the development of a radio frequency transceiver in the range of 850-950 MHz was carried out.

The characteristics, possibilities and methods of implementation of transceivers based on nRF24AP1, T2803, MAX2837, AT86RF215 and TRF6900 microcircuits are analyzed. The TRF6900 chip was used to develop the transceiver. On the basis of standard and solutions proposed by the manufacturer, the structural and electrical scheme of such a transceiver was developed. Additionally, an interface based on the MAX3232 chip was implemented in the scheme. The rest of the elements necessary for the operation of the circuit were also selected and PCB was traced. In the AutoCAD environment, appropriate drawings are drawn up to comply with standards and technical requirements for design documentation.

Зміст

Вступ	7
1 Основна частина	9
1.1 Аналіз завдання	9
1.2 Огляд аналогів та вибір структурної схеми пристрою	9
1.3 Проєктування та аналіз схемних рішень виконання трансивера	36
1.4 Вибір елементної бази	39
1.5 Розробка компоновки та монтажу друкованої плати пристрою	39
1.6 Висновки до розділу 1	47
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	49
2.1. Електробезпека при роботі з трансивером	49
2.2. Долікарська допомога при шоку	51
2.3 Висновки до розділу 2	56
Висновки	57
Список використаних джерел	58
Додатки	

					СДВ 2.893.001 ПЗ						
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Радіочастотний трансивер діапазону 850-950 МГц			Лім	Аркуш	Аркушів	
Розроб.		Степований Д.В.						у	6	51	
Перевір.		Яворський Б.І.						ТНТУ, РАс-41			
Н. контр.		Марценюк А.С.									
Зат. каф.		Дунець В.Л.									
Рецензент		Дедів Л.Є.									

Вступ

У радіозв'язку трансивер - це електронний пристрій, який є комбінацією радіопередавача та приймача.

Однокристальні трансивери, що працюють в радіодіапазоні загального користування, вже отримали досить велике поширення. Такі трансивери можна зустріти як у побутових пристроях (бездротові миші, керування гаражними воротами, спортивні додатки тощо), так і в промисловій сфері (бездротові датчикові мережі, дистанційний моніторинг та керування).

Зараз можна зустріти досить багато виробників компонентів для побудови систем бездротового зв'язку. Найбільш поширеними та перспективними є так звані однокристальні трансивери: об'єднання всіх необхідних вузлів приймача в одному корпусі мікросхеми. Важливим чинником у виборі такого трансивера є наявність апаратного протоколу передачі. Він у свою чергу вибирається з урахуванням вихідного завдання передачі для конкретного пристрою. Насамперед, використовуваний протокол визначає підтримку тих чи інших типів бездротових мереж.

Як правило, сучасні однокристальні трансивери поділяються на дві групи: трансивери, що підтримують прості мережі («точка-точка», «зірка», мережі із загальним каналом і широкомовні мережі) і більш досконалі рішення, що підтримують мережі складного типу. У мережах складного типу кожен вузол може маршрутизувати пакети даних від іншого вузла (динамічна маршрутизація даних), також забезпечується динамічна переконфігурація мережі (що дуже важливо при виході з ладу одного або декількох вузлів мережі або при частому додаванні/видаленні вхідних у мережу пристроїв). Ще однією відмітною ознакою складної мережі – у ній є більше одного хоста - активного вузла мережі, що ініціює обмін даними між рештою вузлів мережі.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		7

В роботі власне проводиться розробка радіочастотного трансивера діапазону 850-950 МГц з використанням однокристальної мікросхеми.

Практична цінність. Отримані результати можна застосувати при реалізації недорогих, економічних та малогабаритних трансиверів загального призначення.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						8
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

1 Основна частина

1.1 Аналіз завдання

В роботі здійснено побудову радіочастотного трансивера діапазону 850-950 мГц. Пристрій повинен забезпечувати ряд характеристик, а саме:

- амплітуда вхідного сигналу, в межах $U_{\text{вх}} = -0.6 \div 4.5 \text{ мВ}$
- частота передачі сигналу $f = (850-950) \text{ МГц} \pm 2 \text{ МГц}$;
- вихідна потужність сигналу $P_{\text{с.вих}} = 4,5 \text{ дВ}$;
- девіація частоти, не більше $\Delta f = 3 \pm 0.1 \text{ кГц}$;
- споживана потужність, не більше 5 Вт ;
- живитися пристрій повинен від акумуляторних батарей, напругою до $4,5 \text{ В}$

1.2 Огляд аналогів та вибір структурної схеми пристрою

На сьогодні існує величезна кількість схемних рішень побудови трансиверів. Однак, найбільший інтерес становить використання однокристальних варіантів, які відрізняються мініатюризацією кінцевого виконання, надійністю та низькою вартістю. Проведемо огляд таких інтегральних схем.

Однокристальні трансивери (приймачі), що працюють в радіодіапазоні загального користування (ISM), вже отримали досить велике поширення. Такі трансивери можна зустріти як у побутових пристроях (бездротові миші, керування гаражними воротами, спортивні додатки тощо), так і в промисловій сфері (бездротові датчикові мережі, дистанційний моніторинг та керування).

Зараз можна зустріти досить багато виробників компонентів для побудови систем бездротового зв'язку. Найбільш поширеними та

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		9

перспективними є так звані однокристальні трансивери: об'єднання всіх необхідних вузлів приймача в одному корпусі мікросхеми. Важливим чинником у виборі такого трансивера є наявність апаратного протоколу передачі. Він у свою чергу вибирається з урахуванням вихідного завдання передачі для конкретного пристрою. Насамперед, використовуваний протокол визначає підтримку тих чи інших типів бездротових мереж.

Як правило, сучасні однокристальні трансивери поділяються на дві групи: трансивери, що підтримують прості мережі («точка-точка», «зірка», мережі із загальним каналом і широкомовні мережі) і більш досконалі рішення, що підтримують мережі складного типу. У мережах складного типу кожен вузол може маршрутизувати пакети даних від іншого вузла (динамічна маршрутизація даних), також забезпечується динамічна переконфігурація мережі (що дуже важливо при виході з ладу одного або декількох вузлів мережі або при частому додаванні/видаленні вхідних у мережу пристроїв). Ще однією відмітною ознакою складної мережі – у ній є більше одного хоста - активного вузла мережі, що ініціює обмін даними між рештою вузлів мережі. Для реалізації мереж простого типу виробники трансиверів нерідко винаходять власні протоколи, оскільки це досить просто. Розробка протоколу для реалізації складних мереж - справа непросте, тому протоколи обміну даними для подібних типів мереж найчастіше розробляються окремими компаніями. Наприклад можна навести такі протоколи, як WLAN (802.11b), ANT.

Мікросхема nRF24AP1 – однокристальний трансивер з інтегрованим протоколом ANT

Це порівняно нова розробка компанії Nordic Semiconductor. Принциповою особливістю цього трансивера є наявність повністю інтегрованого протоколу обміну даних, що не вимагає ніяких зовнішніх ресурсів. Цей протокол ANT розроблений Dynastream Innovations. Він цілком

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		10

здатний конкурувати з такими популярними інтерфейсами, як Bluetooth, що працюють за протоколом 802.15.

В однокристальний трансивер nRF24AP1 інтегрований повністю апаратно реалізований протокол ANT, синтезатор частоти, підсилювач потужності, модулятор та кварцовий генератор для цифрового інтерфейсу (рис. 1.1). Трансивер має цифровий послідовний інтерфейс, що має можливість працювати в синхронному та асинхронному режимі для підключення до керуючого мікроконтролера.

Мікросхема nRF24AP1 розроблена для живлення від дискового акумулятора (наприклад, CR2032). Середній струм споживання - близько 30 мкА в режимі роботи як типовий бездротовий датчик. Це досягається дуже коротким часом роботи трансивера в режимі передачі або прийому і мізерно малим (порядку 2 мкА) струмом споживання мікросхеми в режимі очікування. Коротке пікове споживання струму в режимі передачі/приймання повідомлення також позитивно позначається на динаміці розряду батареї.

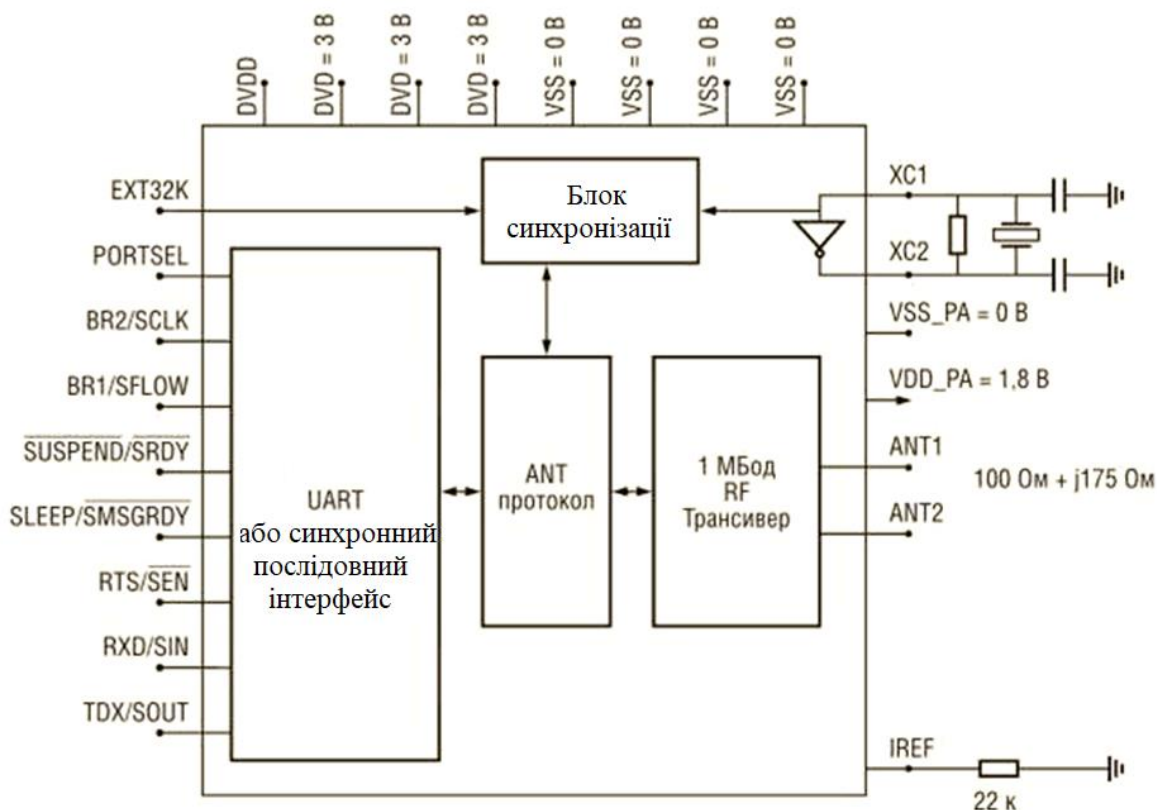


Рисунок 1.1 – Структурна схема трансивера nRF24AP1

Для трансивера потрібна незначна кількість зовнішніх елементів. Він може забезпечити передачу безперервного потоку даних зі швидкістю до 20 Кбод (наприклад, підключеного за послідовним інтерфейсом мікроконтролера). Весь процес організації передачі даних (створення підключення та ідентифікація в мережі, формування пакетів, контроль CRC і втрати пакетів тощо) трансивер бере на себе. Потрібно лише налаштувати трансивер за послідовним інтерфейсом після включення живлення: вибрати тип створюваної бездротової мережі, частотний канал, вихідну потужність передавача і частоту передачі/прийому повідомлень. Завдяки простоті налаштування трансивера в якості керуючого може бути обраний найпростіший недорогий 4- або 8-бітний мікроконтролер.

Високочастотна частина трансивера також вимагає мінімальної кількості зовнішніх компонентів. Для отримання максимальної потужності передавача (0 дБм) необхідно використовувати антенний тракт з активним опором 100 Ом та індуктивним 175 Ом. Для використання антени з нижчим імпедансом (наприклад, 50 Ом) може бути використана найпростіша узгоджувальна схема. Наприклад на рис. 3 наведено принципову схему трансивера на базі nRF24AP1 для використання із зовнішньою 50-омною штирьовою антеною.

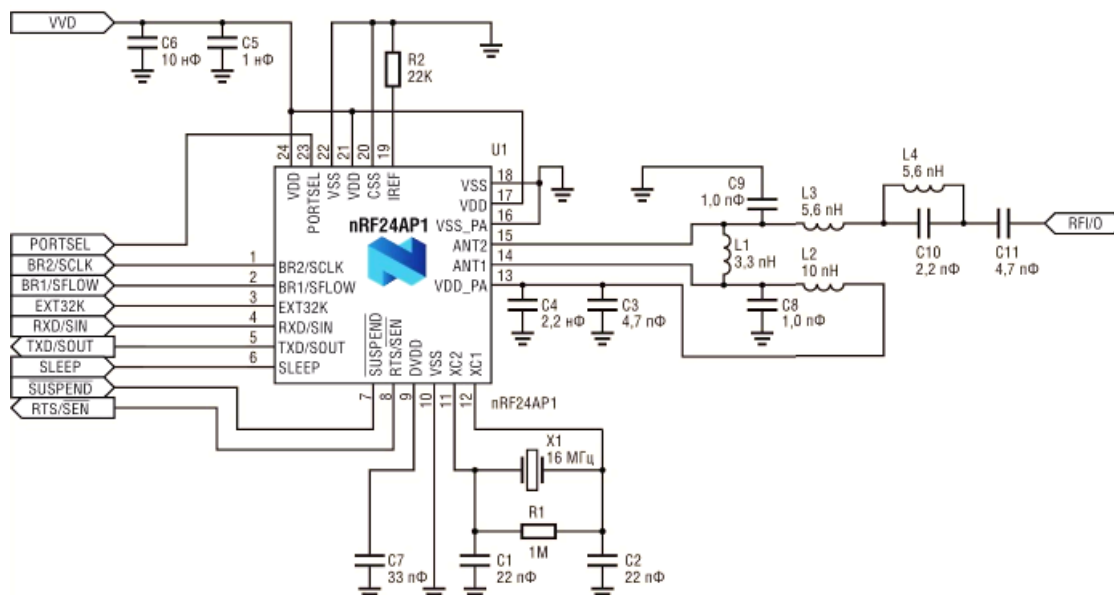


Рисунок 1.2 – Принципова схема трансивера на базі мікросхеми nRF24AP1 із зовнішньою 50-омною штирьовою антеною

Також добре підходить для використання антена друкованого виконання. Вона має ряд недоліків порівняно із зовнішньою штирьовою (менший коефіцієнт підсилення, менш зручна діаграма спрямованості, неможливість винесення за межі друкованої плати). Але її переваги очевидні: дрібна вартість і компактність. На сайті виробника трансивера викладені рекомендації та Gerber-файли для проектування друкованої антени для трансивера nRF24AP1. Використовуючи такий тип антени, можна досягти дальності роботи трансивера до 20 м при роботі на максимальній потужності передавача.

Варто також відзначити практичний корпус мікросхеми трансивера (QFN24): він має розміри 5x5 мм, його виводи запресовані, і їх неможливо пошкодити при монтажі. Крім того, виводи не закриті з торців корпусу, що спрощує монтаж/демонтаж мікросхеми вручну. Пристрій, побудований за наведеною принциповою схемою, при застосуванні в ланцюгах обв'язування компонентів типорозміру 0603 досить компактно.

Таким чином, трансивер nRF24AP1, маючи широкі функціональні можливості, простий цифровий інтерфейс, дуже малий струм споживання та незначну кількість зовнішніх елементів, ідеальний для недорогих компактних автономних пристроїв, що входять до складу бездротової мережі складного типу.

Інша розробка компанії Nordic Semiconductor - однокристальний трансивер nRF24L01. Головна його особливість - можливість обмінюватися даними зі швидкістю до 2000 Кбод в радіочастотному діапазоні 2,4 ГГц з повним апаратним контролем даних, що передаються. Це є революцією серед мікросхем такого класу. Так, наприклад, дуже схожий за іншими параметрами однокристальний трансивер CC2500 виробництва компанії ChipCon має максимальну швидкість передачі всього 500 Кбод. Також трансивер nRF24L01 відрізняється досить низькою ціною. Структурна схема цього трансивера наведена на рис. 6.

Принципова схема підключення, а також зовнішні ланцюги та компоненти трансивера nRF24L01 практично не відрізняються від схеми підключення nRF24AP1. У трансивері nRF24L01 застосовано апаратний протокол - Enhanced ShockBurst™, який дозволяє організувати цифровий інтерфейс з керуючим мікроконтролером по послідовній шині SPI. Цей протокол є удосконаленням протоколу ShockBurst™. Основною відмінністю вдосконаленого протоколу є можливість організувати просту та ефективну передачу даних зі зворотним зв'язком. У режимі двонаправленого зв'язку приймаюча сторона може посилати підтвердження прийому пакета стороні, що передає, що в трансивері nRF24L01 реалізовано апаратно.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		14

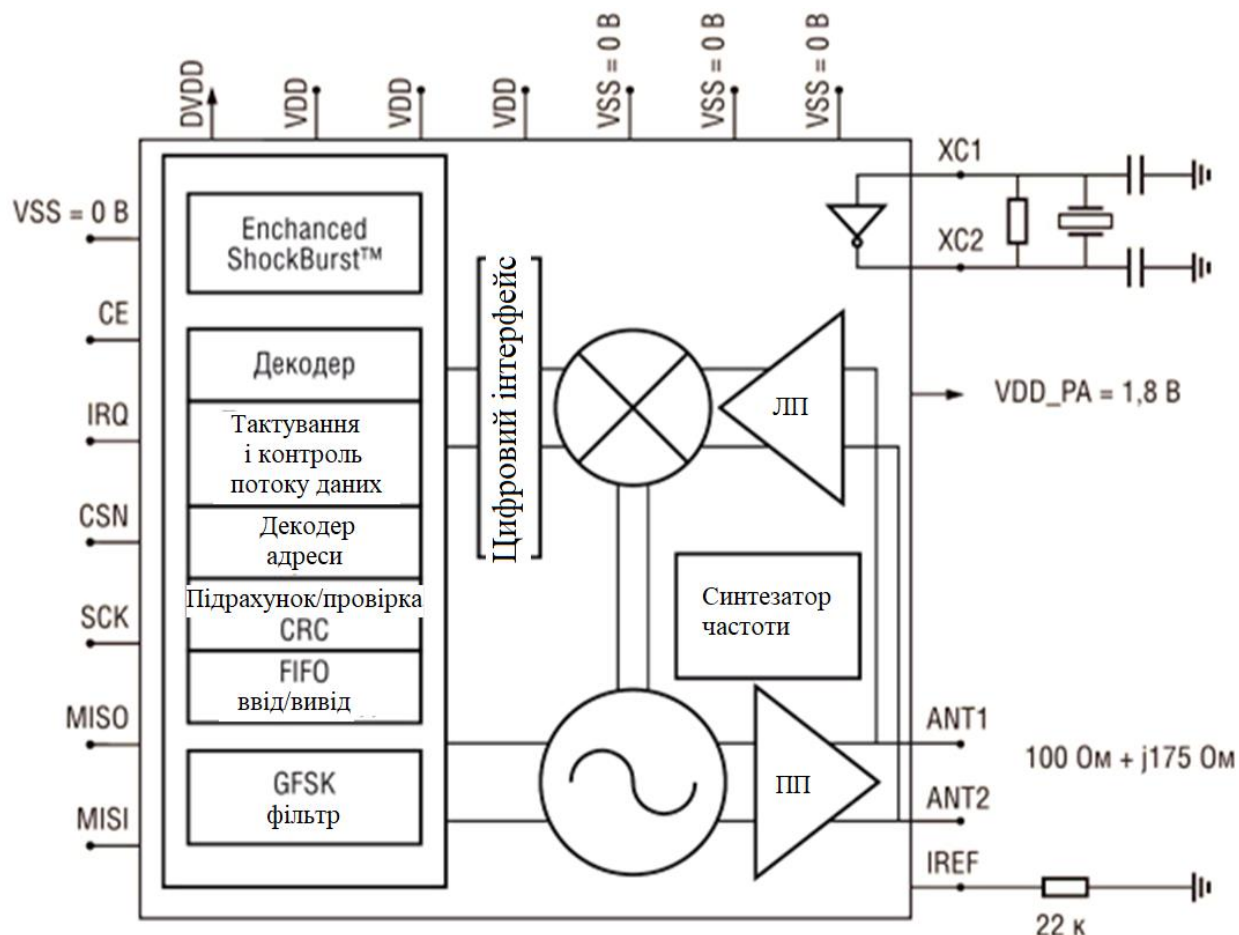


Рисунок 1.3 – Структурна схема трансивера nRF24L01

Технологія передачі даних у nRF24L01 наступна. Аналізуючи адресу прийнятого пакета, приймач розпізнає, від якого передавача цей пакет прийшов. Як тільки приймач успішно приймає та ідентифікує пакет даних, він надсилає пакет підтвердження прийому з такою ж адресою, як і прийнятий пакет. Якщо передавач не отримує цього підтвердження, він надсилає пакет даних повторно. Кількість повторних спроб передачі пакета можна задавати програмно при конфігурації трансивера. Якщо відправити пакет так і не вдалося, генерується переривання для контролера, а в регістрі статусу трансивера встановлюється біт MAX_RT. Для успішної передачі пакета також виробляється сигнал переривання (висновок TX_DS IRQ), а FIFO-буфер, що передає, очищається.

Однією із поширених є інтегральна схема та трансивер на базі T2803. Це є однокристальний трансивер для діапазону WDECT/ISM 2.4 ГГц.

Відмінні особливості:

Напруга живлення 3В-4.6В (стабілізована)

Вбудований допоміжний стабілізатор напруги (3.2В-4.6В)

Малий споживаний струм

Декілька зовнішніх компонентів

Не потрібне механічне налаштування

Підтримка кількох частот синхронізації (10.368МГц/13.824МГц)

Синтезатор із швидкою стабілізацією (рознесення каналів 864 кГц)

Підсилювач передачі з вихідною потужністю 3 дБм на частоті 2.45 ГГц (4 програмовані рівні потужності)

Генератор лінійно-змінної напруги для лінійної зміни та управління потужністю зовнішнього підсилювача потужності, виконаного за технологією SiGe (T7024 та T7026)

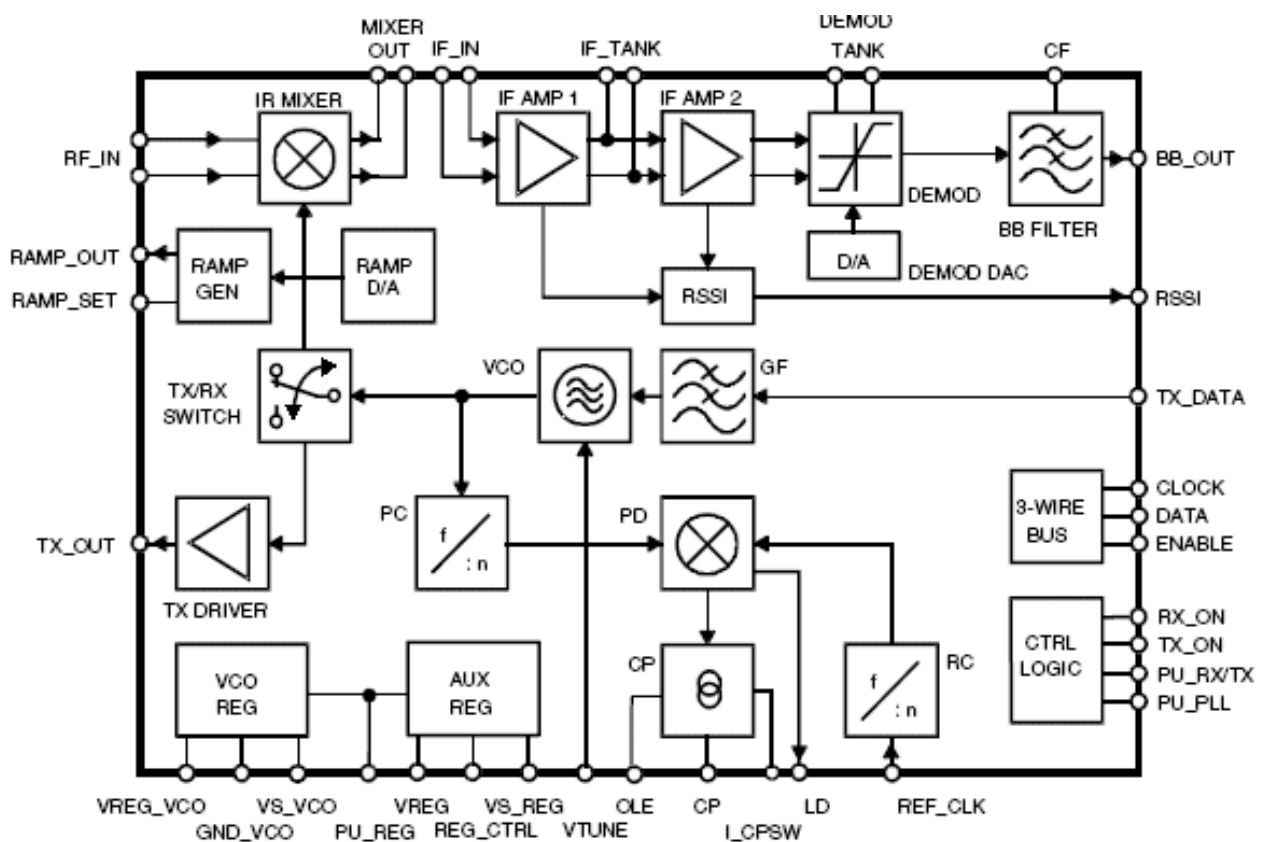


Рисунок 1.4 – Структурна схема T2803

T2803 - інтегральна схема РЧ-трансивера для побудови малопотужних пристроїв передачі в частотному діапазоні ISM 2.45ГГц. Усі компоненти трансивера, у т.ч. змішувач придушення перешкод по дзеркальному каналу, підсилювач ПЧ, ЧС-демодулятор, фільтр основної частоти, індикатор рівня сигналу RSSI, підсилювач передачі, генератор лінійно-змінної напруги для управління потужністю зовнішнього підсилювача, синтезатор, ГКН і гауссів фільтр даних в каналі передачі поміщені в корпус QFN48.

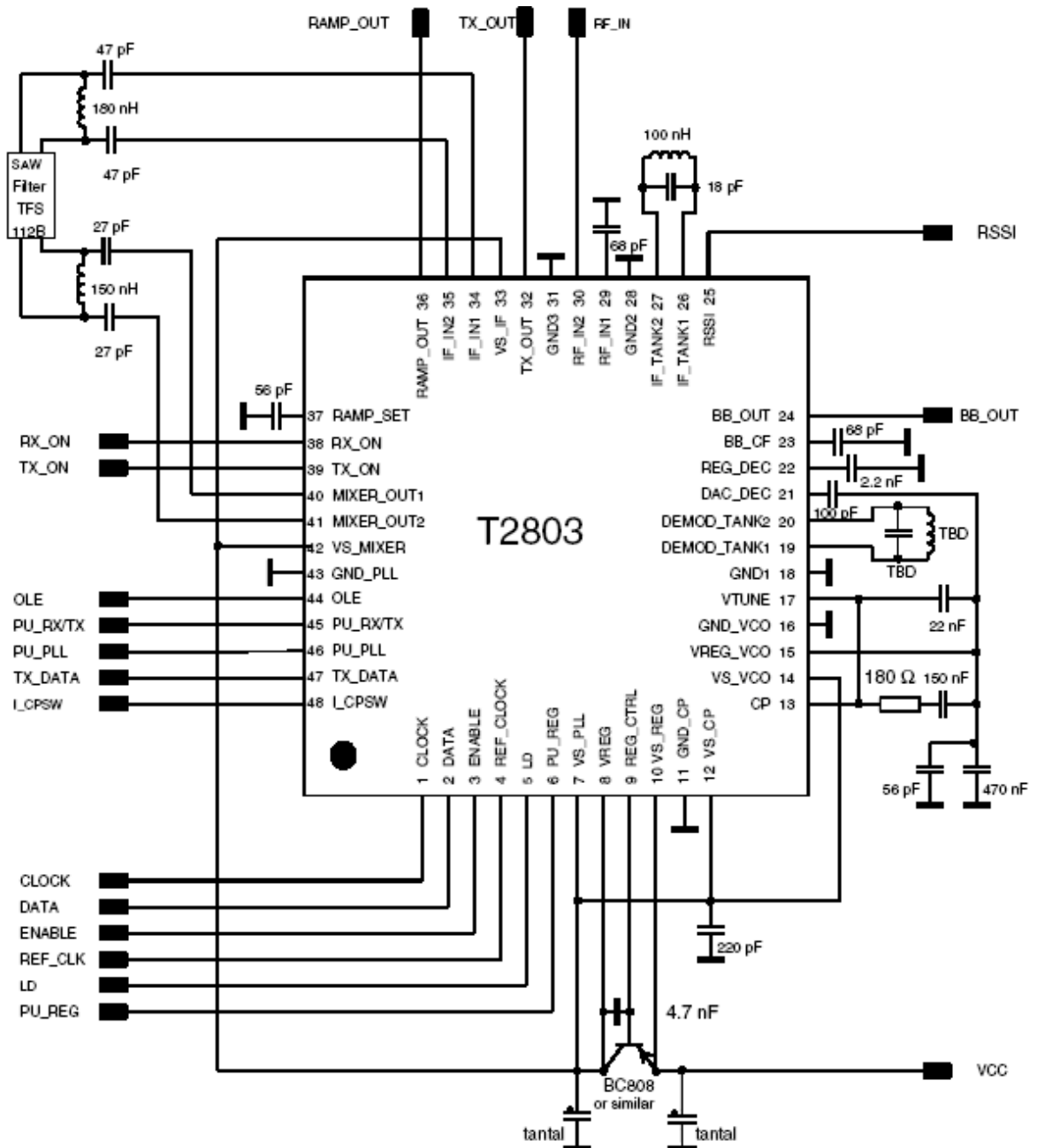


Рисунок 1.5 – Типова схема включення T2803

Наступна мікросхема MAX2837 – це однокристальний WiMAX РЧ-трансивер для діапазону 2.3...2.7ГГц

Відмінні особливості:

Робота в діапазоні 2.3...2.7 ГГц

Повністю інтегровані РЧ трансивер, драйвер підсилювача потужності та кварцовий генератор

0dBm лінійної потужності OFDM передачі

-70dBm спектральної випромінювальної маски передавача

2.3dB коефіцієнта шуму приймача

Визначення помилок I/Q у каналах прийому та передачі, а також визначення розсіювання LO

Монолітний малoshумливий ГКН із внутрішнім фазовим шумом -39dBc

Програмований фільтр I/Q у каналі передавача

Сигма-дельта N-дробова архітектура ФАПЧ з дискретністю 20 Гц

Діапазон регулювання рівня переданого сигналу 45 дБ

Діапазон регулювання чутливості до прийому 94 дБ

Аналоговий індикатор рівня сигналу (RSSI) з динамічним діапазоном 60 дБ

4-провідний цифровий інтерфейс SPI™

Аналоговий I/Q-інтерфейс

Кварцовий генератор із цифровим підстроюванням

Зчитування вбудованого датчика температури

Напруга живлення трансивера +2.7...+3.6В

Режим відключення для зниження споживаного струму

Мініатюрний 48-вивідний корпус Thin QFN

MAX2837 – трансивер, виконаний по архітектурі прямого перетворення з нульовою ПЧ. Він розроблений спеціально для систем радіозв'язку діапазону 2.3...2.7 ГГц. MAX2837 повністю інтегрує всю схему, необхідну для реалізації

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						18
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

функцій РЧ трансивера, зокрема тракт приймача, тракт передавача, ГКН, синтезатор частоти, кварцовий генератор та інтерфейс керування. Мікросхема містить швидкодіючий сигма-дельта РЧ синтезатор з роздільною здатністю 20 Гц і кварцовий генератор, який замість термостабілізованого кварцового генератора дозволяє використовувати недорогий кварцовий резонатор. ІС трансивера також містить схеми компенсації внутрішніх зсувів та виявлення помилок I/Q та розсіювання несучої. Для отримання завершеного рішення потрібні лише РЧ смуговий фільтр (BPF), кварцовий резонатор, РЧ ключ, підсилювач потужності та невелика кількість пасивних компонентів.

MAX2837 повністю виключає необхідність застосування зовнішнього ПАР фільтра. Це стало можливим завдяки інтегруванню монолітних фільтрів, як у приймачі, так і в передавачі. Смугові фільтри, а також тракти прийому та передачі оптимізовані під задоволення жорстких вимог щодо коефіцієнта шуму та лінійності. ІС підтримує до 2048 FFT OFDM та підтримує можливість програмування ширини РЧ каналу від 1.75МГц до 28 МГц. Для перемикання між режимами прийом-передача трансиверу потрібно лише 2 мкс (з урахуванням встановлення частоти). ІС поставляється в мініатюрному 48-вивідному корпусі TQFN з розмірами лише 6мм x 6мм x 0.8мм.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						19
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Інтерфейс керування трансивером: SPI (послідовний периферійний інтерфейс)

Підтримувані PHY ("власний")

- МР-ФСК

Швидкість символів: 50, 100, 150, 200, 300*, 400 тис. символів/с

Швидкість 1/2-FEC: RSC і NRNSC, з чергуванням і без нього

Двонаправлені порти диференціального радіочастотного сигналу для:

Діапазон I: 433/470/780/863/868/915/917/920 МГц

Діапазон II: 2450 МГц

Одночасна робота трансивера нижче 1 і 2,4 ГГц
Окремий буфер кадрів
RX і TX на 2 Кбайт

Підтримка IEEE MAC

Рамковий фільтр (IEEE Std 802.15.4-2006)

Обробка FCS

Автоматичне підтвердження (IEEE Std 802.15.4-2006)

Програмована вихідна потужність передачі до +14,5 дБм при діапазоні 900 МГц

Коефіцієнт шуму нижче 5 дБ для трансивера нижче 1 ГГц і 2,4 ГГц

Чутливість приймача до -123 дБм при 6,25 кбіт/с MR-O-QPSK

Характеристики радіоприймача

Інтегрований перемикач TX/RX, LNA, контурний фільтр PLL і керування радіочастотним інтерфейсом

ФАПЧ із швидким встановленням із підтримкою стрибкоподібної зміни частоти

Автоматичне калібрування фільтра

Індикатор рівня отриманого сигналу/виявлення енергії

Справжній генератор випадкових чисел

Низька напруга живлення 1,8-3,6 В

Внутрішні регулятори напруги та монітор батареї

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						21
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Режими зниженого енергоспоживання (RPC) для MR-FSK і MR-OQPSK
Низьке споживання струму (включаючи обробку основної смуги / без інтерфейсу I/Q)

Глибокий сон 30nA

RX слухати 6..28mA (залежно від режиму RPC)

RX активний 28 мА

Вихідна потужність TX 62 мА при 14 дБм

Промисловий діапазон температур від -40°C до +85°C 48-контактний
низькопрофільний безсвинцевий пластиковий корпус QFN

AT86RF215 — це багатодіапазонний радіоприймач для різних діапазонів нижче 1 ГГц і діапазону 2,4 ГГц, спеціально розроблений для інтелектуального вимірювання та додатків, які впроваджують IEEE Std 802.15.4g™-2012, ETSI TS 102 887-1, Стандарт IEEE 802.15.4™-2015.

Пристрій складається з двох незалежних трансиверів, кожен з яких має власний базовий діапазон і інтерфейс даних I/Q. AT86RF215 включає в себе два трансивери і два ядра основної смуги, які утворюють дві незалежні радіосистеми. Трансивери добре інтегровані, що мінімізує кількість зовнішніх компонентів. Напруга живлення коливається від 1,8 В до 3,6 В. Як еталонний тактовий сигнал використовується генератор з регульованою температурою 26 МГц (TCXO) або кристалічний генератор (XTAL).

AT86RF215 забезпечує одночасний незалежний прийом у діапазонах нижче 1 ГГц і 2,4 ГГц. Доступ до кожного радіочастотного (РЧ) порту здійснюється за допомогою симетричних диференціальних пар сигналів. Оптимальна чутливість і вихідна потужність досягаються при диференціальному навантаженні 50Q. Пристрій пропонує високий бюджет зв'язку з максимальною вихідною потужністю передачі 14,5 дБм при 900 МГц і чутливістю до -123 дБм при MR-OQPSK-6,25 кбіт/с.

Пристрій управляється через швидкий послідовний периферійний інтерфейс (SPI). Спеціальне обладнання MAC, генератор випадкових чисел і

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		22

вбудований моніторинг батареї покращують загальну ефективність системи та час.

AT86RF215 може працювати із зовнішнім мікроконтролером (наприклад, Atmel SAM4 Family) та/або зовнішнім процесором основної смуги.

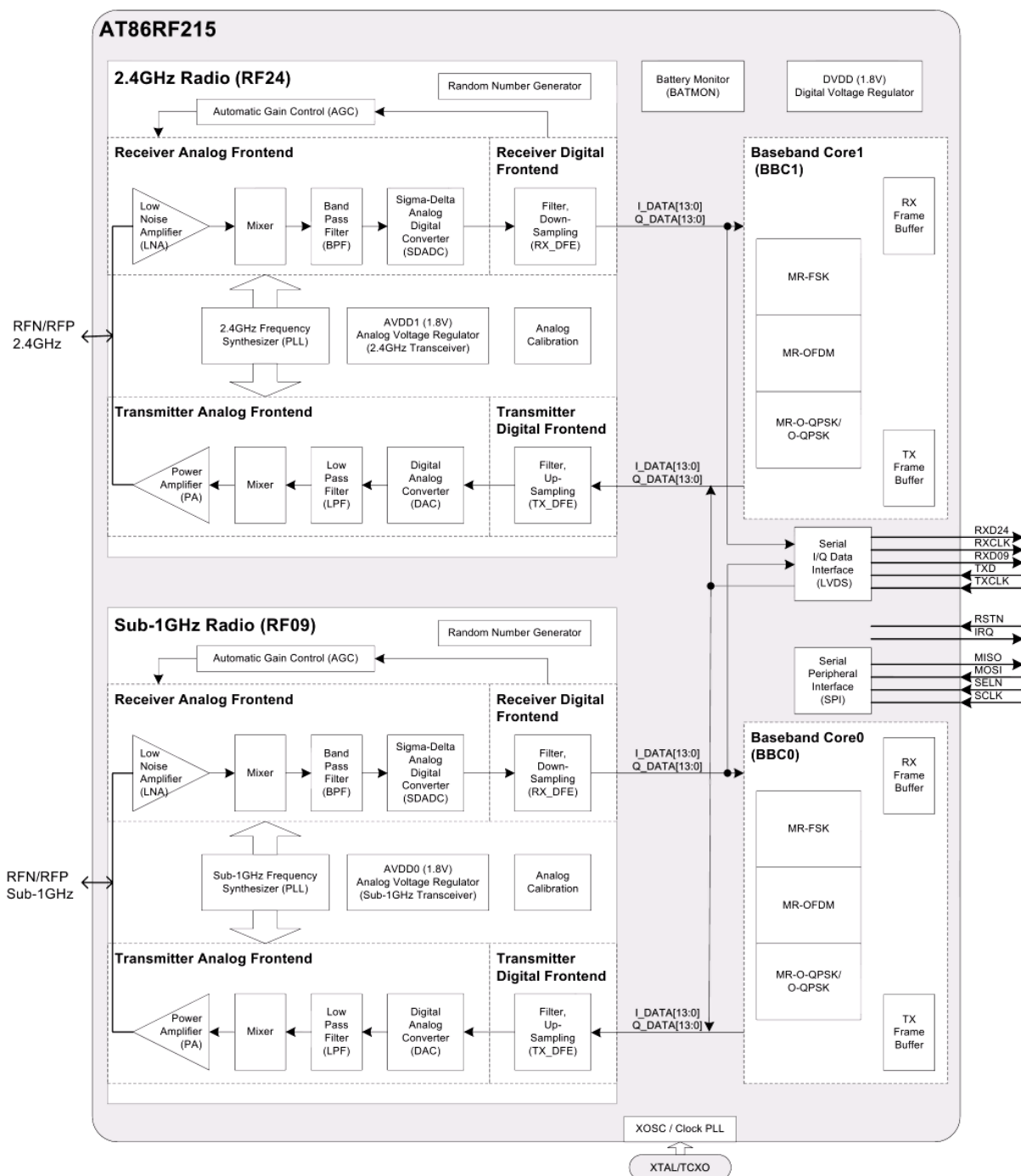


Рисунок 1.7 – Блок-схема AT86RF215

Розводка AT86RF215 показана на рис. 1.8.

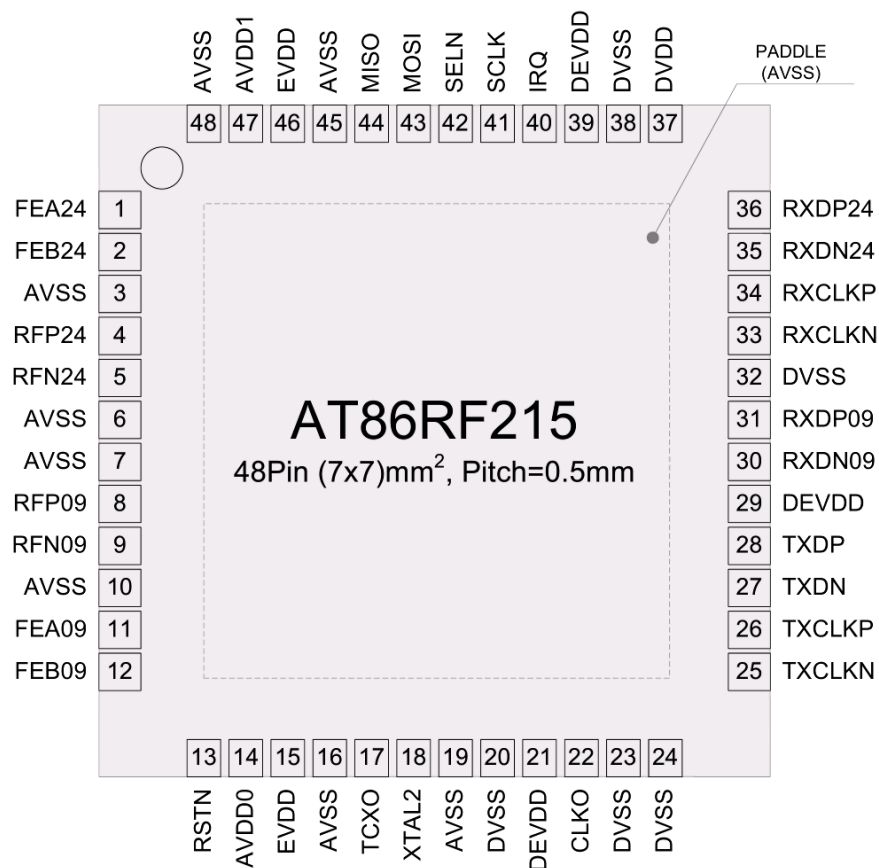


Рисунок 1.8 – Позначення виводів

Основна схема застосування AT86RF215 показана на малюнку 3-1. РЧ-порти вимагають диференціального навантаження 50Q для найкращої радіочастотної продуктивності. Трансивер працює з 26 МГц TCXO.

Зовнішнє аналогове джерело живлення EVDD, зовнішнє цифрове джерело живлення DEVDD і виходи вбудованих стабілізаторів напруги AVDD0, DVDD і AVDD1 повинні бути розв'язані конденсатором (Cdec). Усі розв'язувальні конденсатори повинні бути розміщені якомога ближче до контактів і повинні мати низький опір і низьку індуктивність з'єднання із землею. EVDD і DEVDD повинні бути замкнуті на рівні друкованої плати і завжди повинні мати однаковий потенціал (Vdd).

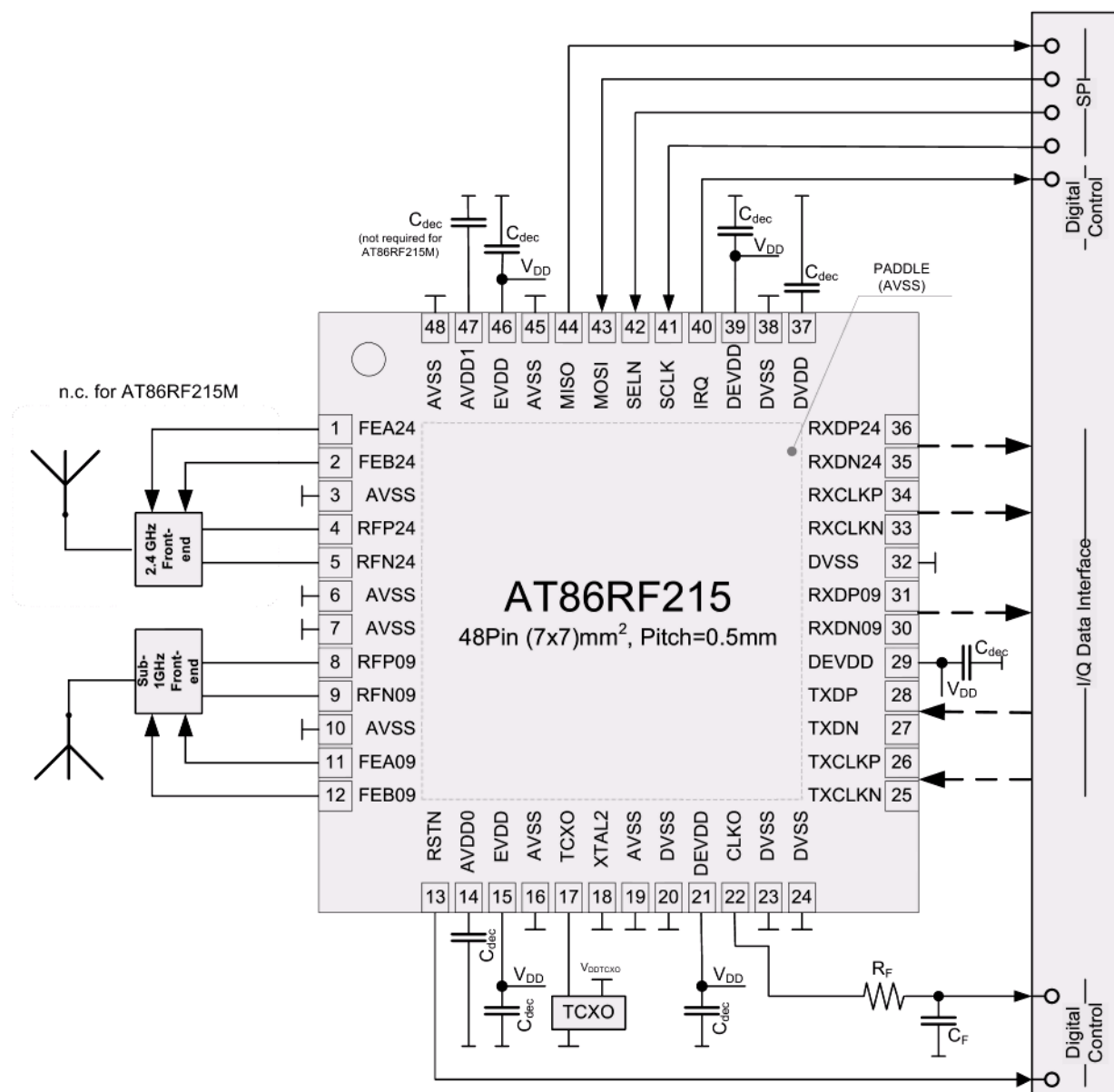


Рисунок 1.9 – Основна схема застосування

Тепер розглянемо однокристальний трансивер UHF TRF6900 і однокристальний передавач TRF4900:

Робочий діапазон від 850 до 950 МГц

Режим роботи FSK/FM

Низьке енергоспоживання завдяки надшвидкому часу вимкнення/ввімкнення (<1 мс)

Вбудований повністю програмований синтезатор DDS із роздільною здатністю 230 Гц

ГКН і опорний генератор забезпечують швидкий стрибкоподібний стрибок частоти з розширеним спектром

Повністю інтегрований RSSI та зрізувач даних

Легко інтегрується з будь-якою платформою DSP або мікроконтролера

Простий у використанні завдяки звітам про застосування, схемам, файлам Gerber, комплектам оцінки та додатковій підтримці дизайну від сторонніх розробників

Нове сімейство низькопотужних радіочастотних пристроїв діапазону ISM від Texas Instruments (TI) дає розробникам можливість поєднувати високоінтегровану радіочастотну функціональність з іншими продуктами TI для створення розширених конструкцій для широкого спектру кінцевих застосувань. Завдання полягало в тому, щоб розробити РЧ-рішення, яке включало б дуже швидкий засіб розширення спектру зі стрибками частоти, зводячи до мінімуму кількість зовнішніх компонентів і забезпечуючи найбільшу гнучкість конструкції. Враховуючи ці ключові концепції, а також надаючи рішення з низьким енергоспоживанням, TI розробив TRF6900 і TRF4900, повністю інтегровані частини трансивера та передавача.

TRF6900, малопотужний трансивер, що працює на частотах від 850 до 950 МГц, є ідеальним рішенням для портативних систем бездротового зв'язку. Інший пристрій, TRF4900, забезпечує такі ж функції низького споживання у функції лише передавача.

Обидва пристрої мають інтегрований прямий цифровий синтезатор (DDS), генератор з керуванням напругою (VCO) і опорний генератор, які дають змогу працювати з канальними системами. Повністю програмована малопотужна система DDS забезпечує дуже високу частотну роздільну здатність 230 Гц з практично миттєвим фазовим безперервним перемиканням частот.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		26

TRF6900 — це однокристальний трансивер УВЧ діапазону від 850 до 950 МГц із режимами роботи, що включають частотну маніпуляцію (FSK) і вузькосмугову FM, а також інтегровані функції, такі як DDS, VCO, PLL і роздільник даних, які значно спрощують стрибкоподібні зміни частоти в конструкції з розширеним спектром. Крім того, TRF6900 інтегрує регульований підсилювач потужності передачі (PA), щоб забезпечити необхідний рівень вихідної потужності. TRF6900 розроблено для роботи з низьким енергоспоживанням, щоб забезпечити тривалий термін служби батареї для бездротових додатків, таких як системи безпеки, зчитувачі штрих-кодів, комунальне вимірювальне обладнання та іграшки. Розробники можуть запрограмувати мікроконтролер або процесор для вибіркового вмикання або вимкнення кожного основного функціонального блоку. Крім того, трансивер має надшвидкий час увімкнення та вимкнення системи для мінімального розряду батареї, а також індикатор потужності отриманого сигналу (RSSI) для «пробудження» процесора. TRF6900 споживає типові 0,5 мкА в режимі очікування та працює від джерела живлення від 2,2 до 3,6 В. Зберігаючи низьку кількість зовнішніх компонентів, однокристальна інтеграція дає змогу зменшити складність системи та вартість. Для систем, які не потребують мікроконтролера, TRF6900 можна використовувати як окремий радіочастотний пристрій.

TRF4900 — це високоінтегрований передавач діапазону ISM із швидким часом перемикавання, що робить його добре придатним для додатків, що живляться від акумулятора, таких як дистанційні контролери, системи безпеки та іграшки. TRF4900 можна використовувати або як передавач, або виключно для його функції DDS як джерело гетеродина. Однокристальний передавач працює до 2,2 В і розроблений для максимізації низького енергоспоживання. З типовою частотною роздільною здатністю 230 Гц TRF4900 працює як у вузькосмугових, так і в широкосмугових програмах. Крім того, він пропонує два повністю програмованих режими роботи, які дозволяють надзвичайно

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		27

швидко перемикається між двома попередньо запрограмованими налаштуваннями. Можливість окремого живлення РА, а також універсальність вибору одного з трьох режимів ослаблення додає гнучкості до цієї частини в бездротових додатках.

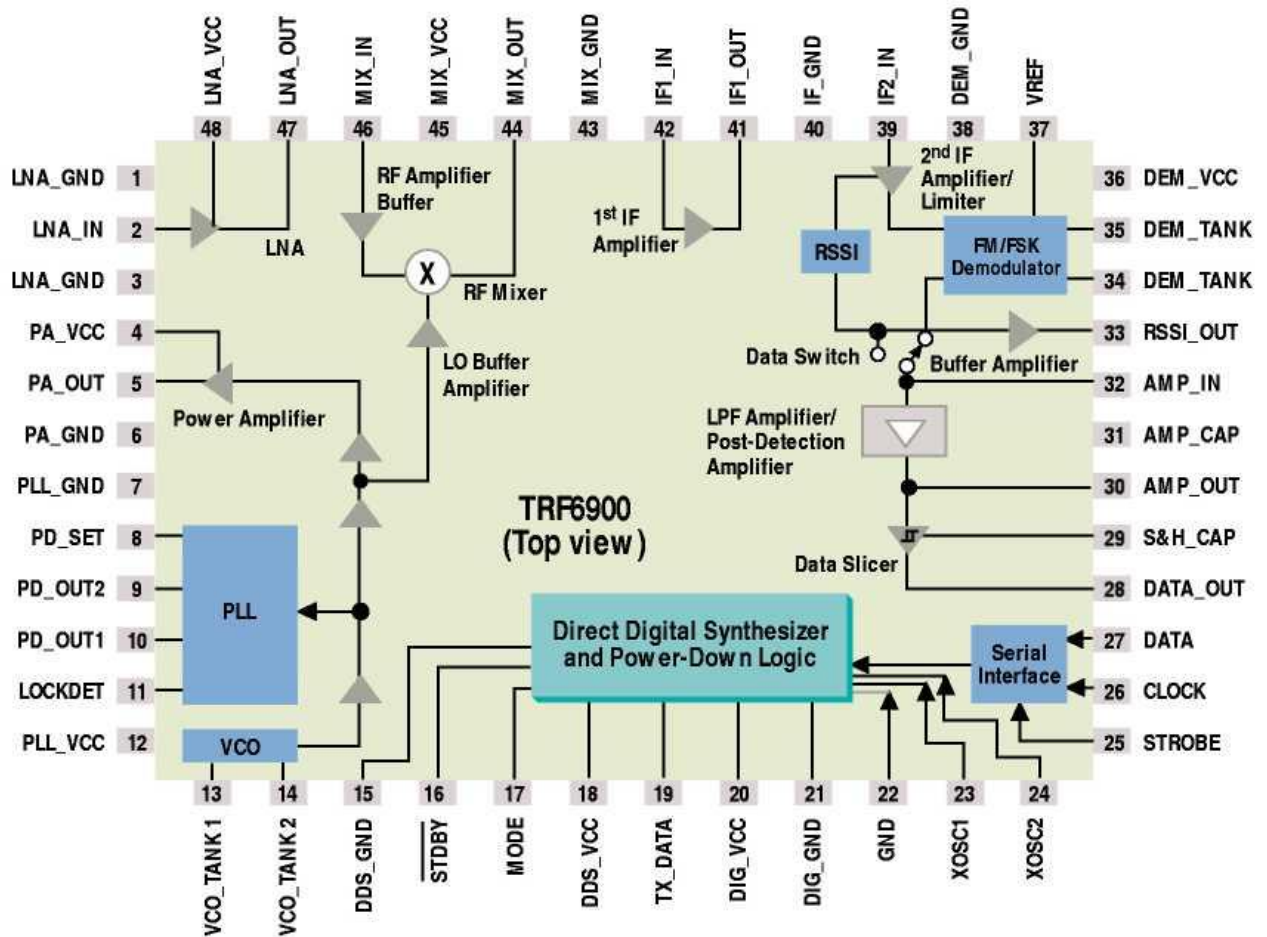


Рисунок 1.10 – Блок-схема повністю інтегрованого трансивера TRF6900

Основні переваги TRF6900 і TRF4900

Високоєфективна канална система, що пропонує двонаправлену радіочастотну лінію передачі даних у надійному діапазоні частот

Режими цифрової FSK та FM модуляції

Інтеграція однокристального трансивера знижує загальну вартість системи, підвищує надійність і спрощує проектування

Інтегрований VCO і підсилювач потужності

Швидкість передачі даних перевищує 100 Кбіт/с

процесорами, клієнти можуть створювати широкий спектр передових бездротових додатків, таких як облік комунальних послуг, реєстрація даних, розумні іграшки, домашні мережі, дистанційні контролери та системи безпеки.

Переваги TRF6900/MSP430:

Робота в діапазоні від 850 до 950 МГц

Індикатор потужності швидкого прийнятого сигналу (RSSI) для швидкого виявлення несучої та пробудження мікроконтролера

Простий у використанні завдяки високій інтеграції, що призводить до низької кількості зовнішніх компонентів

Повне системне рішення для низької вартості системи

Низьке енергоспоживання для довшого терміну служби акумулятора (0,5 мкА типовий струм очікування для TRF6900A та 1,3 мкА для MSP430)

Повністю програмовані режими роботи і регулювання частоти

Готові до використання процедури базової смуги програмного забезпечення MSP430

Покоління мікроконтролерів MSP430 розроблено для неперевершеного співвідношення роботи з дуже малим енергоспоживанням і високої продуктивності — критичної можливості для вимогливих радіочастотних програм. MSP430 має 16-розрядне ядро RISC із продуктивністю до восьми мільйонів інструкцій за секунду (MIPS), що є набагато потужнішим, ніж стандартні 4- та 8-розрядні мікроконтролери. MSP430 має високоортогональну структуру. Пристрій доповнює цю високу продуктивність ультранизьким енергоспоживанням лише 250 мкА в активному режимі, 0,8 мкА в режимі очікування та 0,1 мкА в режимі вимкнення. Крім того, дуже швидкий час пробудження MSP430 6 мкс додатково допомагає в управлінні живленням системи.

Пристрої MSP430 керують усіма налаштуваннями радіочастотного пристрою через простий паралельний цифровий інтерфейс і можуть

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		30

обробляти та генерувати отримані або передані дані. MSP430 може перемикає TRF6900 у режим очікування або вимкнення, щоб зменшити енергоспоживання, при цьому практично не споживаючи електроенергії. На додаток до цієї основної продуктивності, пристрої сімейства доступні з широким набором інтегрованих периферійних опцій, включаючи різні конфігурації флеш-пам'яті, 14-розрядний АЦП, рідкокристалічний дисплей драйвер (LCD), універсальний передавач синхронного асинхронного приймача (USART) і кілька різних конфігурацій таймера.

Щоб допомогти розробникам із додатками TRF6900/TRF4900, TI надає обширні допоміжні матеріали, включаючи набір для оцінки TRF6900/MSP430, схеми, утиліти програмного забезпечення, процедури програмного забезпечення MSP430, таблиці даних, примітки щодо застосування та приклади для програмування TRF6900 для встановлення повної радіочастотної лінії.

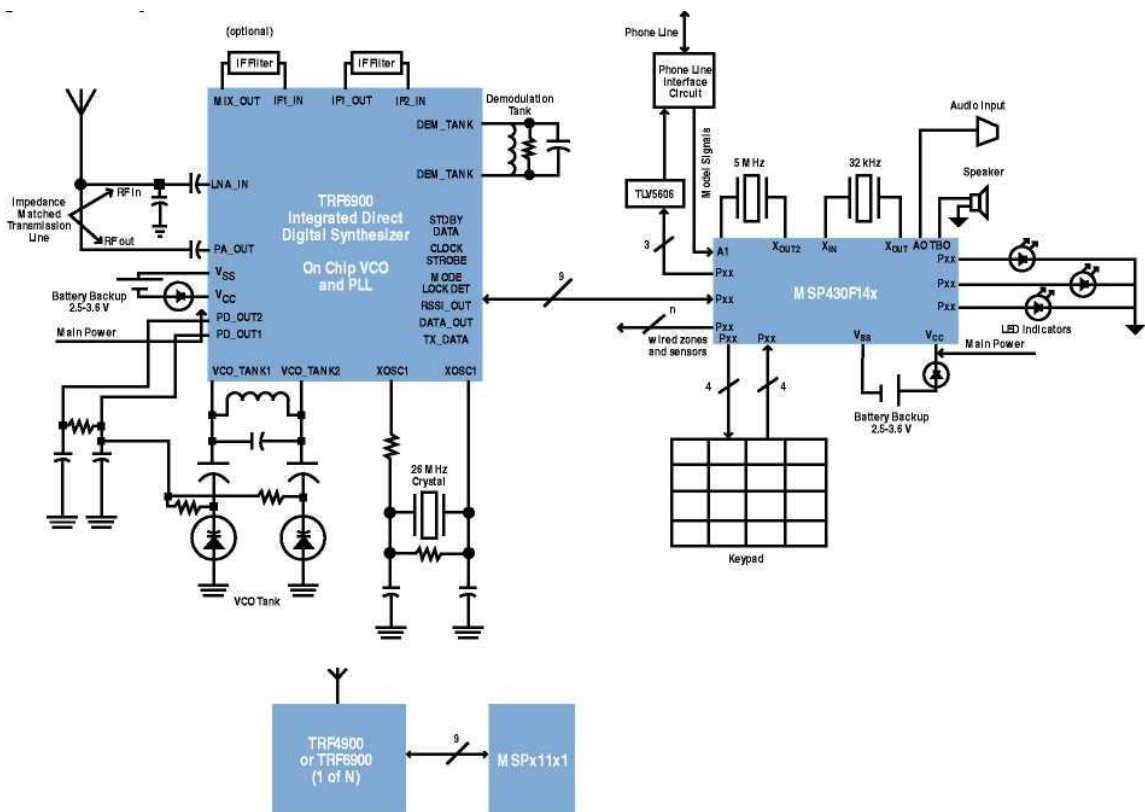


Рисунок 1.12 – Приклад застосування

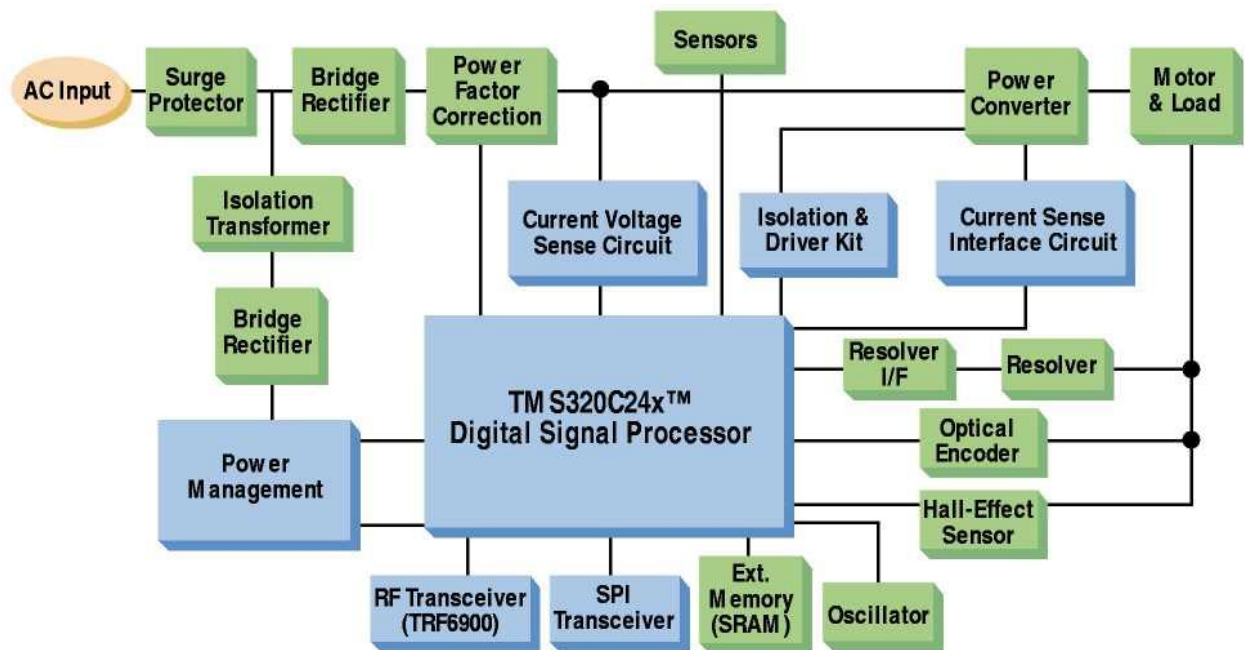


Рисунок 1.13 – Цифрове керування двигуном

Знижена потужність системи та незначна кількість елементів є життєво важливими показниками успіху на ринку бездротового зв'язку, що швидко розвивається. Поєднуючи TRF6900 або TRF4900 з провідними в галузі DSP TI, дизайнери можуть успішно вирішити всі ці проблеми. Платформа TMS320C5000™ DSP і платформи TRF6900/TRF4900 забезпечують оптимальне поєднання високопродуктивних функцій обробки сигналу, периферійних опцій і невеликого розміру. Платформа C5000™ оптимізована для використання бездротових додатків наступного покоління з інтенсивним використанням MIPS і енергоспоживанням.

Будучи частиною сімейства C5000, DSP TMS320VC5402 з фіксованою точкою ідеально підходить для додатків з низьким енергоспоживанням і високою продуктивністю. Процесор пропонує дуже низьке енергоспоживання та гнучкість для підтримки різних конфігурацій системної напруги. Широкий діапазон напруг вводу/виводу дозволяє працювати з одним джерелом живлення 1,8 В або з подвійними джерелами живлення для систем зі

змішаною напругою. Ця функція усуває потребу у зовнішньому зсуві рівня та знижує енергоспоживання в нових системах із напругою нижче 3 В.

Багато одноканальних систем розширеного спектру зі стрибками частоти, які обслуговуватимуть C5402 і TRF6900/TRF4900, працюють від портативних батарей. Для подовження терміну служби батареї від годин до тижнів для цих систем необхідна низька розсіювана потужність.

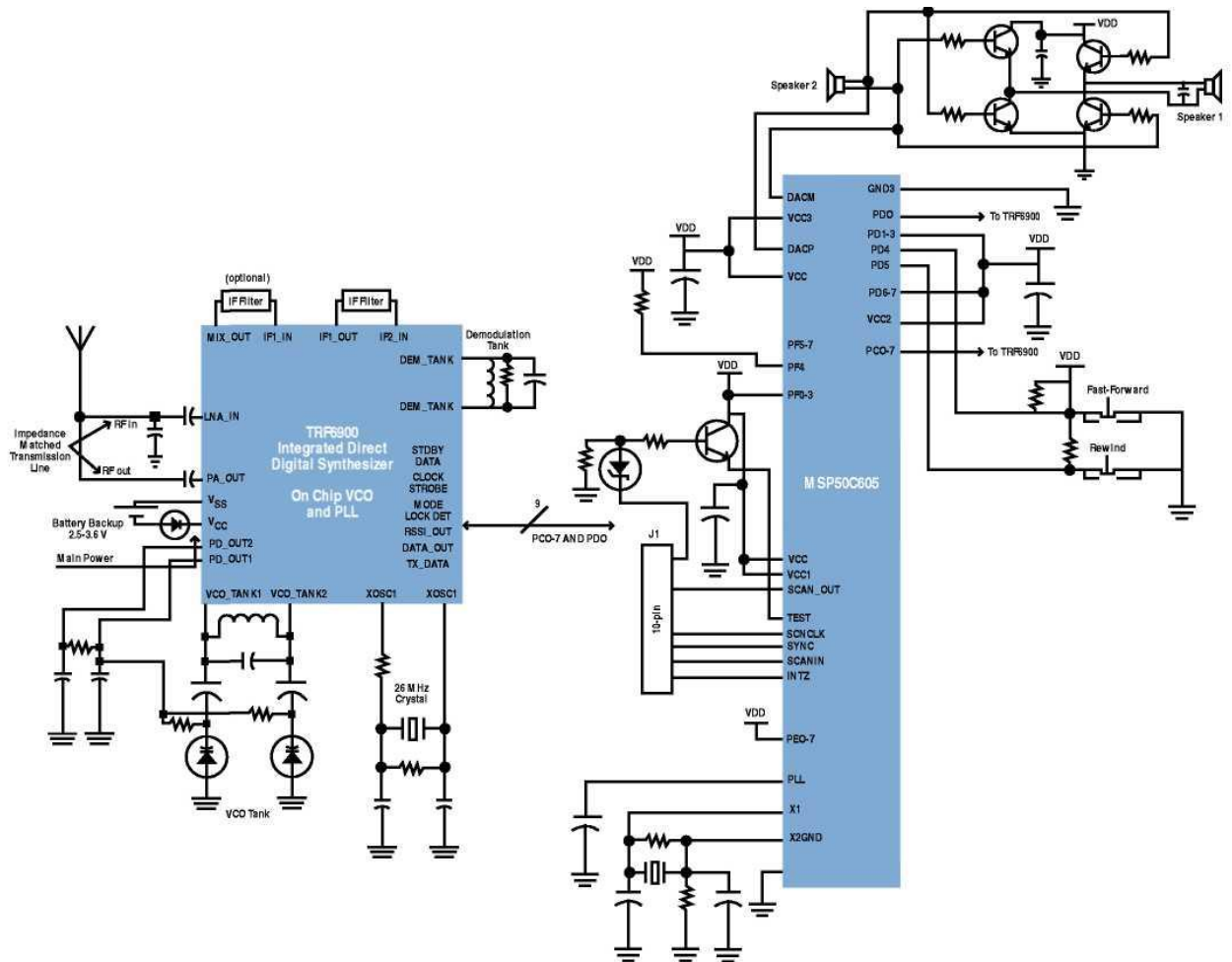


Рисунок 1.14 – Дизайн інтерактивної розмовної іграшки з RF і мовленням

На високому рівні, де потрібні продуктивні можливості C5421, багатоканальні системи з дуже щільною схемою часто містять багато DSP на невеликій площі. Цифрові процесори низької потужності допомагають

забезпечити надійність цих систем, обмежуючи тепло, що виділяється компонентами, і зменшуючи потребу в складних схемах розсіювання тепла.

Інтегрована продуктивність ТІ дозволяє створювати комплексні бездротові DSP-рішення, які зменшують енергоспоживання системи, кількість компонентів і час виходу на ринок.

Мовні та радіочастотні рішення

ТІ є світовим лідером у сфері рішень для синтезу мовлення, що дає виробникам можливість економічно ефективно озвучувати свої продукти. Продукти синтезу мовлення ТІ дозволяють дизайнерам скоротити вартість і розмір, використовуючи все менші пристрої. Клієнти можуть вибирати один із трьох методів обробки мови, включаючи лінійне кодування з прогнозуванням (LPC), лінійне прогнозування зі змішаним збудженням (MELP) і лінійне прогнозування з кодовою книгою (CELP), щоб відтворювати природне звучання мови з використанням відносно невеликого обсягу пам'яті.

Поєднуючи продукти синтезу мовлення ТІ з RF-пристроями TRF6900 або TRF4900, дизайнери можуть додати бездротовий голос до своїх програм, використовуючи економічно ефективні компоненти від ТІ.

Проаналізувавши все вище сказане для наступного проектування за основу використано одно кристальний трансивер на базі TRF6900. Відповідно типова структурна схема пристрою матиме вигляд, поданий на рис. 1.15.

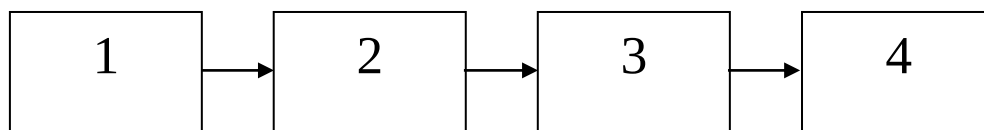


Рисунок 1.15 – Структурна схема пристрою передачі низькочастотних сигналів по радіоканалу

Блоки в структурній схемі є такими:

1. Давач;

2. Формувач кодової інформації;
3. Передавач;
4. Антена.

Інформація з давача (1) поступає на формувач кодової інформації (2). На виході формувача кодової інформації формується інформація, яка подається на передавач (3) і за допомогою антени (4) передається на центральний приймач клініки.

Структурна схема проектного пристрою матиме вигляд, наведений на рис. 1.16.

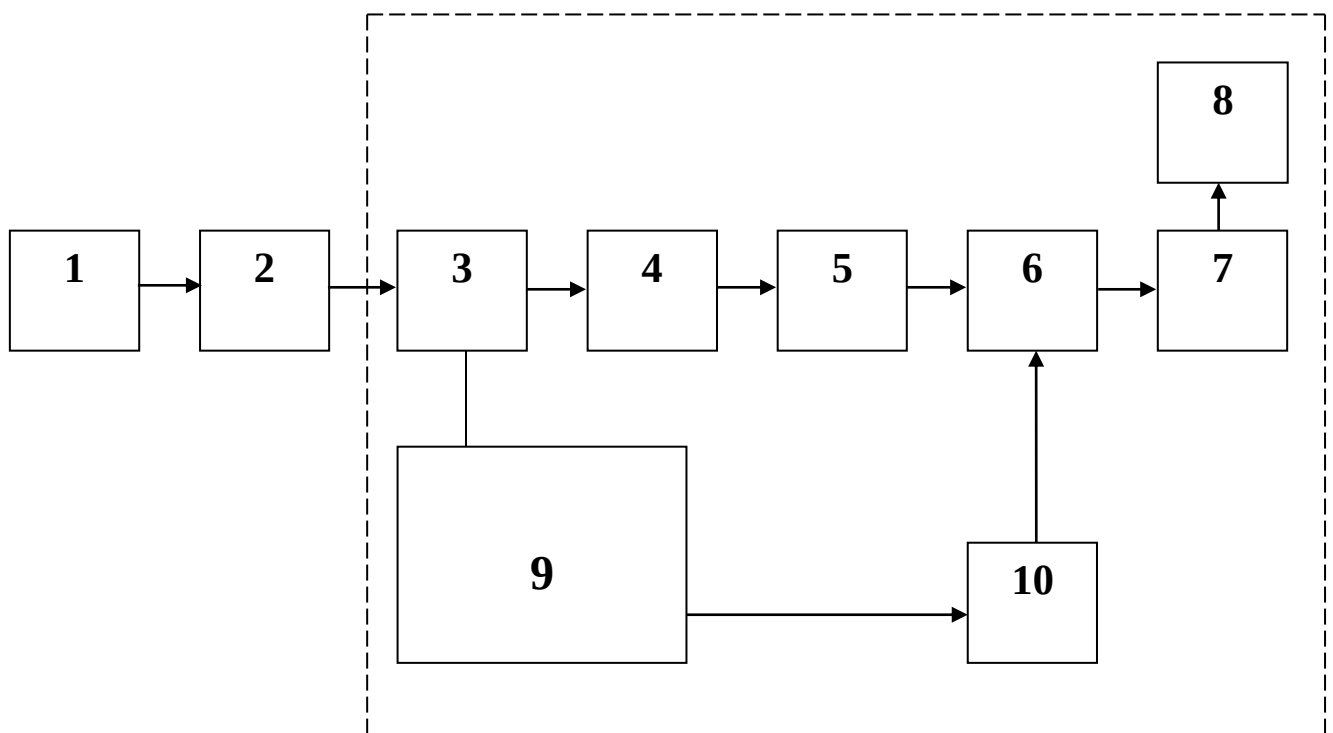


Рисунок 1.16 – Структурна схема проектного пристрою

Блоки в функціональній схемі мають наступне значення:

1. Давач;
2. USB - інтерфейс;
3. ЦАП/АЦП;
4. Підсилювач потужності;
5. ФНЧ;
6. Модулятор;

7. Підсилювач потужності;
8. Антена;
9. Блок керування;
10. Задаючий генератор;

Сигнал, у цифровому вигляді із давача (1), поступає на інтерфейс (2), на якому формується набір даних для передачі. Далі отримані дані за допомогою ЦАП (3) перетворюються в аналоговий сигнал, який через підсилювач потужності (4) та ФНЧ (5) подається на модулятор (6). Промодульований, за допомогою модулятора, блоку керування (9) та задаючого генератора (10), сигнал через підсилювач (7) поступає на антену (8) після чого передається на центральний приймач.

1.3 Проєктування та аналіз схемних рішень виконання трансивера

На основі структурної схеми будуюмо схему електричну принципову (рис. 1.17). Основою її є трансивер, чи прийомо-передавач, виконаний на мікросхемі фірми «Texas Instruments» TRF6900.

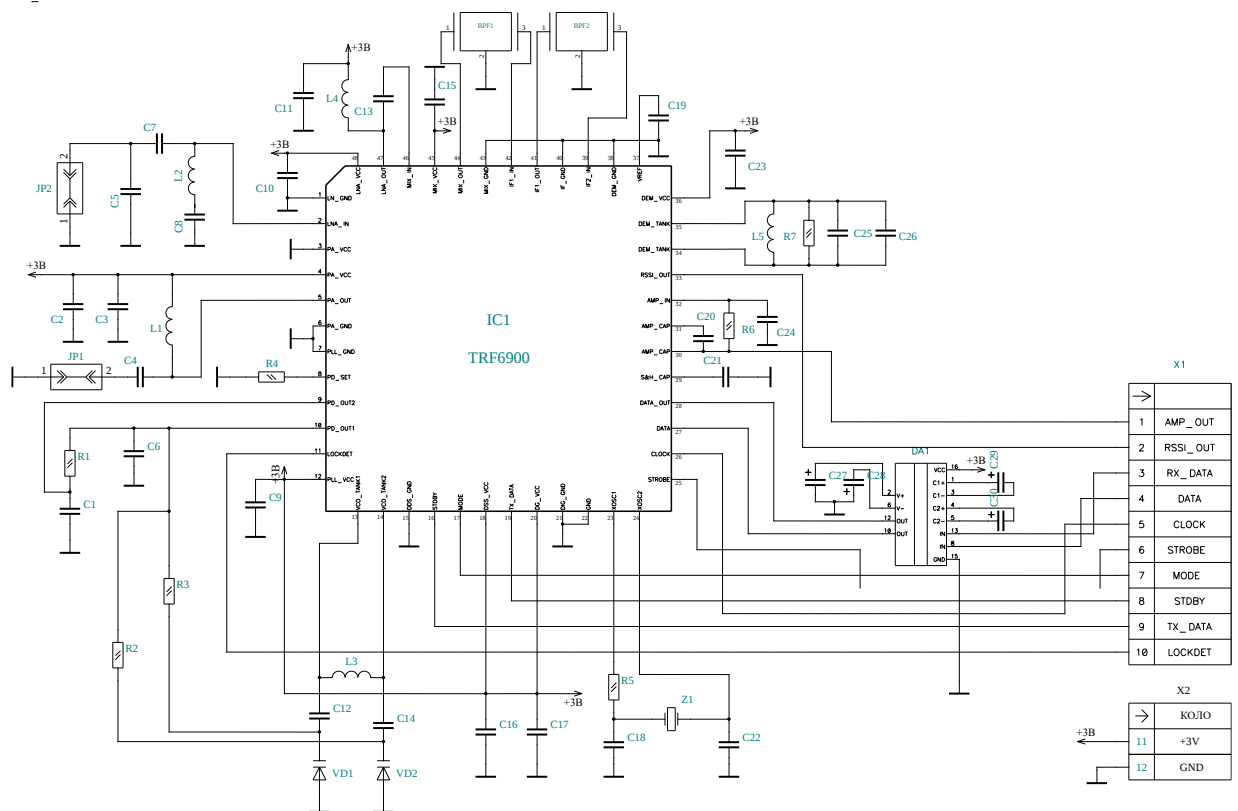


Рисунок 1.17 – Схема електрична принципова пристрою прийому-передачі низькочастотних сигналів по радіоканалу

В схемі вхідний сигнал поступає спочатку на «Serial interface» де у цифровому вигляді формується інформація для передачі. Потім через відповідні зв'язки ця інформація поступає на субблок – установка цифрового синтезатора (Direct Digital Synthesizer), на виході якого одержується аналоговий сигнал профільований фільтром низьких частот. Після цього отриманий сигнал проходячи через підсилювач потужності за допомогою антени передається на центральний приймач клініки.

Для можливості підключення різних джерел сигналу на вході прийомо-передавача стоїть інтерфейсна мікросхема DA1, яка утворює інтерфейс RS232.

Однак, більш практичним є реалізація можливості передачі даних через USB-порт. Як варіант, пропонується використати мікросхему інтерфейсу FT232RL. Схема включення її наведена на рис. 1.18.

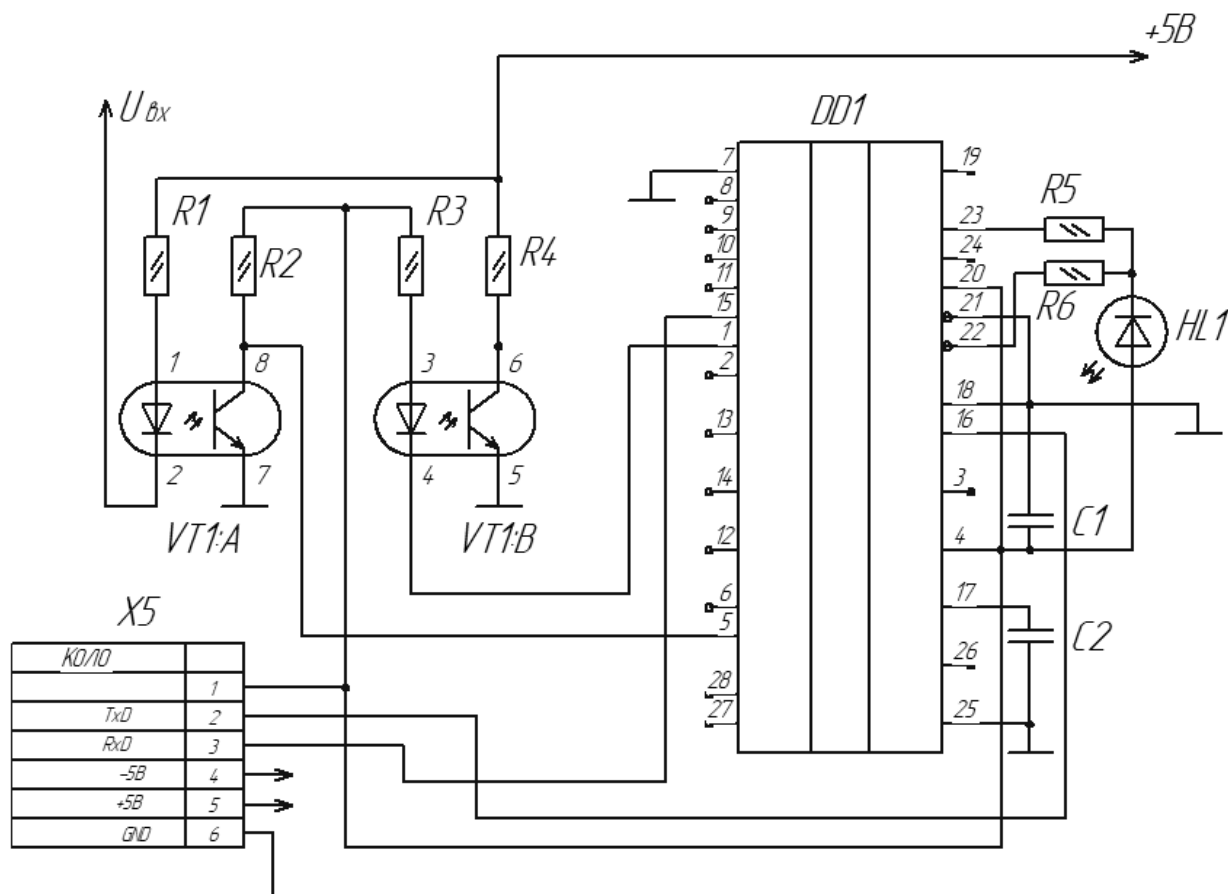


Рисунок 1.18 – Схемна реалізація USB-порта

На мікросхемі DD1 виконано контролер інтерфейсу, на оптрарах VT1:A, VT1:B виконано гальванічну розв'язку між USB-портом і мікросхемою передавача. Індикатор HL1 індикує процес обміну даних.

Всі елементи обв'язки мікросхеми прийомо-передавача та мікросхеми інтерфейсу вибрано стандартними, згідно рекомендацій фірм-виробників даних мікросхем. Так типові значення номіналів елементів для мікросхеми прийомо-передавача, налаштованої на частоту передачі, порядку 900 МГц, що є рекомендованою виробником для країн Європи.

Щодо розрахунків схеми електричної принципової, то метою їх є визначення та уточнення номіналів елементів схеми електричної принципової. Більшість елементів і їх номінали були вибрані виходячи з рекомендацій, що надаються фірмою-виробником в паспорті на мікросхему TRF6900. При

цьому номінали вибирались для європейського варіанту виконання передавача, що розрахований на частоту передачі – 900 МГц.

1.4 Вибір елементної бази

Основним елементом даного пристрою є трансивер, чи прийомо-передавач, виконаний на мікросхемі фірми «Texas Instruments» TRF6900.

Для реалізації інтерфейсу RS232 використано мікросхему MAX3232.

Для даного пристрою було вибрано резистори С2-23.

Після резисторів було вибрано конденсатори. Перш за все тип конденсаторів вибирався, виходячи із призначення його в приладі, потім вибирали конкретний екземпляр за електричними параметрами і проводили підбір конденсатора за іншими параметрами. Для даного приладу було підібрано конденсатори типу К53-4.

Після цього, враховуючи режими роботи, було підібрано діоди SMV1247-079.

Вибір перерахованих вище елементів пояснюються їх дешевизною поряд з їхньою малою масою і габаритними розмірами.

1.5 Розробка компоновки та монтажу друкованої плати пристрою

Для трасування друкованої плати використано програму Р-CAD 2006 та автоматичні трасувальники. При цьому було розроблено проєкт корпусу мікросхеми трансивера, вибрано оптимальне з точки зору щільності компоновки розміщення компонентів та двошаровий спосіб організації провідного рисунка друкованої плати. Але є ще окремі вимоги, які мають бути враховані при трасуванні друкованої плати.

У розробці друкованих плат вираз «проектування з урахуванням виробництва» має дуже простий зміст: проєктні рішення слід реалізовувати

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		39

тільки якщо можна забезпечити випуск з максимальною продуктивністю. У цьому оманливо простому поясненні втрачено багато аспектів. Природно припустити, що виробник може зробити все, що внесено в макет друкованої плати в програмі проектування.

Однак різні виробничі підприємства мають різні можливості, асортимент матеріалів та стандартні варіанти безконтактного обслуговування. Існує ряд поширених помилок та недоліків, через які плата може виявитися непридатною для виробництва, і в ній багато моментів потрібно багато переробляти.

Базові рекомендації щодо проектування друкованих плат для виробництва

Наступні аспекти майже повністю стосуються двох важливих областей:

Рекомендації щодо вибору матеріалів, включаючи матеріали плати, та вага міді

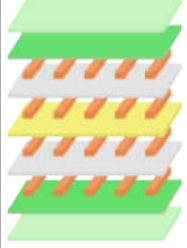
Виробничі обмеження, в тому числі розміри та інтервали на макеті друкованої плати

Маючи це на увазі, приступимо до розгляду найважливіших рекомендацій щодо проектування для виробництва, які допоможуть досягти відмінних результатів.

Насамперед треба сформувати структуру шарів

Дуже легко пропустити цей етап під час розробки нового проекту та перейти до розміщення компонентів на платі. При проектуванні нескладних плат, для яких не потрібні контрольований опір, ємнісний опір шини або щільна цифрова маршрутизація, можна почати з розміщення компонентів на платі з парною кількістю і стандартною товщиною шарів. Можливо, через особливості конструкції виготовлена друкована плата не забезпечить очікуваної функціональності.

Таблиця 1.1 – Стек шарів

Board Thickness	Copper Thickness	Laminated chart	Name	Material	Material Thickness	Dielectric Constant
1.2mm ±10%	10Z (35um)		Top Silkscreen	Silkscreen Ink	0.01mm	
			Top Soldermask	Soldermask Ink	0.025mm	3.5
			L1	Copper Foil	0.035mm	
			Pre-preg	PP	0.11mm	4.2
			L2	Copper Foil	0.035mm	
			Core	FR-4	0.8mm	4.2
			L3	Copper Foil	0.035mm	
			Pre-preg	PP	0.11mm	4.2
			L4	Copper Foil	0.035mm	
			Bottom Soldermask	Soldermask Ink	0.025mm	3.5
			Bottom Silkscreen	Silkscreen Ink	0.01mm	

У виробника друкованих плат можна запросити таблицю структури шарів, яка допоможе дотриматись вимог технологічності.

У більшості проектів, навіть на платах мікроконтролерів для аматорського обладнання, як мінімум, необхідно знати схему розташування шарів і властивості матеріалів. Потрібно отримати від виробничого підприємства стандартний стек шарів, перш ніж приступати до проектування трас для цифрових шин чи будь-яких трас із контрольованим повним опором. Якщо це не зроблено, на виробництві можуть виготовити плату, використовуючи стек шарів, який не підтримує очікувані функції. Інший фактор ризику полягає в тому, що спроектований стек шарів буде неможливо виготовити, найчастіше через відсутність матеріалів, що відповідають специфікаціям.

Вибираючи матеріали чи узгоджуючи структури шарів, виробник може бути проти врахування ваги міді. Потрібно використовувати вагу міді, яка доступна в асортименті матеріалів. Не можна вказувати будь-яку бажану вагу міді. Оцінивши вагу міді та ширину трас, які необхідні для певної щільності струму (наприклад, на шинах живлення), обов'язково слід вказати необхідну вагу за умови узгодження структури шарів з виробником.

Програма ECAD застосовує на новий макет друкованої плати набір стандартних правил формування зазорів. Це консервативні значення для будь-якої друкованої плати. Як правило, вони надто консервативні, і тому їх часто

ігнорують, не запрограмувавши коректні значення проміжків перед створенням макета. Гірше того, можуть бути задані занадто малі значення, що дозволяють розмістити елементи надто близько один до одного, внаслідок чого плату неможливо буде виготовити.

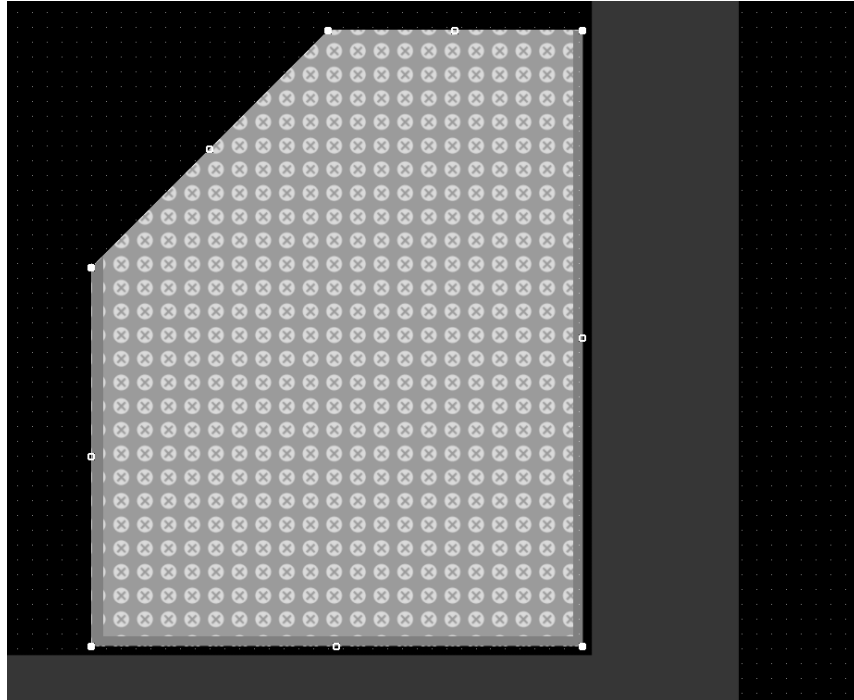


Рисунок 1.19 – Неправильно сформовані зазори

Зверніть увагу на полігон, розташований поряд із цією трасою. Інструмент перевірки правил проектування (DRC) наголосив на помилці зазору вздовж траси в цьому вікні. Правило зазору між трасою та полігоном має бути задано так, щоб ці елементи не розташовувалися надто близько один до одного. Інакше у процесі виготовлення між ними може випадково виникнути коротке замикання.

Рішення: з'ясувати, які обмеження встановлені виробником, перш ніж розміщувати компоненти, та запрограмувати ці значення як правила проектування у проекті друкованої плати. Щоб не робити найпоширеніших помилок, насамперед слід контролювати такі зазори:

Траса-траса

Траса/контактна площадка - полігон

Траса- контактна площадка

Контактна площадка - контактна площадка

Останні два пункти будуть застосовуватися до контактних площадок для поверхневого монтажу (SMD) та до посадкових контактних площадок для наскрізних отворів (перехідних отворів або виводів компонентів). Ці значення будуть вищими для більш важкої міді, оскільки потрібна компенсація травлення.

Перекриття ділянок свердління

Якщо дотримані попередні рекомендації щодо зазорів та задані мінімальні інтервали між контактними площадками, можливо, цього правила проектування для виробництва вже дотримано. Якщо ділянки свердління розташовані надто близько одна до одної, можливе їх перекриття через зміщення свердла в верстаті з ЧПУ. Кожна ділянка буде трохи зміщена від ідеального місця свердління, і це необхідно враховувати при розміщенні перехідних отворів та виводів наскрізних отворів.

Навіть коли витримуються зазори між контактними площадками для перехідних отворів та виводів наскрізних отворів, це не завжди гарантує дотримання зазорів свердління.

Аналогічна проблема із зазорами може виникнути між ділянками свердління, що проходять через площину, як у прикладі з термобар'єром і площиною заземлення. Дві зелені ділянки позначають зазор між стінкою перехідного отвору і площиною для цих мереж. Смужка, що залишається, дуже мала і не відповідає вимогам технологічності виробництва. Наступний приклад описує одну із ситуацій, у яких таке порушення технології виробництва не призведе до непрацездатності пристрою, але так відбувається не завжди. Якби такий дефект знаходився на поверхневому шарі, між двома наскрізними отворами, це створило б ризик замикання при пайці, оскільки вузька мідна смужка швидше за все була б витравлена в процесі виготовлення.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		43

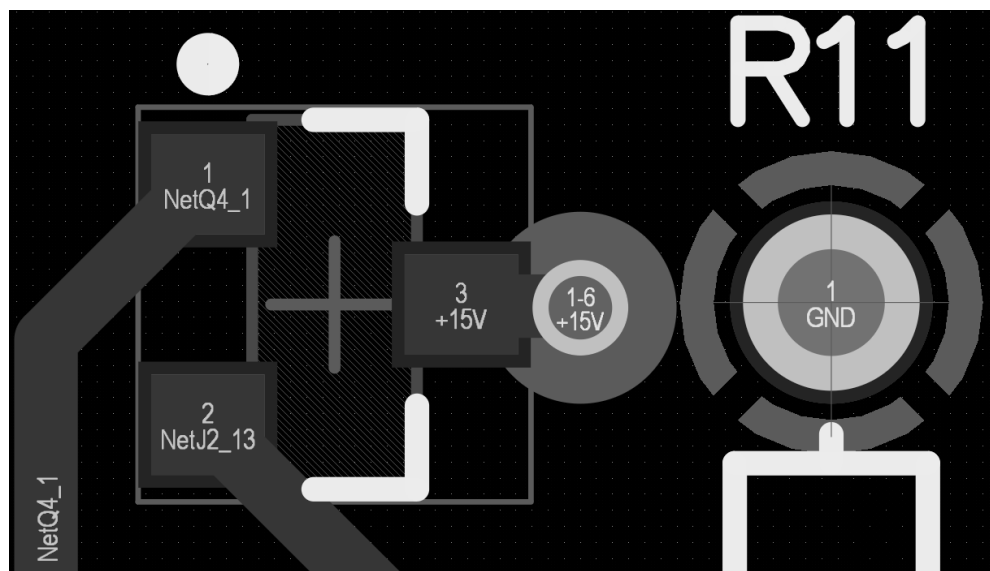


Рисунок 1.20 – Неправильні зазори між контактними площадками

Маленький інтервал між цими двома наскрізними отворами залишає дуже вузьку смужку міді на плоскому шарі, яка не збережеться на готовій платі.

Природне рішення в такій ситуації — використовувати більшу контактну площадку. Саме це потрібно зробити, щоб дотриматися основних вимог класу IPC: використовувати мінімальний розмір контактної площадки (діаметр свердління) + допуск, щоб ліміт зазору між ділянками свердління дотримувався майже завжди.

Маленький розмір елементів

Коли приступати до розміщення компонентів і трас на платі, є бажання зробити траси, ділянки свердління та контактні площадки невинувато маленькими. Правила проектування проміжків спочатку обмежують те, наскільки близько можна розміщувати елементи, але мінімальний розмір елементів є не менш важливою вимогою. Два типові аспекти, що потребують врахування - це мінімальний розмір отворів і ширина трас. Необхідно з'ясувати розміри елементів, передбачені виробником, та запрограмувати їх у правилах проектування.

Смужки паяльної маски

Цей аспект зборки часто не беруть до уваги. Він покликаний забезпечити надійну роботу отворів паяльної маски як греблю на шляху розплавленого припою, що протікає між двома сусідніми компонентами. Навіть якщо правильно підібрано інтервал між контактними площадками, занадто великий отвір маски, що не визначається паяльною маскою (NSMD), може залишити дуже тонкий канал паяльної маски між контактними площадками.

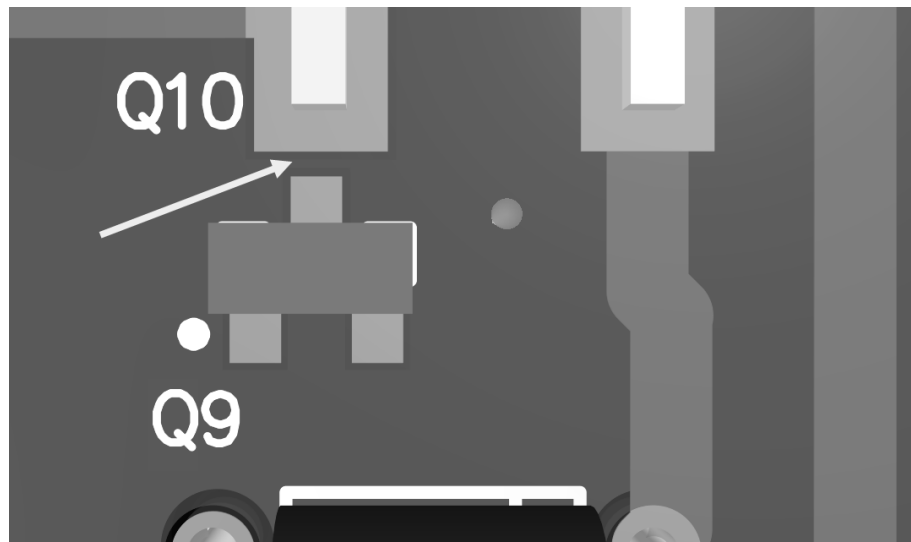


Рисунок 1.21 – Помилки при встановленні маски

Цю залишкову смужку паяльної маски між Q9 і Q10 неможливо сформувати під час виробництва, оскільки вона занадто тонка. Однак зазор між контактними площадками дотримується. Для вирішення цієї проблеми слід зменшити отвір паяльної маски на цих контактних площадках. Можливо, також потрібно збільшити інтервал між цими компонентами.

Типова мінімальна смужка паяльної маски, необхідна у цій ситуації – 5 міл. Якщо ширина смужки паяльної маски менша від ліміту, встановленого виробником, вона може відламатися після затвердіння, і виникне канал, в якому дві контактні площадки можуть бути з'єднані припоєм. Для вирішення цієї проблеми слід збільшити інтервал або зменшити отвір паяльної маски на контактній площадці, щоб залишилася велика смужка.

Перекриття шовкографії

Після завершення розміщення та маршрутизації слід перевірити шовкографію, щоб переконатися у відсутності перекриття довідкових позначень. Якщо перекриття є, слід переміщувати компоненти на макеті друкованої плати, доки воно не буде усунуто. Хоча технічно це не потрібно для виготовлення або складання, сумлінний виробник все ж таки відзначить це як проблему на етапі перевірки проекту.

Суттєвішу проблему створює перекриття шовкографії з контактними площадками/отворами на ділянках, куди наноситиметься припій. Обов'язково слід перевірити це за допомогою засобу перегляду 3D-моделей або безпосередньо у Gerber-файлах.

Ці рекомендації охоплюють найчастіші проблеми забезпечення технологічності, які можуть торкнутися практично будь-якого проекту.

Для автоматизації процесу виготовлення плати на станках з комп'ютерним управлінням компоненти розміщуються по координатній сітці 0,5 мм. Діаметр усіх отворів вибирали з умови: при діаметрі виводу радіoelementу до 0,8мм діаметр отвору на 0,2-0,3мм більший діаметру виводу, при діаметрі виводу більше 0,8мм – на 0,3-0,5мм більше, що забезпечує надійну фіксацію компонентів на друкованій платі. Для виключення можливості відривання контактних площадок від друкованої плати потрібно вибрати мінімальний їх діаметр, що забезпечує потрібну міцність кріплення.

З врахуванням усього вище сказаного було проведено расування друкованої плати та компонування друкованого вузла. Вони наведені на рис. 1.22 та рис. 1.23 відповідно.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		46

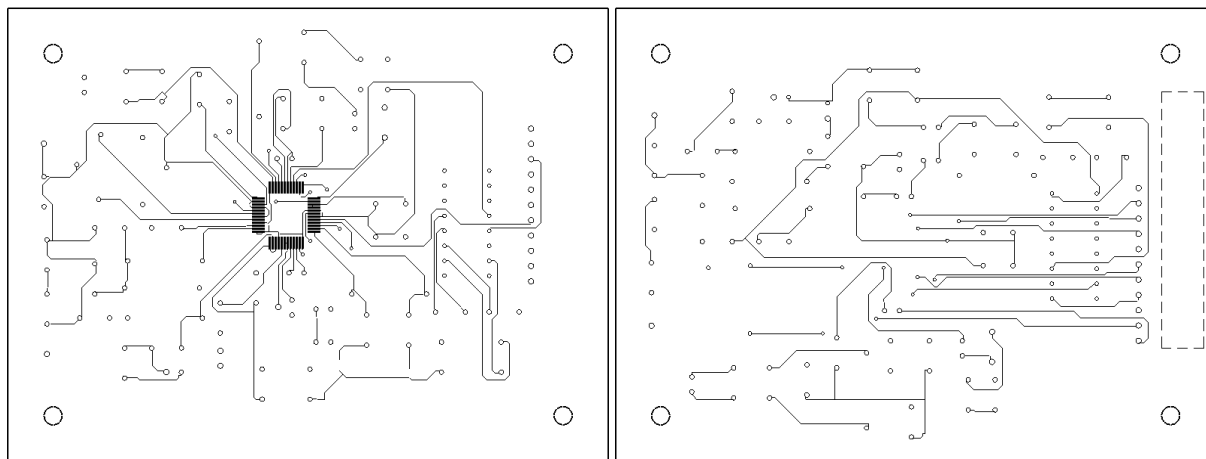


Рисунок 1.22 – Топологія друкованої плати

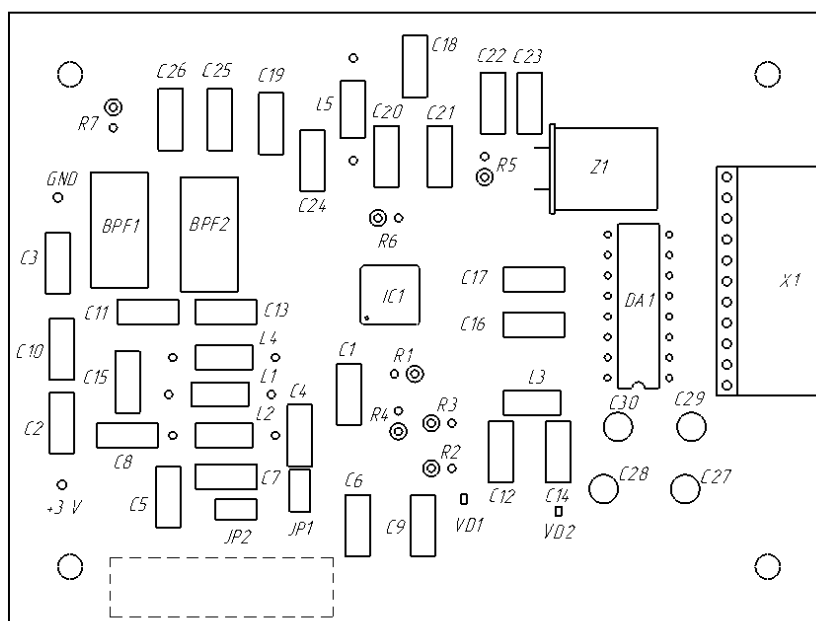


Рисунок 1.23 – Компонівка друкованого вузла

Додатково ці креслення були оформлені в середовищі Автокад для відповідності вимогам до конструкторської документації.

1.6 Висновки до розділу 1

В основній частині проведено аналіз завдання, огляд аналогів та вибір структурної схеми пристрою, проектування та аналіз схемних рішень

виконання трансивера, вибрано елементну базу, розроблено компоновку та монтаж друкованої плати пристрою.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						48
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

2.1. Електробезпека при роботі з трансивером

Відповідно до ст. 13 розд. III Закону України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 р. № 2694-XII роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Заходи щодо виконання вимог електробезпеки офісних працівників регламентують наступні нормативні документи:

- Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05), затверджене наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці України від 26 січня 2005 р. № 15;
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Міністерства палива та енергетики України від 25 липня 2006 р. № 258 (далі — ПТЕЕС);
- Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Міністерства праці та соціальної політики України, Комітету по нагляду за охороною праці від 9 січня 1998 р. № 4;
- Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30 грудня 2014 р. № 1417.

Відповідно до п. 2.2 розд. II Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників, затверджених наказом Міністерства надзвичайних ситуацій [від 25 січня 2012 р. № 67](#), роботодавець має забезпечити повну і вичерпну інформацію працівників та їх уповноважених представників з питань охорони праці про можливі небезпечні

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		49

ситуації, про вжиті заходи для їх запобігання або їх ліквідації та про дії працівників у аварійних ситуаціях.

Електробезпека — система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Тобто електробезпека — це відсутність будь-яких факторів з боку електроустановки, які можуть створити загрозу і небезпеку життю і здоров'ю людини. Не варто під терміном «електроустановка» розуміти щось таке, що може знаходитись поза межами офісу. Адже, наприклад, настільна лампа це також електроустановка. Тобто пристрій, в якому є перетворення електричної енергії в той чи інший вид енергії (світлову, механічну, теплову), і буде вважатись електроустановкою.

Заходи електробезпеки, на які необхідно звернути особливу увагу:

1. Облаштування електромережі, зокрема:

- правильний розподіл навантаження на всі приміщення офісу;
- правильний розподіл електромережі за призначенням (наприклад: освітлення — це одна група, робоча зона — інша);
- якість самих комплектуючих електромережі (розетки, вимикачі, лампи, світильники);
- чи є потенціал для збільшення навантаження (на випадок створення додаткових робочих місць чи розширення компанії);
- використання офісного обладнання, в якому електроенергія застосовується за призначенням згідно з технічними рекомендаціями виробника.

2. Виважений підхід до питання використання стаціонарних або мобільних електрогенераторів для зменшення енергозалежності:

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		50

- консультація зі спеціалістом електротехнічного фаху (якщо не призначений відповідальний за електрогосподарство) щодо вибору генератора відповідно до потреб енергоспоживання;
- якщо електрогенератор стаціонарний — необхідно виконати вимоги, зазначені в п. 9.1-9.20 розд. VIII ПТЕЕС;
- якщо електрогенератор мобільний (бажано з вмонтованою автоматикою введення резерву) — правильно виконати підключення з урахуванням можливих наслідків у випадку появи струму в зовнішній електромережі.

2.2. Долікарська допомога при шоку

Травматичний шок — складний патогенний процес, що виникає внаслідок важкої механічної травми, опіку і характеризується порушенням функцій життєво важливих органів та систем організму.

При комбінованих хімічно-радіаційних ушкодженнях, опіках тканин і органів травматичний шок спостерігається у 30% потерпілих.

В генезі травматичного шоку першочергову роль відіграють такі чинники: втрата крові і біль, розлад дихання, порушення процесів метаболізму, інтоксикація організму недоокисненими продуктами обміну речовин внаслідок руйнування тканин.

Чинники, які сприяють розвитку шоку запізнile і неповноцінне надання долікарської допомоги, вторинна травматизація в процесі транспортування в лікарню, повторна втрата крові, переохолодження або перегрівання, фізично-емоційне перенапруження, стреси, тривале недоїдання та зневоднення організму тощо.

При пораненнях зміни виникають у підкіркових утвореннях великого мозку та в системі периферійного кровообігу (перерозподіл крові, яка забезпечує життєдіяльність органів, передусім серця і мозку). Розвиваються

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		51

циркулярна гіпотонія, спазм посткапілярних венул (випотіває плазма в позаклітинний простір), набряк і згущення крові. Знижується венозний тиск, слабнуть нирки, печінка, легені, відбувається тромбоутворення, розвиток незворотних змін в органах.

Травма кишечника призводить до інтоксикації організму, ускладнюється стан пораненого, спостерігається розлад дихання і кровообігу. Порушується функція нервової системи. Шок має дві фази: еретичну і торпедну.

Еретична фаза шоку супроводжується збудженням, надмірною рухливістю. Мова уривчаста, погляд неспокійний, шкірний покрив блідий, іноді виникає гіперемія (різке потовиділення), пульс відхилений від норми — сповільнений або прискорений (100 пульсацій за 1 хвилину). Дихання часте, поверхневе.

Торпідна фаза шоку — фаза пригнічення. Розрізняють 4 ступеня:

I ступінь (легка форма шоку). Це результат ізольованих уражень середньої важкості та втрати 500 — 1000 мл. крові, стан помірного психічного гальмування, блідий шкірний покрив, артеріальний тиск 100 — 95 мм. рт. ст. Прогноз сприятливий.

II ступінь — середня важкість шоку, численні ушкодження тіла, втрата крові до 1000 — 1500 мл, стан важкий, хоч орієнтація і свідомість не втрачені, шкіра бліда, губи ціанотичні, психічна загальмованість, пульс — 110 — 130 пульсацій за 1 хвилину, тиск — 90 — 75 мм рт. ст., нестійкий, прогноз сприятливий при проведенні протишокової терапії.

III ступінь — важкий шок, виникає при важких ушкодженнях грудної клітки, черевної порожнини. Крововтрата — 2000 мл., стан важкий, виражена психічна загальмованість, іноді ступор. Шкіра бліда, ціанотична, пітніє, слизові оболонки сухі, гіпотермія, гіподинамія, зниження сухожильних рефлексів, розлад у роботі нирок, сечовиділення, пульс — 120-160 пульсацій

за 1 хвилину, тиск — 75 мм рт. ст., дихання поверхнєве, без протишочкових заходів прогноз несприятливий.

VI ступінь — термітний стан (передагональний, агональний та клінічна смерть) вкрай важкий для потерпілого. Втрата свідомості, шкіра холодна, трупна, ціанотична, вкрита липким холодним потом, зіниці розширені, не реагують на світло, пульс не промацується, крайній ступінь шоку веде до клінічної смерті.

Діагностика шоку ґрунтується на визначенні показників, які характеризують загальний стан потерпілого. Найважливіший показник - рівень артеріального тиску. Чим він нижчий, тим глибший розлад функцій організму, його життєдіяльності. Величина крововтрати - найоб'єктивніший показник ступеня важкості шоку.

Перебіг клінічного шоку залежно від локалізації поранення чи опіку має такі особливості: проникаючі поранення черевної порожнини до 80% спричиняють шок; проникаючі поранення грудної клітки зумовлюють гемоторакс, відкритий пневмоторакс. При пораненнях і ушкодженнях тазу — кровотеча до 2,5 л. При ушкодженнях кінцівок — крововтрата до 2 л., біль, інтоксикація.

Профілактична і долікарська допомога при шоку.

Під час шоку усувають дію травмуючих чинників і чинників розвитку шоку, зупиняють кровотечу, перев'язують рани, усувають загрозу асфіксії; вводять 5-подібну трубку (повітропровід); при порушенні зовнішнього дихання в долікарську допомогу входить очищення порожнини рота і носоглотки, усунення западання язика, відновлення прохідності дихальних шляхів; при пневмотораксі накладається пов'язка; проводиться інгаляція киснем, зупинення зовнішньої кровотечі; вводяться серцево-судинні й аналектичні засоби (виконує фельдшер); здійснюється фіксація кінцівок. Ввівши повторно знеболювальні засоби, дають гарячий чай та інші напої.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		53

У разі стихійного лиха, аварій, коли має місце масове надходження потерпілих, їх медично сортують.

В першу чергу виділяють поранених з важким ступенем шоку: 1-га, 2-га група — поранені в стані шоку 1 — 2 год., їм надають протишокову допомогу, тоді оперують; до 3-ї групи належать поранені з ознаками шоку, яких можна прооперувати трохи пізніше. В першу чергу зупиняють кровотечу, компенсують крововтрати, потім нормалізують об'єм циркулюючої крові. Гостра крововтрата (50%) веде до смерті.

Кожна велика втрата крові (зниження тиску до 80 — 70 мм рт. ст.) мусить бути негайно компенсована шляхом переливання крові у вени потерпілого (визначають групу крові, резус-фактор донора і реципієнта) можна робити інфузію плазми крові, поліглюкін тощо.

Розрідження крові при введенні кровозамінників сприяє поліпшенню капілярного кровотоку.

Крововтрата організмом до 700 мл. компенсується самостійно, за рахунок інфузії плазми крові, введення сольових багатоконпонентних розчинів. Рівень гемоглобіну має бути 65%.

При кисневому голодуванні організму проводять оксигенотерапію. При зупиненні дихання — штучне дихання «з рота до рота». При порушенні функцій печінки і нирок вводять 500 мл. глюкози 1 раз на добу з інсуліном (1 ОД. інсуліну на 5 г глюкози).

Температура повітря в протишоковій палаті — 20 — 24°C.

Потерпілому дають гарячий чай, каву, нагріте вино, закутують ковдрою.

Синдром тривалого стискання тканин буває внаслідок землетрусів, коли люди опиняються під уламками споруд і будинків. У потерпілих поряд з переломами, опіками, може спостерігатися синдром тривалого стискання тканин, зокрема тканин верхніх і нижніх кінцівок. При розтритті і розчавлюванні тканин різко погіршується кровообіг у м'язах, виникають анемія, гіпонія тканин, інтоксикація, нервово-рефлекторний розлад, спазми

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		54

капілярів, артерій, гостра серцево-судинна недостатність, набряки. Плазма крові пропотіває в міжклітинний простір (об'єм циркулюючої плазми зменшується на 50%), знижується артеріальний тиск, може настати гостра ниркова недостатність і порушення сечовиділення.

Синдром тривалого стискання тканин характеризується трьома періодами:

1-й — ранній — набряки тканин і гострий розлад гемодинаміки, триває 1—3 доби.

2-й — проміжний період — гостра ниркова недостатність, від 5 діб до 1,5 місяців.

3-й — пізній період — гангрена, флегмони, абсцеси.

Кінцівка потерпілого набрякає, шкіра багряно-синя, іноді пухирі з бурштиново-жовтою рідиною, пульсація послаблена або відсутня, чутливість шкіри знижена або втрачена. Згущення крові. Погіршується загальний стан організму. Холодний піт на шкірі, різкий біль на місці травми, нудота і блювання. Пульс - 100—120 пульсацій за 1 хв., тиск — 60 мм рт. ст. Сеча червоного кольору. Тип клініки торпідної фази травматичного шоку. Наростає загальна інтоксикація організму, спостерігається гостра ниркова недостатність, іноді гангрена кінцівки, абсцеси і флегмони, може виникнути атрофія м'язів. Ускладнюється рухливість суглобів, пошкоджуються нервові стовбури.

Існують 4 ступені прояву синдрому стискання:

I ступінь — дуже важкий — стискання м'яких тканин або кінцівок протягом 6 — 8 год., потерпілі, як правило, гинуть через 2 — 3 доби;

II ступінь — важкий — стискання рук чи ніг протягом 4 — 7 год., потерпілі можуть загинути;

III ступінь — середньої важкості — стискання рук чи ніг до 6 год., лікування до 3 місяців;

IV ступінь — легкий — стискання рук чи ніг до 2 год. Порушення помірні. Прогноз сприятливий.

Перша медична і долікарняна допомога.

Звільнення від стискання є початком клінічного прояву синдрому стискання тканин. Коли дві кінцівки зазнали стискання (компресія) протягом 8 год., при наявності переломів обов'язкова ампутація. Накладається джгут (вище від місця стискання). Вводяться знеболюючі, антигістамічні та серцево-судинні препарати, призначаються антибіотики, проводять правцеве щеплення.

2.3. Висновки до розділу

В розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описано електробезпеку при роботі з трансивером, а також долікарську допомогу при шоку.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						56
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Висновки

В роботі здійснено проектування радіочастотного трансивера діапазону 850-950 МГц.

Оскільки найбільший інтерес сьогодні при проектуванні трансиверів становить використання однокристальних варіантів, які відрізняються мініатюризацією кінцевого виконання, надійністю та низькою вартістю, проведено огляд таких інтегральних схем. Зокрема розглянуто характеристики, можливості та способи реалізації трансиверів на основі мікросхем nRF24AP1, T2803, MAX2837, AT86RF215 та TRF6900. Саме останню мікросхему і використано для розробки трансивера.

При цьому на основі стандартних та пропонованих виробником рішень було розроблено схему структурну та електричну такого трансивера. Також додатково в схемі було реалізовано інтерфейс - USB-порт на основі мікросхеми MAX3232.

Також було вибрано решту елементів, необхідних для роботи схеми та проведено трасування друкованої плати. При цьому було враховано основні вимоги, яким повинна відповідати топологія друкованої плати для можливості її серійного виробництва. Також розроблено компоновку друкованого вузла.

В середовищі Автокад оформлено відповідні креслення для відповідності стандартам та технічним вимогам до конструкторської документації.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
						57
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Список використаних джерел

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter
2. Allen, Phillip E.; Holberg, Douglas R. (2002). CMOS Analog Circuit Design. ISBN 978-0-19-511644-1.
3. Walden, R. H. (1999). "Analog-to-digital converter survey and analysis". IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 17 (4): 539–550.
4. Ndjountche, Tertulien (May 24, 2011). CMOS Analog Integrated Circuits: High-Speed and Power-Efficient Design. Boca Raton, FL: CRC Press. ISBN 978-1-4398-5491-4.
5. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
6. Яворський Б. І. Математичні основи радіоелектроніки. Частина І. Тернопіль: ТПІ імені Івана Пулюя. 1996. 184 с.
7. Драган Я.П., Яворський Б. І., Яворська Є. Б. Концепції і принципи побудови моделей для означення метрологічних характеристик ритміки кардіосигналів. Вісник нац. унів. "Львівська політехніка": зб. наук. пр. Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2002. № 443. С. 200-205.
8. Юзьків А. В., Яворський Б. І. Математичне моделювання електроретинографічних сигналів. Вісник ТДТУ. Тернопіль, 1997. № 2. С. 40-45.
9. Дедів І.Ю., Сверстюк А.С., Дедів Л.Є., Дозорський В.Г., Хвостівський М.О. Математичне моделювання, методи та програмне забезпечення опрацювання дихальних шумів у комп'ютерних аускультативних діагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 126 с. ISBN 978-617-574-219-8.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		58

10. Дедів Л.Є., Сверстюк А.С., Дедів І.Ю., Хвостівський М.О., Дозорський В.Г., Яворська Є.Б. Математичне та комп'ютерне моделювання електрокардіосигналів у системах голтерівського моніторингу: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 120 с. ISBN 978-617-574-218-1.

11. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. (2023) Matematychnе, alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia synfaznoho vyivlennia radiosyhnaliv v elektronnykh komunikatsiinykh merezhakh iz zavadamy [Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises]. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 111, no 3, pp. 48-57 [in Ukrainian].

12. Dozorskyi V., Dediv I., Sverstiuk S., Nykytyuk V., Karnaukhov A. The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.233-240. ISSN 1613-0073. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine.

13. Дозорський В.Г., Дозорська О.Ф., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Паньків І. М., Яворська Є.Б. Структура системи відбору біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини. Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. – Хмельницький: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету". – 2019. - №2(271) – с. 183-186.

14. Хвостівська Л.В., Осухівська Г.М., Хвостівський М.О., Шадріна Г.М., Дедів, І. Ю. Розвиток методів та алгоритмів обчислення періоду стохастичних біомедичних сигналів для медичних комп'ютерно-діагностичних систем. Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. /Категорія В/ 2019. Вип. 79. С. 78-84. doi: 10.20535/RADAP.2019.79.78-84.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		59

15. Дозорська О.Ф., Яворська Є.Б., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є. і Дедів І.Ю. Метод виявлення ознак основного тону в структурі електроміографічних сигналів для задачі компенсації порушеної комунікативної функції людини», Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (81), с. 56-64. doi: 10.20535/RADAP.2020.81.56-64.

16. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни «Матеріали та основи технології електронних апаратів» : для студентів напряму підготовки 6.050902 "Радіоелектронні апарати" / укл. : В. Г. Дозорський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 47 с.

17. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. / Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Тернопіль : ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 344с.

18. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі : навчальний посібник. Книга 1. Львів : «Магнолія 2006». 2013. 256 с.

19. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.

20. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

21. Ткачук Р. А. Основи технології радіоелектронних апаратів: навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с.

					СДВ 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		60

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“03” червня 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

На тему: «Радіочастотний трансивер діапазону 850-950 МГц»

Узгоджено:

Керівник кваліфікаційної роботи

Яворський Б.І. _____

“ ____ ” _____ 2024 р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАС-41

Степований Д.В. _____

“ ____ ” _____ 2024 р.

Тернопіль 2024

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Радіочастотний трансивер діапазону 850-950 МГц”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету на затвердження дипломного проекту № 4/7-581 від 03.06.2024 р.).

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Степований Д.В. групи РАС-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є розробка радіочастотного трансивера діапазону 850-950 МГц, що включає в себе:

- вибір апаратного забезпечення для даного пристрою;
- вибір елементної бази розроблювального пристрою;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи пристрою;
- розробку друкованої плати та друкованого вузла.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Пристрій повинен забезпечувати ряд характеристик, а саме:

- | | |
|--|---|
| - амплітуда вхідного сигналу, в межах | $U_{вх} = -0.6 \div 4.5 \text{ мВ}$ |
| - частота передачі сигналу | $f = (850-950) \text{ МГц} \pm 2 \text{ МГц}$ |
| - вихідна потужність сигналу | $P_{с.вих} = 4,5 \text{ дВ}$ |
| - девіація частоти, не більше | $\Delta f = 3 \pm 0.1 \text{ кГц}$ |
| - споживана потужність, не більше | 5 Вт; |
| - живитися пристрій повинен від акумуляторних батарей, напругою до | 4,5 В |

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- Пояснювальна записка;
- Структурна схема пристрою;
- Принципова схема пристрою;
- Друкована плата;
- Друкований вузол.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 - Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи

№ етапу	Назва етапу виконання	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	22.02. 2024
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	1.03. 2024
3	Вибір власних схемо-технічних рішень	16.03.2024
4	Вибір елементної бази для розроблюваного пристрою;	29.03.2024
5	Розрахунок основних вузлів у схемі пристрою.	12.04.2024
6	Створення допоміжної документації	26.04.2024
7	Розроблення креслень	26.04.2024
8	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	10.05.2024
9	Нормоконтроль	06.06.2024
10	Попередній захист	13.06.2024
11	Захист	27.06.2024

ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Поз. познач.		Найменування			Кіл.	Примітка						
		Конденсатори										
		K53-4 ОЖ0.464.096 ТУ										
C1		K53-4-15В-4,7 нФ			1							
C2,C8		K53-4-15В-1 нФ			2							
C3,C9...C11,C15 C17 C19		K53-4-15В-0,1 мкФ			7							
C21,C23		K53-4-15В-0,1 мкФ			2							
C4		K53-4-15В-3,3 пФ			1							
C5		K53-4-15В-4,7 пФ			1							
C6		K53-4-15В-470 пФ			3							
C7,C20,C25		K53-4-15В-100 пФ			2							
C12,C14		K53-4-15В-2,7 пФ			1							
C13		K53-4-15В-1 пФ			1							
C16		K53-4-15В-150 пФ			1							
C18,C22		K53-4-15В-10 пФ			2							
C24		K53-4-15В-330 пФ			1							
C25		K53-4-15В-3 пФ			1							
		Мікросхеми										
DA1		TRF6900			1							
DA2		MAX3232			1	Maxim						
		Котушки індуктивності										
L1		LQW1608-4,7			1	Murata						
L2,L3		LQW1608-10			2	Murata						
L4		LQW1608-8,2			1	Murata						
L5		LQH1N2RZJ0-4 2,			1	Murata						
					СДВ 2.893.001 ПЕЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Радіочастотний трансивер діапазону 850-950 МГц Перелік елементів				Лім.		Арк.	Аркушів
Розроб.		Степований Д.В.									1	2
Перевір.		Яворський Б.І.							ТНТУ, гр. РАс-41			
Н. Контр.		Марценюк А.С.										
Затверд.		Дунець В.Л.										
Реценз.		Дедів Л.Є.										

[illegible]

Форма	Зона.	Поз.	Найменування	Найменування	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			СДВ 2.893.001 СК	Складальне креслення		
A2			СДВ 2.893.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
				<u>Деталі</u>		
		1	СДВ 7.103.001	Плата друкована	1	
		2	СДВ 7.103.002	Прокладка	1	
		3	СДВ 7.103.006	Прокладка	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
				<u>Інші вироби</u>		
				Діоди		
		4		SMV1247-079	2	VD1, VD2
				Конденсатори		
				K53-4 ОЖО.464.096 ТУ		
		5		K53-4-15В-4,7 нФ	1	C1
		6		K53-4-15В-1 нФ	2	C2,C8
		7		K53-4-15В-0,1 мкФ	7	C3,C9...C11,C15, C17,C19
		8		K53-4-15В-0,1 мкФ	2	C21,C23
		9		K53-4-15В-3,3 пФ	1	C4
		10		K53-4-15В-4,7 пФ	1	C5
		11		K53-4-15В-470 пФ	1	C6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	СДВ 2.893.001	
Розроб.		Степований Д.В				
Перевір.		Яворський Б.І.				
Н. Контр.		Марценюк А.С.				
Затверд.		Дунець В.Л.				
Рецензент		Дедів Л.Є.			Радіочастотний трансивер діапазону 850-950 МГц Друкований вузол	
					Лім.	Арк.
						1
					Аркушів	2
					ФРК, гр. РТ-51	

Форма	Зона.	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка	
		12		K53-4-15B-100 пФ	3	C7,C20,C25	
		13		K53-4-15B-2,7 пФ	2	C12,C14	
		14		K53-4-15B-1 пФ	1	C13	
		15		K53-4-15B-150 пФ	1	C16	
		16		K53-4-15B-10 пФ	2	C18,C22	
		17		K53-4-15B-330 пФ	1	C24	
		18		K53-4-15B-3 пФ	1	C25	
				Резистори			
				C2-23-0,125 ОЖО.464.080 ТУ			
		19		C2-23-0,125-6,2 кОм ±10%	1	R1	
		20		C2-23-0,125-10 кОм ±10%	3	R2,R3,R7	
		21		C2-23-0,125-100 кОм ±10%	1	R4	
		22		C2-23-0,125-100 Ом ±10%	1	R5	
		23		C2-23-0,125-39 кОм ±10%	1	R6	
				Мікросхеми			
		24		TRF6900	1	DA1	
		25		MAX3232	1	DA2	
				Котушки індуктивності			
		26		LQW1608-4,7	1	L1	
		27		LQW1608-10	2	L2,L3	
		28		LQW1608-8,2	1	L4	
		29		LQH1N2RZJ0-4 2,	1	L5	
		30		Фільтри SFECV10.7H-A	2	BPF1, BPF2	
				Резонатор			
		31		РК-02МД-11,0592МГц	1	Z1	
				СДВ 2.893.001			Арк.
							2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			