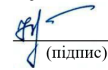


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря
Сікорського»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АППАРАТУРИ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


(підпис)

Лисенко О.М.
(ініціали, прізвище)

«15» _____ червня 2021р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Генератор ШІМ сигналу з регульованою скважністю
на основі мікроконтролера.

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-71

Сидорчук Максим Миколайович

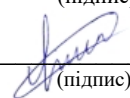
(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

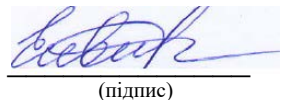
Керівник доцент, к.т.н. Лебедев Д.Ю.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент доцент, к.т.н Іванько К.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент 
(підпис)

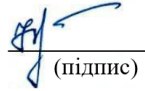
Київ - 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Лисенко О.М.
(підпис) (прізвище ініціали)

«02» квітня 2021р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Сидорчук Максим Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Генератор ШІМ сигналу з регульованою скважністю на основі мікроконтролера.
керівник проєкту Лебедев Денис Юрійович, доцент
затверджені наказом по університету від 24.05.2021 року No1316-с
2. Термін подання студентом проєкту 8 червня 2021 року
3. Вихідні дані до проєкту Пристрій повинен генерувати широтно модульований сигнал з заданими користувачем параметрами. Кліматичне виконання УХЛ 1 по ГОСТ 15150-69.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- аналіз технічного завдання;
- пошук аналогів;
- розробка схеми електричної принципової і опис структури пристрою;
- обґрунтування вибору елементної бази;
- розробка друкованого вузлу;
- конструкторсько-технологічні розрахунки;
- вибір типу та матеріалу друкованої плати;
- вибір класу точності друкованої плати;
- вибір методу виготовлення друкованої плати;
- написання програми;
- висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- схема електрична принципова - А1;
- друкована плата - А1;
- складальне креслення друкованої плати - А1.

6. Дата видачі завдання 25.03.21

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	15.04.21-17.04.21	виконано
2	Розробка функціональної схеми	17.04.21-19.04.21	виконано
3	Схемотехнічне проектування	19.04.21-26.04.21	виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	26.04.19-3.05.21	виконано
5	Розробка програмного забезпечення	3.05.21-10.05.21	виконано
6	Конструкторсько-технологічні розрахунки	10.05.21-12.05.21	виконано
7	Електричний розрахунок компонентів друкованих вузлів	12.05.21-15.05.21	виконано
8	Проектування у Altium Designer	15.05.21-20.05.21	виконано
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	20.05.19-27.05.21	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	27.05.21-7.06.21	Виконано

Студент

(підпис)

Сидорчук.М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Лебедев Д.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт викладено на 57 сторінках, він містить 5 розділів, 35 ілюстрацій, 13 таблиці, 9 джерел у переліку посилань та 3 креслень.

Метою даного проєкту є розробити систему генерації широтно-модульованого сигналу на основі мікроконтролера та виконати її розробку.

У першому розділі здійснено аналіз технічного завдання та проведено пошук аналогів.

У другому розділі було проведено схемотехнічне проектування пристрою, а саме, розроблено структурну схему пристрою, підібрано елементну базу.

У третьому і четвертому розділі було розроблено друкований вузол та проведено конструкторсько-технічний розрахунок.

У п'ятому розділі було розроблено програмне забезпечення пристрою у середовищі Keil CubeMx.

ABSTRACT

The diploma project presented on a 57 pages contains 5 sections, 35 pictures, and 13 tables.

The purpose of the project is to describe and develop system that generate pulse-width modulated signal.

In the first section gives a technical task analysis and patent search.

In the second section was conducted schematic design of the device, namely, the structural scheme of the device was developed and the element base was selected.

In the third and fourth section, the printed circuit board was developed and performed a design and technical calculation/

In the fifth section describes development of software part of project in the Keil CubeMx.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту

**на тему: Генератор ШІМ сигналу з регульованою скважністю на основі
микроконтроллера.**

Київ – 2021 року

Зміст

Перелік скорочень.....	3
Вступ.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕЗНИЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОГЛЯД АНАЛОГІВ.....	6
1.1 Теоретичні відомості і застосування ШІМ.....	6
1.2 Патентний пошук.....	11
РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ.....	17
2.1 Розробка структурної схеми.....	17
2.2 Розробка схеми електричної принципової.....	18
2.3 Вибір та обґрунтування елементної бази.....	22
РОЗДІЛ 3. Розробка друкованої плати.....	27
3.1 Вибір типу друкованої плати.....	27
3.2 Вибір класу точності друкованої плати.....	29
3.3 Розміщення компонентів ДП.....	30
3.4 Матеріал ДП.....	30
3.5 Вибір методу виготовлення друкованої плати.....	32
РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	33
4.1 Конструкторсько-технологічні розрахунки друкованої плати...	33
4.2 Електричний розрахунок друкованої плати.....	38
РОЗДІЛ 5. Програма керування пристроєм.....	48
5.1 Алгоритм програми.....	48
5.2 Ініціалізація портів та периферії.....	50
5.3 Функціонал ADC.....	52
5.4 Функціонал TIM2.....	53

					ДК71.467249.001 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		М.М.Сидорчук			Генератор ШІМ сигналу на основі мікроконтролера.	Літ.	Арк.	Аркцшів
Перевірів		В.Г. Гудар					1	58
Реценз.						КПІ ім. Ізгоря Сікарського, ФЕЛ, КЕОА		
Н. Контр.		В.Г. Гудар						
Затвердив		Д.Ю.Лебедев						

5.5 Функціонал USART2.....	54
5.6 Функціонал кнопки.....	54
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	58

ДОДАТОК А Технічне завдання на проектування

ДОДАТОК Б Лістинг програми

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Перелік скорочень

USB	Universal Serial Bus
DAC	Analog to digital converter
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
LED	Light-emitting diode
DC	Direct current
AC	Alternating current
PWM	Pulse width modulation
PDM	Pulse density modulation
САПР	Система автоматичного проектування
ДР	Друкований вузол
МК	мікроконтролер
МОН	метал оксид напівпровідник
ШІМ	широтно імпульсна модуляція

ВСТУП

Відновлювана енергія з кожним роком набуває все більшого значення у сучасному світі. З розвитком технологій методів отримання енергії з вітрової, сонячної і інших форм відновлюваної енергії, ефективність і собівартість таких методів стає більш і більш придатна для використання компаніями і споживачами. Є фактом те, що в 2016 році всесвітні грошові інвестиції в відновлювану енергію стали найнижчими за всі попередні роки, в той же час за цей рік було зафіксовано найбільша кількість установок відновлюваної енергії. В зв'язку з різкою змінною відношення між ціною і розробкою, ринок інновацій продовжує стрімко зростати.

Серед компонентів які використовуються для відновлювальної енергетики, інвертори посідають критичне місце як один із найважливіших компонентів. Більшість відновлюваної енергії генерується в DC, а як відомо передавати такий вид струму на великі відстані є дуже затратно, тому інвертори грають ключову роль у перетворенні DC в AC для ефективної інтеграції в існуючі електромережі.

Інвертори відновлюваної енергії грають ключову роль в промисловому застосуванні де використовуються однофазні або трифазні мотори або інші обертаючі машини. Змінна частота та напруга (отримувана від інверторів) – це принцип автономного управління для цього типу обладнання.

Для здійснення перетворення потужності, DC-AC інвертори в основному використовують широтно імпульсну модуляцію. PWM це корисний механізм, в якому перемикачі, такі як польові МОН-транзистори, керуються імпульсами зі змінною шириною. Для забезпечення автоматичного управління і регулювання вихідною змінною напругою і частотою інвертора використовуються метод PWM.

Багато досліджень і технологій було розроблено для отримання кращої зворотної реакції від системи контролю інвертора. Звичайні інвертори

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

змінюють вихідну напругу в залежності від змін в навантаженні, інвертори на основі PWM, регулюють вихідну напругу за допомогою зміни довжини імпульсу на доволі високій частоті. Як результат, вихідна напруга залежить від частоти генерованого сигналу і від довжини імпульсу, яка змінюється відповідно до значення навантаження підключеного до виходу. З цим типом регуляції, інвертори забезпечуються константне номінальне значення напруги і частоти незалежно від вихідної потужності.

Метою даного проєкту є розробка приладу який має змогу генерувати ШІМ сигнал, параметри якого користувач може задати за допомогою персонального комп'ютера і панелі керування розташованого на платі,. Для розробки такого приладу було проаналізовано методи генерації ШІМ сигналу зі змінними параметрами, і використання такого сигналу у різних сферах техніки (описані в розділі 1.1). Актуальність проєкту будується на тому що проаналізовані рішення бракують зручного для користувача інтерфейсу.

Для демонстрації роботоздатності розробленої схеми і програмного забезпечення буде розроблено прототип пристрою[10].

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕЗНИЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОГЛЯД АНАЛОГІВ

1.1 Теоретичні відомості і застосування ШІМ

Цифровий сигнал має дві позиції: включення або виключення, скорочено інтерпретується як 1 або 0, відповідно. Аналоговий сигнал в свою чергу, може бути включений, виключений, половина, третина, і так далі, будь яке безкінечне кількість чисел між 0 та 1, 1 це напруга живлення, а 0 потенціал землі. В електроніці вони використовуються по-різному, але дуже часто працюють разом (такий режим роботи схеми має свою назву “робота зі змішаними сигналами”). Іноді ми повинні взяти аналоговий вхідний сигнал (наприклад температура, освітленість і так далі) і представити ці значення в пам’яті МК (який розуміє тільки цифровий сигнал). Таке перетворення сигналу робиться за допомогою ADC. Але що якщо ми хочемо, провести обернену операцію і керувати аналоговим світом (лампочка, двигун і так далі) за допомогою цифрового сигналу.

PWM це спосіб керування аналоговим пристроєм за допомогою цифрового виходу. Іншими словами, ви можете вивести модульований сигнал з цифрового пристрою, такий як МК наприклад, для керування аналоговим пристроєм. Це один із основних засобів, за допомогою якого МК, керуються аналоговими пристроями, наприклад як двигуни з регульованою швидкістю обертання, динаміки, світлодіодні лампи та інше. PWM не є справжнім аналоговим виходом, однак. PWM імітує аналогічний результат, передаючи потужність, за допомогою імпульсів напруги.

Прикладом може бути прикладення повної напруги живлення до мотору чи лампи впродовж долі секунд або імпульс напруги з інтервалами, які змусять двигун або лампу роботи те що ви хочете. Насправді, напруга прикладається, а потім зникає багато разів за відповідні проміжки часу, але реакція аналогових систем на такий сигнал буде аналогова.

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Пристрій який керується PWM, в кінцевому випадку поводить себе як середнє значення імпульсів. Середнє значення напруги може бути постійним або змінним у часі. Якщо ми знаємо що рівню логічної одиниці відповідає напруга 5 В, а значенню логічного нуля 0 В, і що відношення високого рівня до періоду (таке відношення має назву скважність M, рис 1.1) 50 %, то ми можемо отримати середню напругу на циклі помноживши скважність на напругу високого рівня.

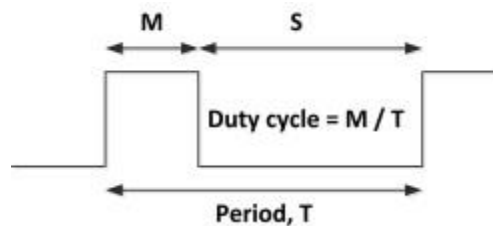


Рисунок 1.1 – Основні параметри PWM

Для збільшення середнього значення напруги, потрібно збільшити значення скважності (рис 1.2).

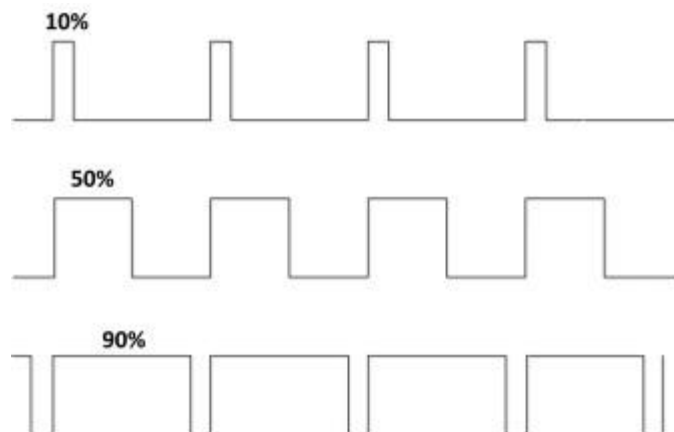


Рисунок 1.2 – Форма сигналу в залежності від скважності

Одно із найважливіших використання PWM це блок управління двигуном. На рис. 1.3 показано типову установку, сигнал PWM надходить на блок управління двигуном, який в свою чергу керує швидкістю і напрямком крутіння двигуна.

Часова діаграма на рис. 1.4 показує приклад, в якому напрям і величина крутного моменту регулюється за допомогою сигналу PWM. Управління таким типом двигуна має назву “50 % PWM”, що означає при скважності сигналу 0.5 крутний момент відсутній, а скважність більше або менше 0.5 керує величиною крутного моменту в обох напрямках.

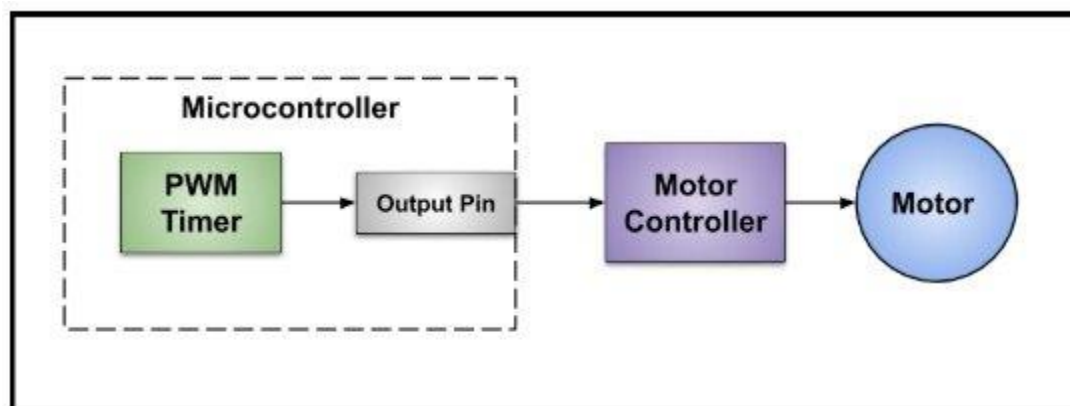


Рисунок 1.3 – Структура управління двигуном

В 1 випадку скважність сигналу менше 0.5 і мотор крутиться проти часової стрілки (CCW-counterclockwise), з інтенсивністю яка пропорційна значенню скважності що менше 50 %. В 2 випадку скважність більше 0.5 і мотор крутиться за часовою стрілкою (CW – clockwise) з інтенсивністю яка пропорційна значенню скважності що більше 50 %. В 3 випадку скважність сигналу рівна 0.5 і крутний момент відсутній.

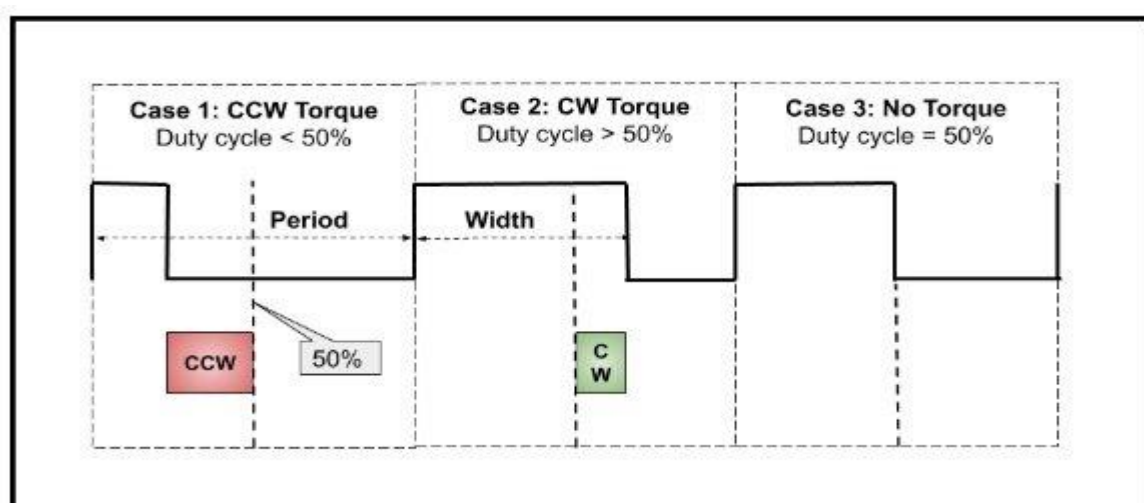


Рисунок 1.4 – Часова діаграма управління двигуном

Інший приклад це сервопривід, який змінює кут нахилу валу відповідно до довжини імпульсу. Наприклад 1.5 мілісекунд імпульсу встановлює вал у позицію 0° . Змінна довжини імпульсу з 1.5 до 1.0 мілісекунд обертає вал з 0° на -90° і змінна з 1.5 до 2 мілісекунд обертає вал з 0° на $+90^\circ$. Період дорівнює 20 мілісекунд і активний високий імпульс контролює напрям і швидкість. Сервопривід не рухається при довжині імпульсу 1.5 мілісекунд. Збільшення довжини імпульсу призведе до збільшення швидкості у напрямку проти часової стрілки, і звуження імпульсу призведе до обертання за часовою стрілкою.

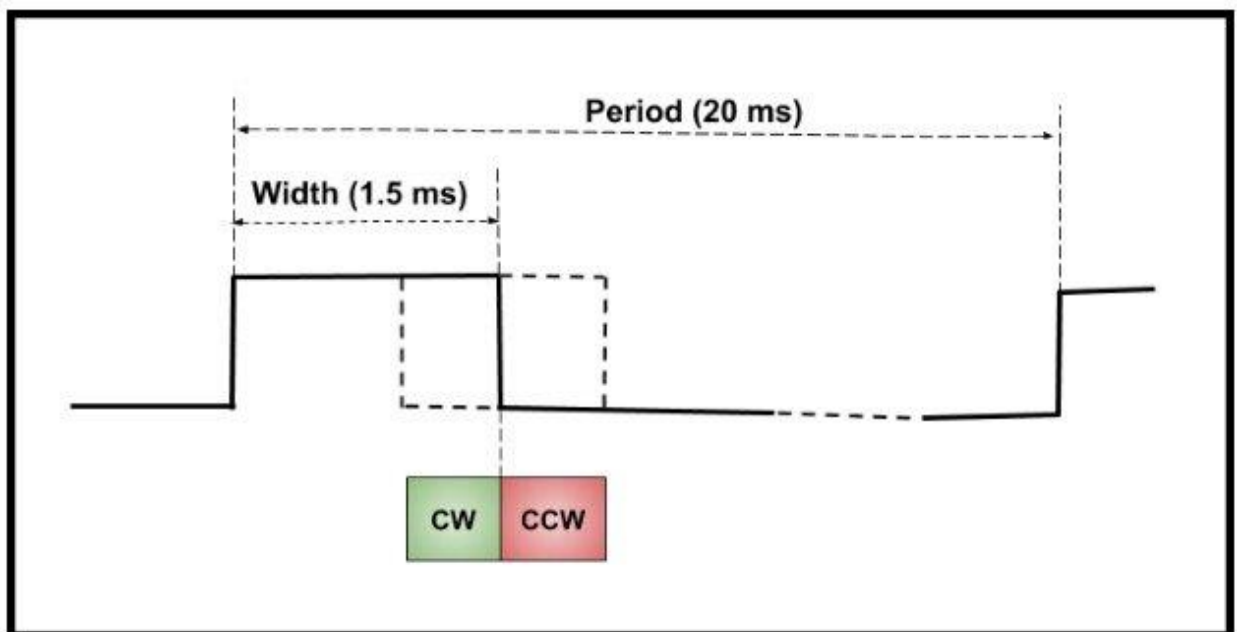


Рисунок 1.5 – Змінна швидкості і напрямку серводвигуна

Інший приклад використання PWM це контролювання інтенсивність світіння світлодіода. На рис 1.6 представлена базова схема. Згідно схеми світлодіод буде світитися в тому випадку коли вихід з PWM відсутній. PWM створює швидко змінний вихід, який включає світлодіод і виключає доволі швидко так що людське око сприймає не мигання, а зміну інтенсивності світіння. Часова діаграма демонструє три випадки.

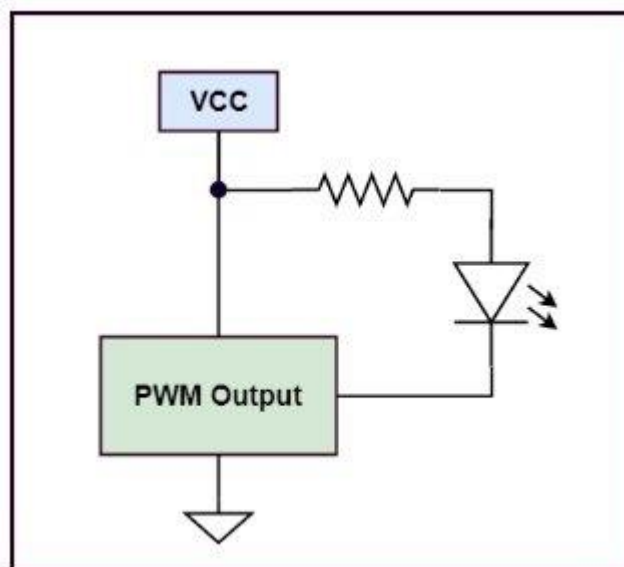


Рисунок 1.6 – Схема керування інтенсивності світіння світлодіоду

В 1 випадку при малій скважності сигналу, світлодіод буде світити яскраво. В 2 випадку основний проміжок часу на періоді різниця потенціалів на світлодіоді буде рівна 0 а отже світіння буде не дуже яскраве. В 3 випадку буде спостерігатися середня від максимальної інтенсивності світіння.

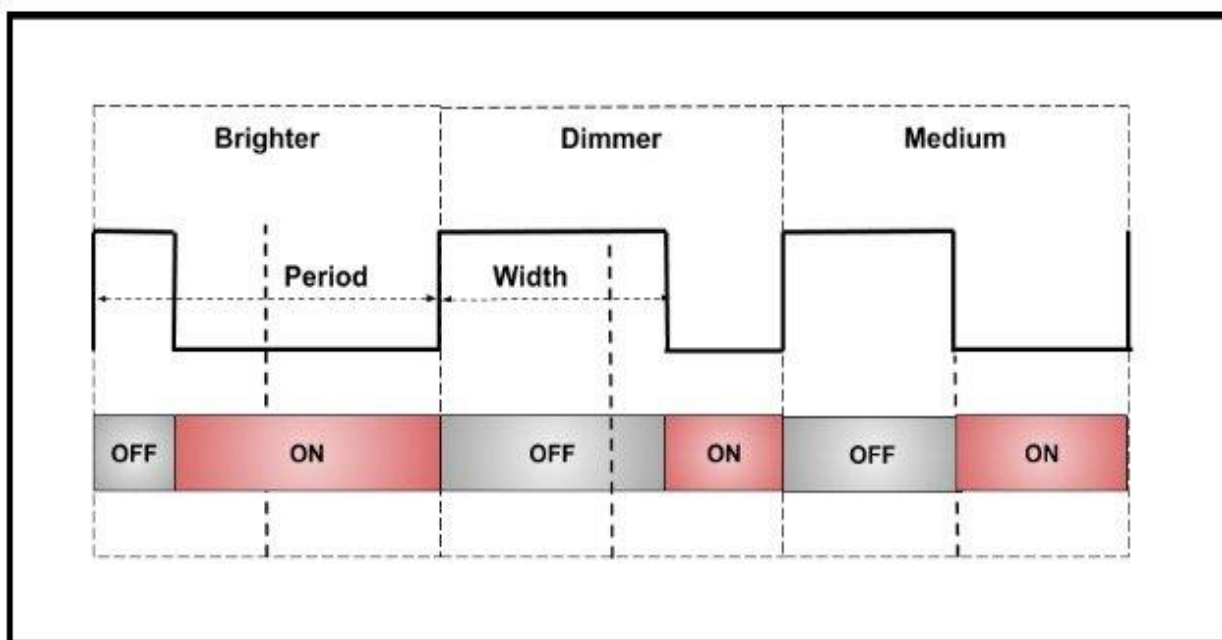


Рисунок 1.7 – Часова діаграма інтенсивності світіння світлодіоду

1.2 Патентний пошук

Патент US7391280B2

Розглянемо патент US7391280B2, який належить компанії Sunplus Technology Co Ltd. У патенті приведена схема і спосіб виконання широтно імпульсної модуляції. Модулятор щільності імпульсів використовується для прийому найменших N бітів вхідних даних і для генерації широтно модульованого сигналу. Кількість імпульсів модульованого сигналу в 2^N кадрах відповідає N менш значущих бітів вхідних даних. Суматор використовується щоб згенерувати PWM дані, сумуючи значення більш значущих M бітів вхідного сигналу, зі значенням сигналу модуляції щільності імпульсів.

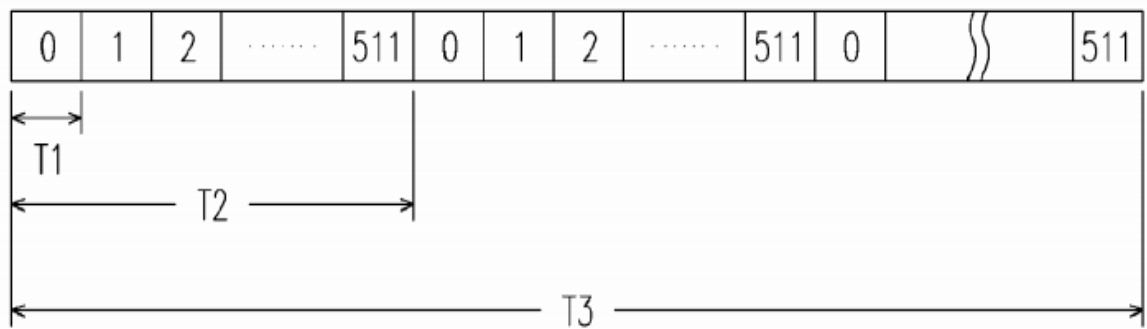


Рисунок 1.8 – Часова діаграма модуляції сигналу

На рисунку 1.8 продемонстровано часову діаграму широтно імпульсної модуляції для 10 бітного сигналу. Час $T1$ це період тактового сигналу, час $T2$ це цикл кадру, час $T3$ це цикл дискретизації вхідного сигналу. Так як найбільш значущий біт відповідає за знак даних, максимальна довжина імпульсу буде дорівнювати $T2 = 2^9 * T1$. Довжина імпульсу для даних які передаються буде залежати від його фактичного значення. Наприклад якщо що значення даних що передаються дорівнює 128, то значення скважності сигналу буде дорівнювати $128/512$, і якщо значення яке передається 100, то скважність сигналу в кадрі буде $100/512$. В свою чергу час $T3$ залежить від кількості кадрів які ми передаємо, наприклад якщо ми маємо 4 кадри то $T3 = 4 * T2$.

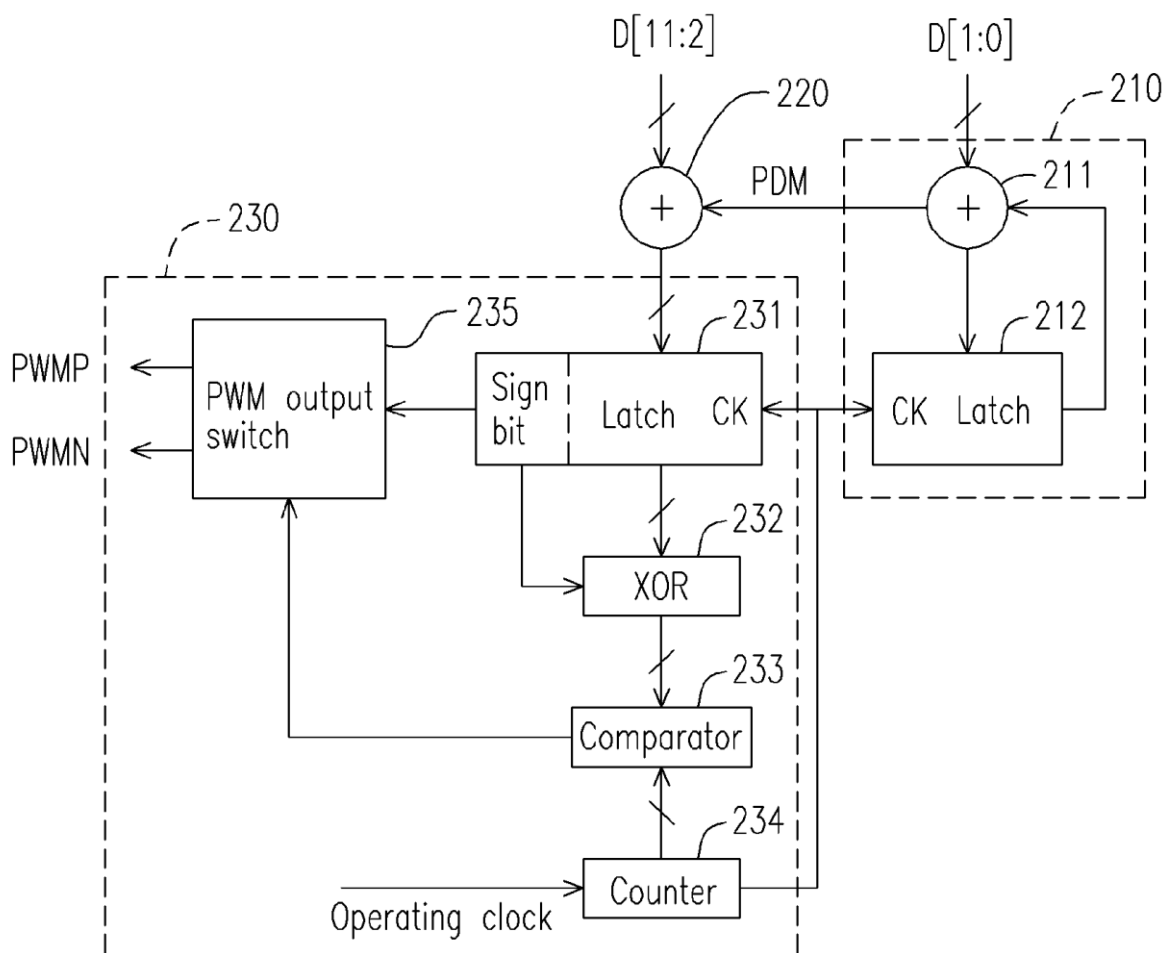


Рисунок 1.9 – Принципова блок схема

Як показано на рис 1.9 PWM схема складається з модулятора щільності сигналу 210, суматора 220, и широтно імпульсного модулятора 230. В свою чергу модулятор щільності сигналу 210 складається з тригеру 212 і суматора 211. Широтно імпульсний модулятор 230 складається з тригеру 231, калькулятору абсолютного значення 232, лічильнику 234, компаратору 233, перемикач виходу 235. Генератор щільності сигналу отримує на вхід два найменш значущих біта даних D[1:0] і генерує таку кількість імпульсів в 4 кадрах яка відповідає вхідному значенню.

Наприклад якщо D[1:0] дорівнює 01. На 1 кадрі ми матимемо ситуацію коли початкове значення тригеру дорівнює 00 після додавання значення вхідного сигналу тригер міститиме значення 01, а сигнал біту переносу буде 0. На 2 кадрі тригер міститиме значення 01 після додавання значення тригеру

зміниться на 10, а біт переносу буде 0. На 3 кадрі тригер міститиме значення 10 після додавання значення зміниться на 11, а біт переносу 0. На 4 кадрі значення тригеру буде 11 після додавання 00, а біт переносу 1.

А отже на 4 кадрі якщо вхідний сигнал $D[11:2]$ дорівнює значення 128 то після додавання з сигналом PDM отримаємо 129. Широко імпульсний модулятор 230 згенерує позитивний PWM сигнал довжини імпульсів яких відповідатиме 128, 128, 128 і на останньому кадрі 129.

Так як вхідні дані $D[11:0]$ є знаковим числом і $D[11]$ це знаковий біт, і якщо вхідне значення $D[11:0]$ яке надходить на суматор 220, дорівнює 0111111111 і сигнал PDM згенерований суматором 211 дорівнює 1 то вихідне значення суматора 220 буде дорівнювати 1000000000 в такому випадку знакове число яке надходить на тригер 231 є не вірним. Щоб вирішити цю проблему, перед тим як сумувати значення вхідних даних зі значення PDM, потрібно провести знакове розширення 232 для вхідних даних.

Також маємо лічильний 234 який генерує значення лічильнику відповідно до робочої частоти. Окрім генерації лічильного значення, лічильний 234 також генерує сигнал нового фрейму, який передається тригеру 212 і 213. Після цього компаратор 233 порівнює значення лічильника 234 зі значення тригеру 231 після знакового розширення яке отримане за допомогою операції XOR 232. І нарешті вихідний перемикач, перемикаю значення порівняння на позитивний PWM сигнал PWMP або негативний PWM сигнал PWMN відповідно до знакового біту згенеровано тригером 231.

Патент US7184480B1

Розглянемо патент US7184480B1 який належить компанії O2Micro Inc. У патенті приведена схема цифрового генератора PWM. Схема складається з цифрового лічильника, N-бітного DAC і компаратора. Цифровий лічильник генерує шину бінарного сигналу в манері збільшення і/або зменшення. DAC генерує ступеневий сигнал який надходить до компаратора. Також схема може

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

бути доповнена додатковим компаратором для генерації сигналу скидання лічильника який контролює частоту генерації PWM.

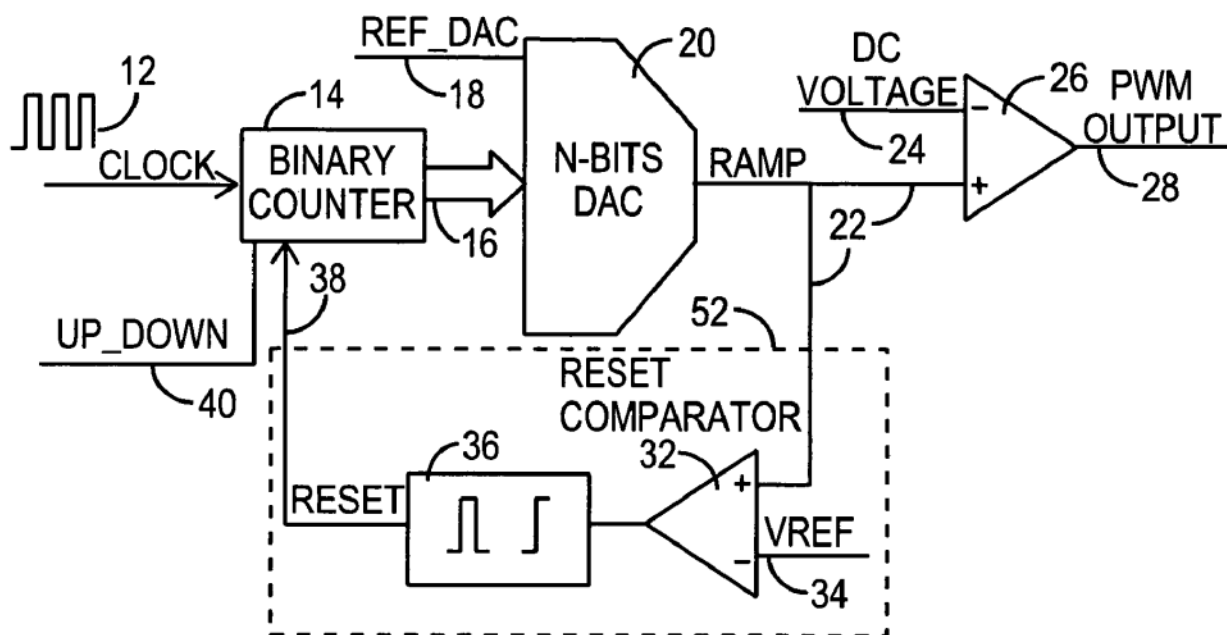


Рисунок 1.10 - Схема цифрового генератора PWM

На рисунку 1.10 представлена принципова схема генератора. Цифровий лічильник 14 представляє собою n-бітний лічильник який може бути перепрограмований лічити вниз або верх за допомогою сигналу 40, лічильне значення генерується синхронно до сигналу 12 і вихідний сигнал лічильника це шина 16. Ширина шини 16 може відповідати кількості бітів DAC 20, але в загальному може приймати будь-яке значення для досягнення потрібного розширення. DAC 20 це цифро-аналоговий перетворювач який генерує ступінчастий сигнал 22 як функцію від сигналу 18 і цифрового значення 16. Якщо вхідний сигнал 16 згенеровано при постійному сигналі збільшення значення 40, то форма вихідного сигналу з DAC 40 буде мати форму представлену на рисунку 1.11

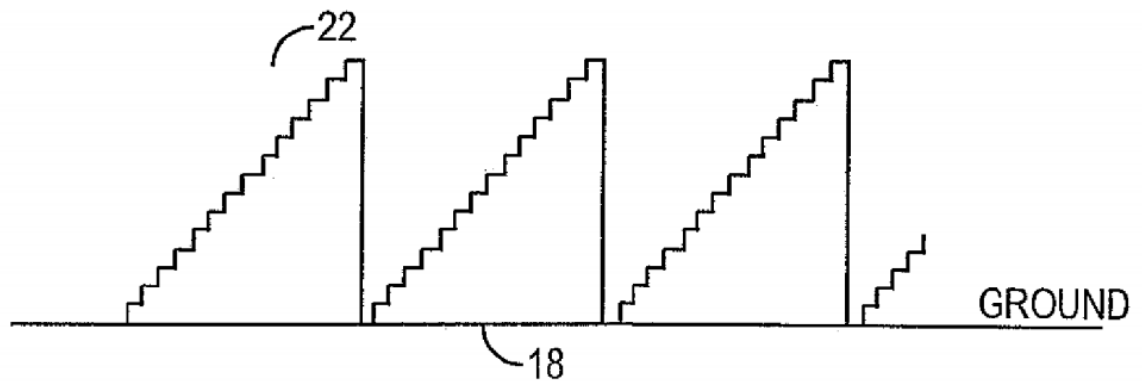


Рисунок 1.11 - Форма сигналу 22 при рахуванні вгору

Цифровий лічильник 14 і DAC 20 генерують періодичний ступінчастий сигнал, але не обов'язково саме ступінчастий форма сигналу може бути складнішою наприклад синусоїда але це потребує більш складної схеми генерації контролюючого сигналу 40 і широко розрядного лічильника і DAC. Кількість ступенів сигналу 22 дорівнює 2^n , де n – кількість бітів. Тоді як період сигналу ступінчастого сигналу 22 буде дорівнювати $T \cdot 2^n$, де T – період сигналу синхронізації 12.

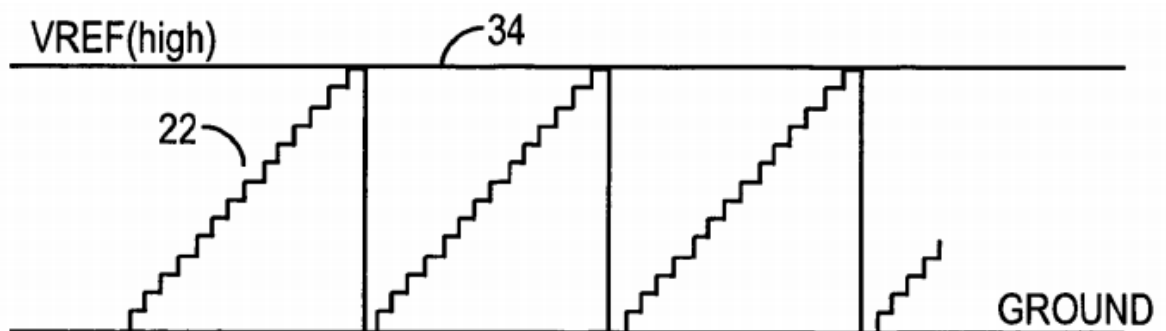


Рисунок 1.12 - Зміна періодичності сигналу 22 за допомогою сигналу 34

Компаратор 26 використовується для генерації PWM сигналу 28 як функцію від ступінчастого сигналу 22 і сигналу порівняння 24. На рисунку 1.13 продемонстровано згенерований сигнал 28, періодичність якого залежить від сигналу 22, а скважність від 24 сигналу. Періодичність ступінчастого сигналу 22 регулюється за допомогою сигналу скидання 38, який генерується компаратором 32 залежно від сигналу 34 як продемонстровано на рисунку 1.12

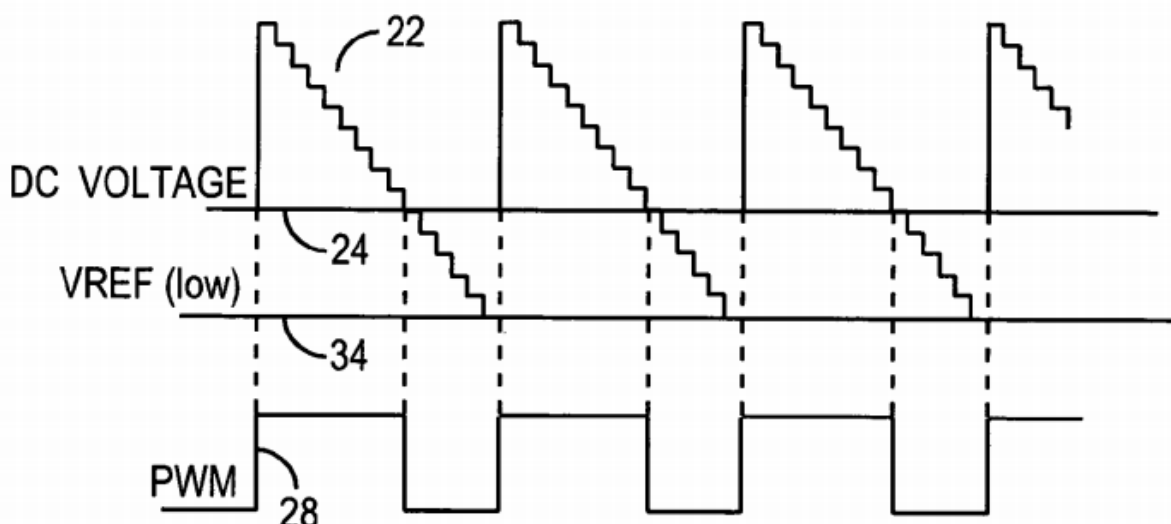


Рисунок 1.13 - Згенерований PWM сигнал

Висновок до розділу

У даному розділі було описано основні теоретичні відомості, також мету розробки яка окреслюється використанням генератора PWM сигналу в обчислювальній техніці. Також було приведено дві схеми генерації такого типу сигналу. Тоді як перша схема характеризується використання тільки для побудови на дискретних елементах або у спеціалізованих інтегральних мікросхемах, друга схема також має використання у МК окрім вище зазначених.

РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми

Структура генератору широтно імпульсно модульованого сигналу складається з таких блоків:

- Блок живлення
- Блок керування
- Блок обробки даних
- Блок вводу-виводу даних

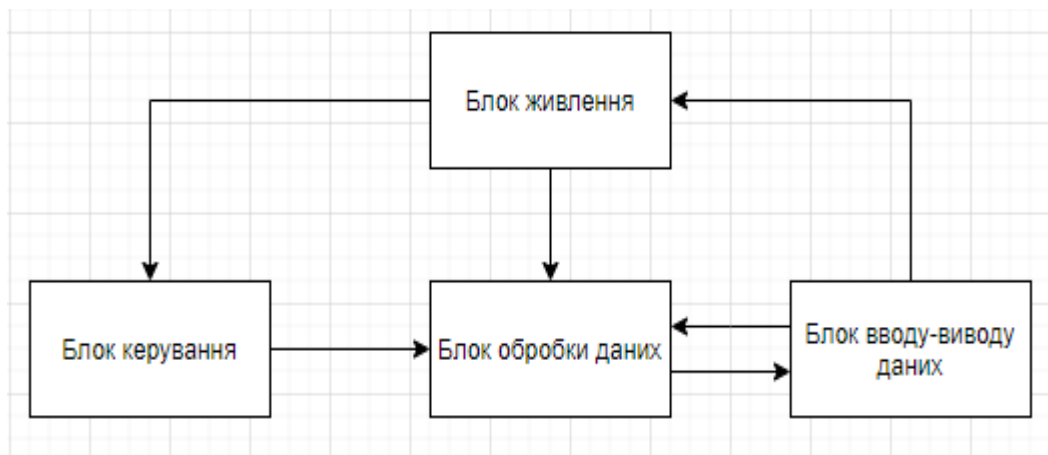


Рисунок 2.1 - Структурна схема приладу

Блок живлення. В схемі живлення з використанням джерела від порту USB можна отримати потрібні параметри напруги за допомогою регульованого стабілізатора в діапазоні 1.25 до 3.75В. USB порт забезпечує живлення периферійних приладів 500 мА при $5\text{ В} \pm 5\%$. Порт USB можна використовувати для живлення зовнішніх схем, коли відсутній інше джерело постійної напруги.

Блок керування. Функціонал даного блоку передбачає основний метод керування блоком обробки даних.

Блок вводу-виводу. Забезпечує комунікацію між блоком обробки даних і зовнішнім світом.

2.2 Розробка схеми електричної принципової

Основою блоку керування є тактова кнопка, обмежуючий резистори номіналом 300 Ом. Схема включення представлена на рис. 2.2 Кнопка SB1 підключається до порту PC13 МК.

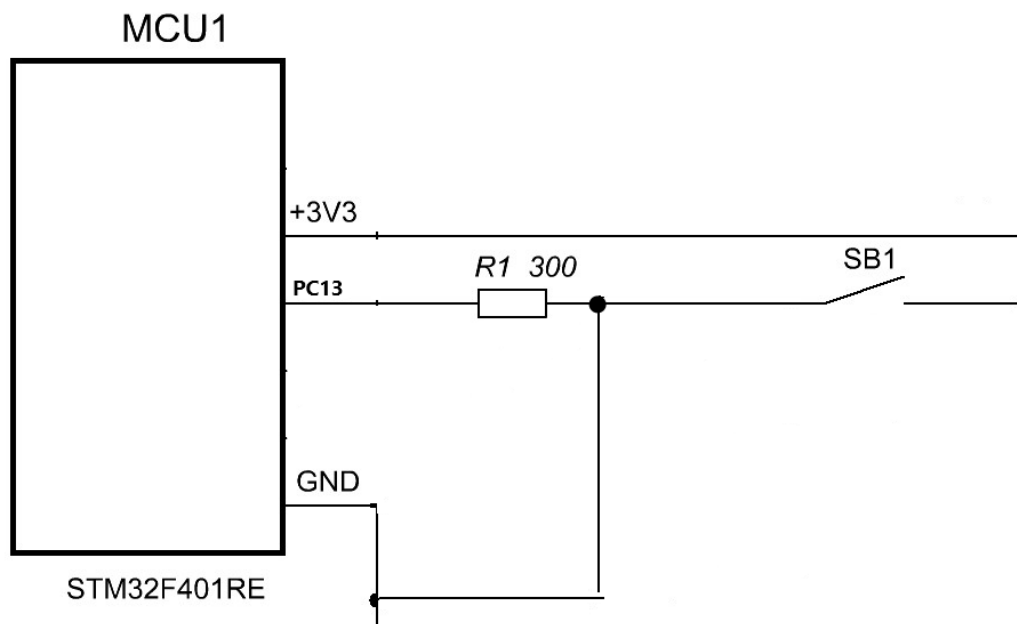


Рисунок 2.2 - Схема блоку керування

Також маємо задання довжини імпульсу за допомогою положення ручки потенціометру. Схема включення представлена на рис. 2.2. Потенціометр включений в схему як подільник напруги, тоді напруга на вході АЦП визначається за рівнянням (2.1)

$$U_{PA0} = \frac{U_{жив} * R_{23}}{R_{13}}, \quad (2.1)$$

де R_{23} – значення опору між 2 і 3 контактами потенціометру, Ом;

R_{13} – значення опору між 1 і 3 контактами потенціометру, Ом;

$U_{жив}$ – напруга живлення, В.

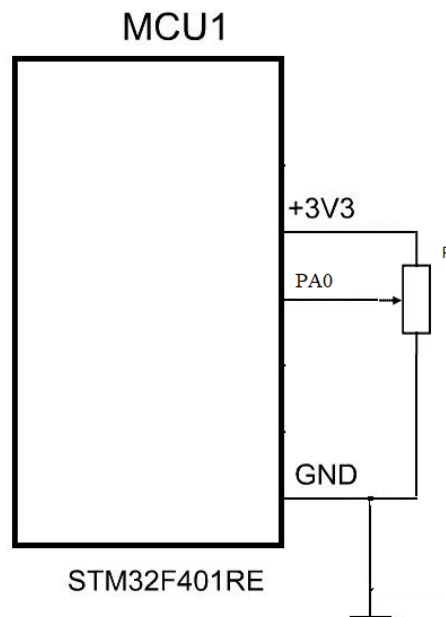


Рисунок 2.3 - Схема блоку керування 2

Для демонстрації роботи генератора широтно імпульсно модульованого сигналу було обрано регуляцію яскравості світіння світлодіоду. Включення світлодіод через струмообмежуючий резистор. Розрахуємо опір даного резистору за формулою (2.2)

$$R = \frac{U_{\text{жив}} - U_{\text{пад}}}{I}, \quad (2.2)$$

де $U_{\text{жив}}$ - напруга живлення, В;

$U_{\text{пад}}$ - напруга падіння на світлодіоді, В;

I – струм який проходить через світлодіод, В;

$$R = \frac{3.3 - 1.5}{0.015} = 120 \text{ Ом};$$

Тепер розрахуємо потужність що виділяється на даному резисторі за формулою (2.3)

$$P = I^2 R, \quad (2.3)$$

де I – протікаючий струм, А;

R – опір, Ом.

$$P = 0.015^2 \cdot 120 = 0.027 \text{ Вт};$$

Для передачі даних по UART на комп'ютер є можливість з'єднати дані через інтерфейс USB. Для цього потрібно перетворити сигнали послідовного порту RS-232 в сигнали, придатні для використання порту USB. На рис 2.4 представлена схема даного перетворювача.

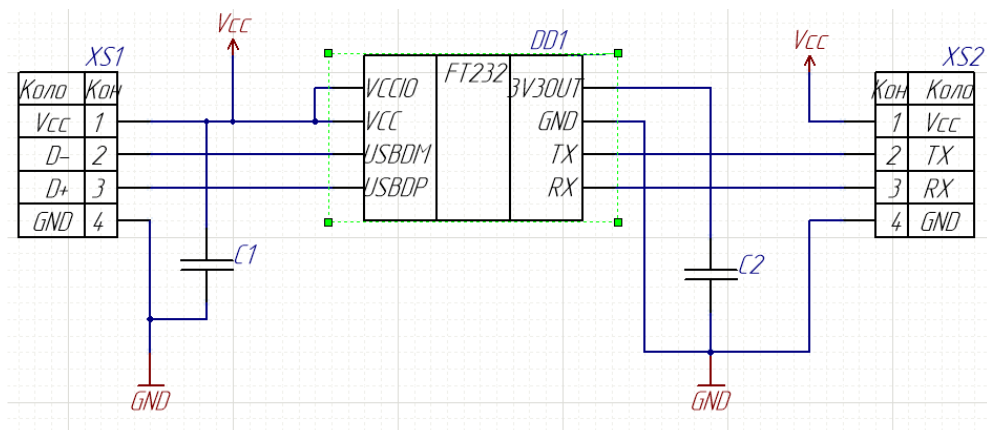


Рисунок 2.4 - USB-UART перетворювач

Для того що перетворити 5 В які ми маємо на порті USB у потрібні нам 3.3В використаємо схему представлену на рис 2.5.

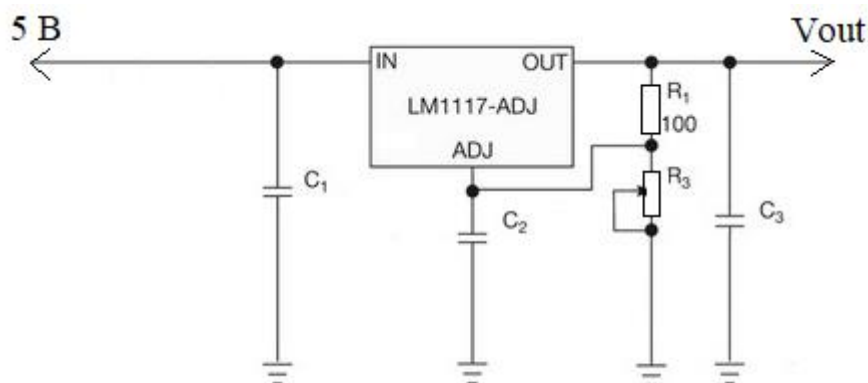


Рисунок 2.5 - Блок живлення

Якщо використовувати лінійний стабілізатор, ми можемо отримати будь-яке значення напруги в межах від 1.2 В до 3.75 В. Задовільне значення можна отримати регулюючи значення опорів R2 R3 які утворюють подільник напруги. Використовуючи рівняння для вихідної напруги (2.4) можна розрахувати задовільне для нас значення опору R3.

$$V_{out} = 1.25 * (1 + \frac{R_3}{R_2}), \quad (2.4)$$

де 1.25 – напруги падіння між контактами Out і ADJ, В;

R_2 – опір резистору R_2 , Ом;

V_{out} – напруга виходу блоку живлення, В.

$$R_3 = \frac{3.3 * 100}{1.25} = 120 \text{ Ом};$$

Для виводу частоти і скважності генерованого сигналу будемо використовувати семисегментні індикатори. Для забезпечення безпечного для роботи струму використаємо струмообмежуючі резистори. Розрахуємо номінальне значення цих компонентів за формулою (2.2).

$$R = \frac{3.3 - 1.8}{0.007} = 220 \text{ Ом};$$

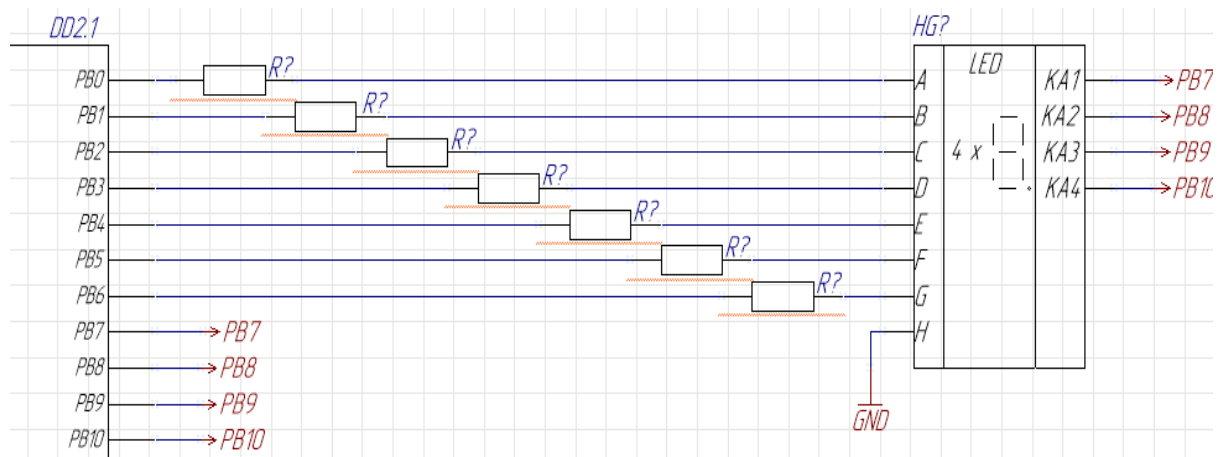


Рисунок 2.6 - Схемо виводу частоти і скважності сигналу

Тепер розрахуємо потужність яку виділяє кожен з резисторів за рівнянням (2.3)

$$P = 0.007^2 * 220 = 11 \text{ мВт};$$

2.3 Вибір та обґрунтування елементної бази

Вибір основного компоненту

Центральний елемент нашого пристрою це МК. Основними критеріями вибору будуть наявність необхідної периферії, а саме:

- Таймер
- ADC
- UART

Найпоширенішими МК які мають дану периферію на борту є STM32 і PIC32. Але так як PIC32 має більш високу ціну за однаковий функціонал і менш доступне програмне забезпечення. Обмежимося лінійкою STM32. Так як я маю в наявності налагоджувальну плату STM32 Nucleo, на які розташований кристал STM32F401RE.

І він має такі характеристики:

- Core: ARM® 32-bit Cortex® -M4
- 512 Кбайт Flash пам'ять
- 96 Кбайт SRAM
- Частота вбудованого генератора синхроімпульсів HSI - 8 МГц
- 3x USARTs running at up to 10.5 Мбіт/с
- 4x SPI running at up to 42 Мбіт/с
- 3x I²C
- 1x SDIO,
- 1x USB 2.0 OTG full speed
- 2x full duplex I²S up to up to 32-біт/192кГц

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- 12-bit ADC reaching 2.4 MSPS
- 10 timers, 16- and 32-bit, running at up to 84 МГц

Вибір периферійних компонентів. Вибір периферійних компонентів буде здійснено за допомогою методу матриці параметрів. Метод полягає у тому що, параметри які є критерієм вибірки компонентів, зводяться в матрицю, які за допомогою математичних операцій переварюються в зручний для порівняння вигляд.

Стабілізатор напруги

Мікросхема має відповідати критеріям:

- Вхідної напруги 5 В
- Вихідної напруги 3.3 В
- Діапазон робочої температури +5...+40 °С

Було обрано дві мікросхеми що відповідають даним вимогам LM1117MP-3.3 TI і ADP3338AKCZ-3.3 AD. Критеріями оптимізації виступають діапазон температур, ціна і маса.

Тепер створимо матрицю Y , так щоб більшому значенню матриці відповідала краще значення параметру за формулою (2.5), якщо ж параметр задовольняє цій умові то заносимо в нову матрицю значення по модулю.

$$Y_{ij} = \frac{1}{|X_{ij}| * k}, \quad (2.5)$$

де X_{ij} – параметр компоненту;

k – коефіцієнт параметру.

Таблиця 2.1 – Матриця параметрів стабілізатора напруги

Мікросхема	Параметри			
	Мінімальна Температура, °C	Максимальна Температура, °C	Вага, мг	Ціна, \$
LM1117	-40	125	112	0.99
ADP3338	-40	85	250	2.71
Ваговий коефіцієнт	0.2	0.2	0.3	0.3

Далі приведемо матрицю параметрів Y до матриці нормованих параметрів A за формулою (2.6)

$$a_{ij} = \frac{\max_j - y_{ij}}{\max_j}, \quad (2.6)$$

де $\max_j$ – максимальне значення в колонці;

y_{ij} – значення яке нормалізуємо.

Таблиця 2.2 – Матриця параметрів Y

$Y =$	8	25	2.68	0.30
	8	17	1.20	0.11

Таблиця 2.3 – Матриця нормалізованих параметрів

$A =$	0	0	0	0
	0	0.32	0.552	0.6347

Для узагальнення матриці по отриманим параметрам введемо оціночну функцію за формулою (2.7)

$$Q = \sum a_j, \quad (2.7)$$

де a_j - елемент в j стовпці.

Таблиця 2.4 – Значення оціночних функції

Q =	0
	1.5067

Так як мікросхема LM1117 має менше значення оціночної функції, обираємо цю мікросхему.

USB-UART перетворювач

Мікросхема має відповідати критеріям:

- Діапазон робочої температури +5...+40 °C
- Підтримка швидкості 115200 бод.

Було обрано дві мікросхеми що відповідають даним вимогам FT234XD-T FTDI і FT232RQ FTDI. Критеріями оптимізації виступають маса, ціна, струм споживання.

Таблиця 2.5 – Матриця параметрів USB-UART перетворювача

Мікросхема	Параметри		
	Струм споживання, мА	Вага, г	Ціна, \$
FT232	25	0.17	3.9
FT234	8.3	0.78	1.81
Ваговий коефіцієнт	0.4	0.3	0.3

Тепер створимо матрицю Y , так щоб більшому значенню матриці відповідала краще значення параметру за формулою (2.5), якщо ж параметр задовольняє цій умові то заносимо в нову матрицю значення по модулю.

Таблиця 2.6 – Матриця параметрів Y .

$Y =$	10	0.051	76.923
	3.32	0.234	165.75

Далі приведемо матрицю параметрів Y до матриці нормованих параметрів A за формулою (2.6).

Таблиця 2.7 – Матриця нормалізованих параметрів

$A =$	0	0.7821	0.5359
	0.668	0	0

Для узагальнення матриці по отриманим параметрам введемо оціночну функцію за формулою (2.7)

Таблиця 2.8 – Значення оціночних функції

$Q =$	1.3179
	0.668

Так як мікросхема FT234 має менше значення оціночної функції, обираємо цю мікросхему.

Висновок до розділу

У цьому розділі було приведено структурну схему пристрою і описано основні її елементи. Також було створено основні функціональні вузли пристрою опираючись на раніше описану структурну схему. Далі було підібрано елементу базу за методом матриці параметрів.

РОЗДІЛ 3. Розробка друкованої плати

Друкована плата - це тонка пластина, виготовлена зі склопластику, композитної епоксидної смоли або інших ламінованих матеріалів. Залежно від застосувань використовуються різні типи друкованих плат. Більшість друкованих плат для простої електроніки прості і складаються лише з одного шару. Більш складне обладнання, таке материнські плати, може мати кілька шарів, іноді до дванадцяти.

3.1 Вибір типу друкованої плати

Існує кілька різних типів друкованих плат, кожна з яких має свої специфічні виробничі характеристики, типи матеріалів та використання:

- Односторонні (ОДП):

Одношарова або одностороння друкована плата - це та, яка виготовлена з одношарового базового матеріалу або основи. Одна сторона основного матеріалу покрита тонким шаром металу. Мідь є найпоширенішим покриттям через те, наскільки добре вона працює як електричний провідник. Після нанесення мідного покриття на основу зазвичай застосовується захисна паяльна маска, а потім останній шовковий екран для позначення всіх елементів на платі.

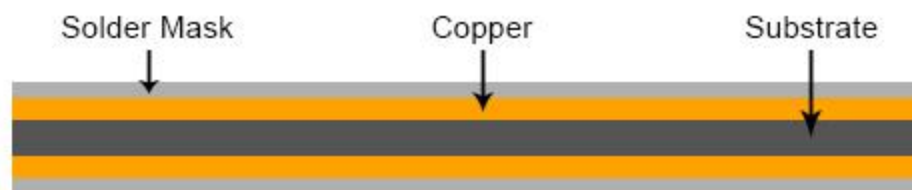


Рисунок 3.1 - Структура одношарових друкованих плат

- Двосторонні (ДДП):

Двошарові або двосторонні друковані плати мають основний матеріал з тонким шаром провідного металу, як мідь, нанесеним на обидві сторони дошки. Отвори, просвердлені через плату, дозволяють ланцюгам з одного боку

плати підключатися до ланцюгів з іншого. Перевагою використання двошарової друкованої плати є посилене відведення тепла, яке пропонує додатковий шар міді, цього можна досягти в процесі гравірування, лише усуваючи достатню кількість міді для виготовлення доріжок, залишаючи додаткову мідь замість того, щоб повністю її усувати. Такий вид друкованих плат дуже поширений для виготовлення прототипів схем. Саме тому саме двостороння друкована плата буде обрана для створення прототипу.

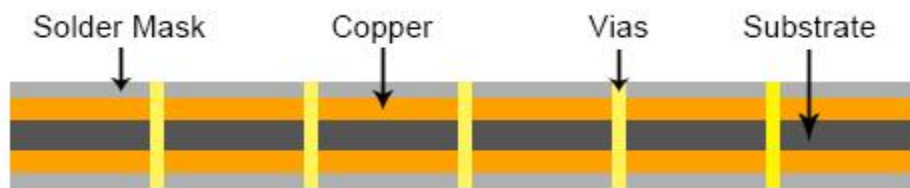


Рисунок 3.2 - Структура двошарових друкованих плат

- Багатошарові(БДП)

Багатошарова друкована плата складається як мінімум з 3 і більше шарів, що має провідні шляхи. Всі ці шари мають між собою деякий ізоляційний матеріал і пов'язані між собою за допомогою якогось клейкого матеріалу. Електричне зв'язування шарів друкованої плати здійснюється методом наскрізного отвору з металічним покриттям. Його головні переваги полягають у тому, що якщо ви реалізуєте складні схеми, які потребують великої кількості компонентів, то ви можете зібрати сто шарів на одній платі, що значно зменшить габаритні розміри але значно ускладнить конструкторську частину проєкту.

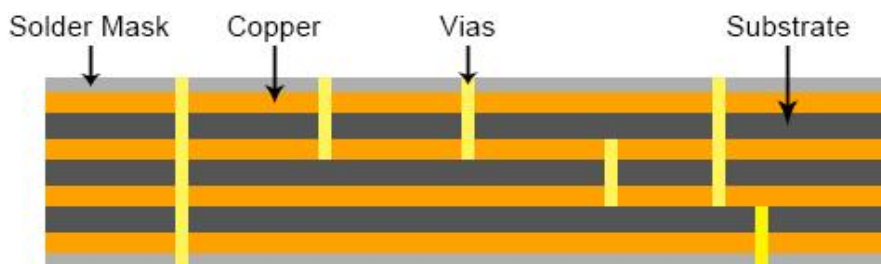


Рисунок 3.3 - Структура багатошарових друкованих плат

3.2 Вибір класу точності друкованої плати

За точністю виготовлення друкованих плат поділяють на 5 класів. Номінальні значення основних розмірів конструкції залежно від класу точності приведені в таблиці 3.2.1 за ГОСТ 23751-86.

Плати першого та другого класу характеризуються простою розробки, низькою вартістю, високою надійністю, не мають великих габаритів.

Друковані плати 3-го класу - найпоширеніші, так як, забезпечують достатньо високу щільність трасування та монтажу, а з іншого - для їх виробництва потрібно рядове, хоча і спеціалізоване обладнання.

Друковані плати 4-го класу випускаються на високоякісному обладнанні, а вимоги до матеріалів, обладнання та приміщення нижче, чим для п'ятого класу.

Таблиця 3.1 – Таблиця параметрів друкованих плат за класом точності

Параметр	Клас точності				
	1	2	3	4	5
Мінімальна ширина провідника, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.1
Відстань між сусідніми компонентами, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.1
Відношення діаметру найменшого отвору до товщини плати	0.4	0.4	0.33	0.25	0.2

Виготовлення ПП 5-го класу вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів.

Для прототипу обираємо четвертий клас точності, так як він забезпечує достатню щільність контактних майданчиків для мікросхем які використовуються в схемі.

3.3 Розміщення компонентів ДП

В першу чергу розмістимо компоненти схеми які мають обмежену можливість розташування на платі, це роз'єм, який потрібно розмістити на краю плати. Також для зручності з користувацької точки зору з протилежного краю плати розмістимо компоненти з якими буде взаємодіяти користувач, це кнопка, потенціометр і світло діод і семисегментні індикатори. Для зменшення загальної довжини провідників і зручності проектування по центру плати розмістимо компонент який має найбільшу кількість з'єднань з іншими компонентами нашої схеми це МК. І останнім рішенням буде розмістити блок живлення на зворотній стороні друкованої плати для більш рівномірного розподіляння тепла нашої схеми.

3.4 Матеріал ДП

Плата друкованої плати складається з чотирьох шарів, а саме: підкладка, ламінату, припою та шовкографії. Разом підкладка та ламінат визначають основні електричні, механічні та теплові властивості друкованої плати.

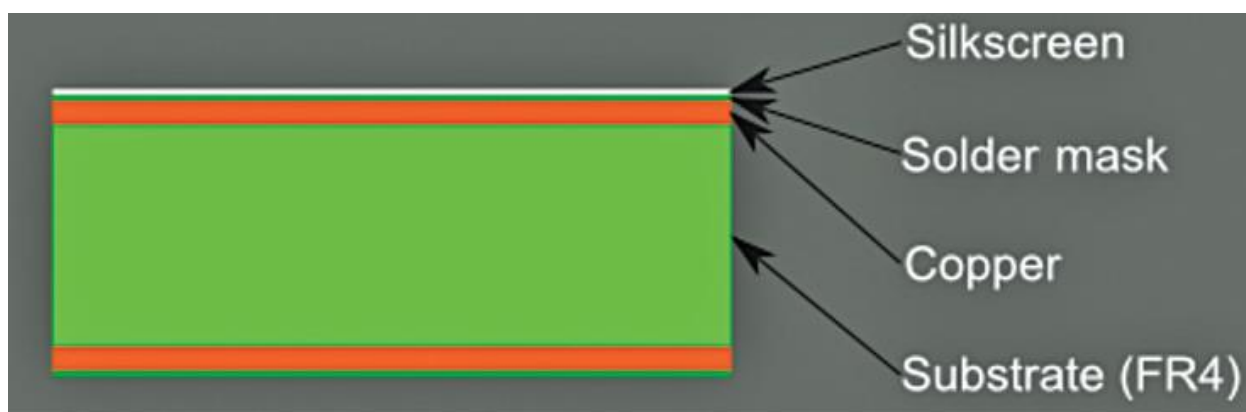


Рисунок 3.4 - Шари друкованої плати

Підкладка

Скловолокно FR4 - найпоширеніший матеріал для підкладки друкованої плати. Тут FR означає вогнезахисний засіб. Він підходить завдяки своїй

жорсткості та товщині. Для гнучкої друкованої плати використовується пластик.

Товщина плати друкованої плати залежить від її застосування або використання. Для даного проєкту товщина друкованої плати було обрано 1.5 мм що забезпечить достатню стійкість конструкції.

Непровідний шар діелектричного матеріалу вибирають на основі діелектричної проникності (dk). Основи повинні відповідати певним бажаним властивостям, таким як температура плавлення (Tg). Tg - це точка, в якій тепло викликає деформацію або розм'якшення матеріалу. Нижче приведена порівняльна таблиця.

Таблиця 3.2 – Таблиця матеріалу друкованої плат

Матеріал	dk	Tg, °C
FR-4	4.2-4.8	135
CEM-1	4.2	122
CEM-3	5	125
RF-35	3.5	130
Teflon	2.5-2.8	160
PTFE	2.1	240-280
Polymide	3.8	>250

Взявши до уваги температурні режими схеми та частоти сигналів у схемі, як матеріал було обрано FR4. А-саме FR4-2-35-1.5 – двостороння друкована плата з товщиною фольги 35 мкм, та товщиною ДП 1,5 мм.

3.5 Вибір методу виготовлення друкованої плати

Хімічний метод. Полягає в тому, що на мідну фольгу, приклеєну до діелектрика з однієї або з двох сторін, кислотостійкою фарбою наносять малюнок розташування друкованих провідників. Наступним етапом видаляється мідь з незахищених ділянок і на діелектрику залишається провідні ділянки які виконують роль провідників

Електрохімічний метод. Полягає в нанесенні на плату кислотостійкою фарбою негативного малюнка провідників. Нанесення малюнка відбувається з наступним нарощуванням шару міді.

Комбінований метод. Полягає в отриманні провідників шляхом труїння діелектрика вкритого тонким шаром міді і металізацією отворів електрохімічним способом.

У якості методу для виготовлення ДП обрано комбінований позитивний метод. Цей метод забезпечує отримання чітких ліній провідників друкованої схеми. Він характеризується меншою трудомісткістю в порівнянні з електрохімічним методом.

Висновок до розділу

У цьому розділі було приведено основні параметри друкованих плат, а саме за конструкцією було обрано двошарову друковану плати. За матеріалом конструкції FR4-2-35-1.5 – двостороння друкована плата з товщиною фольги 35 мкм, та товщиною ДП 1,5 мм. За щільністю розташування компонентів було обрано 4 клас точності конструкції. Також було обрано місця на платі де будуть розташовані основні елементи конструкції.

					ДК 71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

4.1 Конструкторсько-технологічні розрахунки друкованої плати

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника за постійним струмом для живлення та землі

Мінімальна ширина друкованого провідника за постійним струмом b_{minI} для живлення та землі визначаємо за виразом:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} * t_{пров}}, \quad (4.1)$$

де I_{max} – максимально можливий струм, А

$j_{доп}$ – допустима щільність струму для ДП, що виготовлені комбінованим позитивним методом, $j_{доп} = 48 \text{ А/мм}^2$;

$t_{пров}$ – товщина друкованого провідника, мм.

Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом.

Згідно методу виготовлення:

$$t_{пров} = h_{ф} + h_{ГМ} + h_{ХМ}, \quad (4.2)$$

де $h_{ф}$ – товщина фольги що залежить від матеріалу, $h_{ф} = 0.035 \text{ мм}$;

$h_{ГМ}$ – товщина шару осадженої міді, $h_{ГМ} = 0.055 \text{ мм}$;

$h_{ХМ}$ – товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{ХМ} = 0.0065 \text{ мм}$.

Параметри приведені для ДП FR4-2-1,5.

$$t_{пров} = 0,035 + 0,055 + 0,007 = 0,097 \text{ мм};$$

Параметр I_{max} в виразі (4.1) визначається як сума струмів, які споживають усі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Значення струмів

IC	Максимальний $I_{\text{спож}}$, мА
STM32F401	120
LM1117	15
CP2102	13.7

$$I_{\text{max}} = 120 + 15 + 13.7 = 148.7 \text{ (мА)}$$

Тоді $b_{\text{min } I}$ дорівнює:

$$b_{\text{min } I} = \frac{0.1487}{48 \cdot 0.097} = 0.03 \text{ мм};$$

Розраховане мінімальне значення ширини друкованого провідника входить в межі 4 класу точності ($b_{\text{min } I} = 0.15 \text{ мм}$).

Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається виразом (4.3):

$$b_{\text{min } U} = \frac{\rho * I_{\text{max}} * L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} * t_{\text{пров}}}, \quad (4.3)$$

де ρ – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом. $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

I_{max} – максимально можливий струм, А;

$L_{\text{пров}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника ДП. $L_{\text{пров}} = 472 \text{ мм}$;

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, 5% від номінальної напруги. $U_{\text{доп}} = 0,05 \times 3.3 = 0,165 \text{ В}$.

$$b_{\min U} = \frac{0.0175 * 0.1487 * 0.472}{0.165 * 0.097} = 0.08 \text{ мм};$$

Визначення номінального діаметру монтажного отвору

Номінальний діаметр монтажного отвору розраховується за формулою (4.4)

$$d \geq d_{вз} + \Delta d_{мо} + r, \quad (4.4)$$

де $d_{вз}$ – максимальний діаметр виводу елемента, електролітичний конденсатор;

Δd – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО.
 $\Delta d_{мо}=0,1$ мм;

r – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента. $r=0,1 \dots 0,2$ (мм).

$$d \geq d_{вз} + \Delta d_{мо} + r = 0.5 + 0.1 + 0.1 = 0.7 \text{ мм};$$

Визначення діаметра контактної площини

$$D_{min} = D_{min1} + 1.5 \cdot h_{ф} + 0.03, \quad (4.5)$$

де D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм;

$h_{ф}$ – товщина фольги, $h_{ф}= 0,035$ (мм). Коефіцієнт $1,5h_{ф}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину;

$0,03$ – КМ виготовляють комбінованим позитивним методом
 Мінімальний ефективний діаметр визначається як:

$$D_{min1} = 2 \cdot (b_{по} + d_{max}/2 + \delta_o + \delta_{км}), \quad (4.6)$$

де d_{max} – максимальний діаметр отвору в ДП, мм;

$b_{по}$ - ширина пояса КМ, мм;

δ_o - похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, мм;

$\delta_{км}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, мм.

Максимальний діаметр отвору ДП розраховується виразом (4.7):

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (4.7)$$

де d – номінальний діаметр МО;

Δd - допуск на діаметр отвору. $\Delta d = 0,05$ (мм).

$$d_{max} = d + \Delta d + 0.1 = 0.7 + 0.05 + 0.1 = 0.85 \text{ мм};$$

Підставляючи значення максимального діаметра отвору ДП в вираз (4.6)

$$D_{min} = 2 * \left(0.05 + \frac{0.85}{2} + 0.07 + 0.05 \right) = 1.19 \text{ мм};$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1.5 \cdot h_{\phi} + 0.03 = 1.19 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 1.2725 \text{ мм};$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{max} = D_{min} + 0.02 = 1.2725 + 0.02 = 1.29 \text{ мм};$$

Визначення мінімальної ширини провідника

$$b_{min} = b_{pr} + 1.5 \cdot h_{\phi} + 0.03, \quad (4.8)$$

де b_{pr} – мінімальна ширина провідника.

$$b_{min} = b_{pr} + 1.5 \cdot h_{\phi} + 0.03 = 0.15 + 1.5 \cdot 0.035 + 0.03 = 0.23 \text{ мм};$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{max} = b_{min} + 0.02 = 0.23 + 0.02 = 0.25 \text{ мм};$$

Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною

$$l_{ПКМmin} = L0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{max} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_{сп} \right), \quad (4.9)$$

де $L0$ – відстань між центрами отворів та друкованим провідником. $L0 = 1.25$ (мм).

D_{max} - максимальний діаметр КП;

b_{max} - максимальна ширина провідника;

$\delta_{км}$ - похибка розташування центра КП відносно вузла КС;

$\delta_{сп}$ – похибка, яка враховує зміщення провідника.

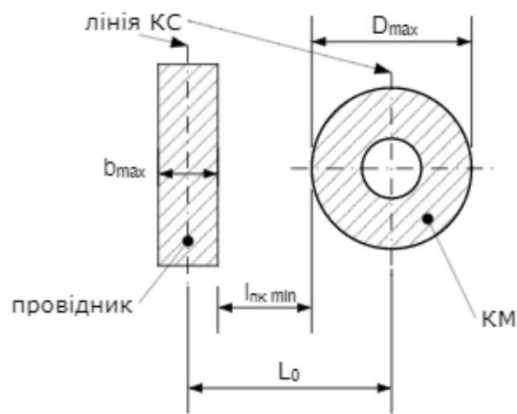


Рисунок 4.1 - Друкований провідник та контактний майданчик з позначеннями відповідних розмірів

$$l_{ПКМmin} = 1.25 - \left(\frac{1.29}{2} + 0.05 + \frac{0.25}{2} + 0.08 \right) = 0.35 \text{ мм};$$

Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками

Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками зображено на Рис. 4.2

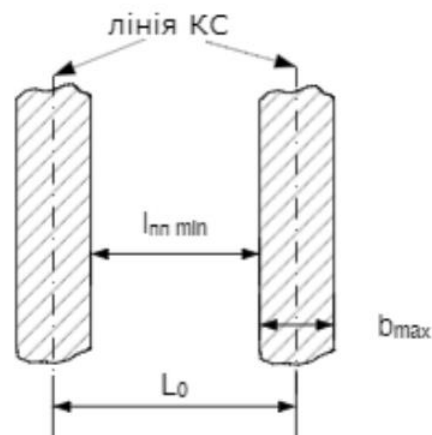


Рисунок 4.2 – Відстань між двома провідниками

Розрахунок мінімальної відстані виконується за формулою (4.9).

$$l_{ПП min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сп}), \quad (4.10)$$

де L_0 – відстань між центрами друкованих провідників, що є кратним кроку КС, $L_0 = 1.25 \text{ мм}$

$$l_{\text{ПП min}} = 1.25 - (0.25 + 2 \cdot 0.08) = 0.84 \text{ мм};$$

Визначення мінімальної відстані між двома контактних майданчиків

На Рис. 4.3 зображено мінімальну відстань між двома контактними площинками. Розраховується мінімальна відстань між двома контактними площинками за формулою (4.10).

$$l_{\text{min KM}} = L_{01} - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{KM}}), \quad (4.11)$$

де L_{01} - відстань між центрами сусідніх КП. $L_{01} = 2,5 \text{ мм}$;

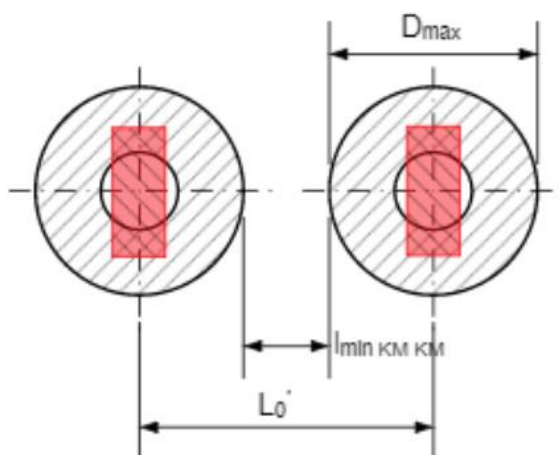


Рисунок 4.3 – Мінімальна відстань між двома КМ

$$l_{\text{min KM}} = 2.5 - (1.29 + 2 \cdot 0.05) = 1.11 \text{ мм};$$

4.2 Електричний розрахунок друкованої плати

Визначення падіння напруги на самому довгому друкованому провіднику

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.12)$$

де ρ – питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, $\rho = 0.0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

I_{max} – струм в провіднику, А;

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжин друкованого провідника, м;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, мм;

$b_{\text{пр}}$ – ширина найдовшого друкованого провідника, мм.

$$U_{\text{пад}} = \frac{0.0175 * 0.65 * 472}{0.3 * 0.3} = 0.06 \text{ В};$$

Визначимо потужність втрат двосторонньої друкованої плати

$$P_{\text{пот}} = 2\pi f \cdot C \cdot U_{\text{жив}}^2 \cdot \text{tg } \sigma, \quad (4.13)$$

де $f = 1$ Гц, тому що розрахунок ведеться на постійному струмі;

C – ємність друкованої плати;

$U_{\text{жив}}$ – напруга живлення, $U_{\text{жив}} = 3.3$ В;

$\text{tg } \sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для склотекстоліту 0,002.

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S}{h}, \quad (4.14)$$

де ε – діелектрична проникність, $\varepsilon = 4.5$ для FR4;

S – площа металізації визначається за допомогою інструментів САПР «Altium Designer» ;

h – товщина друкованої плати, мм.

$$C = \frac{0,009 \cdot 4.5 \cdot 732.3}{1.5} = 19.8 \text{ нФ};$$

$$P_{\text{втрат}} = 2 * 3.14 * 19.8 * 10^{-9} * 3.3^2 * 0.002 = 2.7 \text{ нВт};$$

Розрахунок вібростійкості друкованої плати

Питома вага матеріалу плати FR4 дорівнює $\rho = 1850$ кг/м³. Отже, маса плати

$$m_{\text{п}} = 0.100 * 0.120 * 0.0015 * 1850 = 33.3 \text{ г};$$

Маси елементів друкованого вузлу занесено до таблиці 4.2

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Таблиця 4.2 – Маса елементів конструкції

Елемент	Маса, г	Кількість	Загальна маса, г
МК	0.35	1	0.35
Конденсатор електролітичний	2	1	2
Конденсатор керамічний	0.1	11	1.1
FT234	0.78	1	0.78
LM1117	0.11	1	0.11
Індикатор	5	1	5
Резистор	0.1	14	1.4
Потенціометр	11	1	11
Перемикач	0.2	2	0.4
Світлодіод	0.2	1	0.2
Роз'єм	0.3	1	0.3
Резонатор	1	1	1

Загальна маса компонентів 23.54 г

Параметри FR4:

- гранична пластичність: $\sigma_T = 415$ МПа;
- модуль Юнга: $E = 24$ ГПа;
- коефіцієнт Пуассона: $\mu = 0,118$;
- показник затухання: $\varepsilon = 0,06$;

- питома щільність: $\nu = 18500 \text{ Н/м}^2$;
- коефіцієнт перенавантаження: $n = 8$;
- коефіцієнт запасу міцності: $n_1 = 2$.

Закріплення друкованої плати – спирання на 4 сторони(рис. 4.4)

Спирання на 4 сторони



$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right)$$

Рисунок 4.4 – Закріплення плати, спирання на 4 сторони

Визначимо коефіцієнт K_B :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_e}{m_{\pi}}}}, \quad (4.15)$$

де m_e – маса елементів, г;

m_{π} – маса плати, г.

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{23.54}{33.3}}} = 0.77$$

Визначимо коефіцієнт α , враховуючи вибраний тип закріплення:

$$\alpha = 3.14^2 * \left(1 + \frac{100^2}{120^2} \right) = 16.7$$

Циліндрична жорсткість D :

$$D = \frac{E * \delta^3}{12 * (1 - \mu^2)}, \quad (4.16)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона;

δ – товщина плати, м;

E – модуль Юнга, Па.

Розрахуємо циліндричну жорсткість за формулою 4.16:

$$D = \frac{24 * 10^9 * 0.0015^3}{12 * (1 - 0.118^2)} = 6.85$$

Отже, власна частота коливань плати:

$$f_c = \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{v * \delta}}, \quad (4.17)$$

де D – циліндрична жорсткість;

v – питома щільність, Н/м² ;

g – гравітаційна стала, м/с² ;

δ – товщина плати, м.

Підставимо значення у формулу 4.17

$$f_c = \frac{0.77 * 16.7}{2 * \pi * 0.1^2} * \sqrt{\frac{6.85 * 9.8}{18500 * 0.0015}} = 318.5 \text{ Гц};$$

Оскільки $318.5 \geq 250$ Гц, то розроблювану друковану плату вважатимемо абсолютно жорсткою.

Розрахунок основних показників надійності

Методи визначення надійності будуються на визначенні ймовірності безвідмовної роботи компонентів $P(t)$ і напрацювання до першої відмови $T_{\text{ср}}$.

Ймовірність безвідмовної роботи визначається за виразом (4.18)

$$P(t) = e^{-\lambda_p * t}, \quad (4.18)$$

де e - число Ейлера 2.7183

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

λ_p – результуюча інтенсивність відмов, визначається як сума інтенсивностей відмов компонентів;

t – час роботи, годин;

Час напрацювання до першої відмови T_{cp} визначається за формулою (4.19)

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p}, \quad (4.19)$$

де λ_p - результуюча інтенсивність відмов.

Інтенсивність відмови компоненту визначається як

$$\lambda_e = \lambda_{0e} * K_1 * K_2 * \dots * K_n, \quad (4.19)$$

де λ_{0e} – інтенсивність відмов елементу при нормальних умовах роботи;

K_n - поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації. Для спрощення розрахунків використаємо 2 поправочних коефіцієнта. K_1 -коефіцієнт навантаження і K_2 -коефіцієнт щодо зовнішніх впливів (для наземної стаціонарної апаратури = 20).

Коефіцієнт навантаження для таких елементів як резистори, конденсатори, світлодіоди, індикатори розрахуємо за формулою 4.20. Для компонентів такі як мікросхеми, роз'єми, перемикачі, пайка отворів, резонатори матимуть більш складну поведінку, то приймемо коефіцієнт навантаження для цих компонентів для найгіршого сценарію $K_1 = 1$.

$$K_1 = \frac{H_p}{H_H}, \quad (4.20)$$

де H_p - навантаження роботи;

H_H – номінальне навантаження.

Конденсатори. Для конденсаторів коефіцієнт навантаження визначається по напрузі. Найбільше навантаження матиме вхідний

конденсатор до якого прикладена напруга 5 В, до всіх інших конденсаторів максимально прикладена напруга 3.3 В.

$$K_1 = \frac{U_p}{U_H} = \frac{5}{25} = 0.2$$

Резистори. Для резисторів коефіцієнт навантаження визначається за потужністю. Максимальна потужність виділяється на резисторі який обмежує струм через світло діод, для цього резистору значення потужності було розраховано в 2 розділі.

$$K_1 = \frac{P_p}{P_H} = \frac{0.027}{0.125} = 0.22$$

Світлодіод, індикатори. Для цих компонентів коефіцієнт навантаження визначається за струмом.

Для світлодіоду матимемо:

$$K_1 = \frac{I_p}{I_H} = \frac{0.015}{0.1} = 0.15$$

Для індикаторів матимемо:

$$K_1 = \frac{I_p}{I_H} = \frac{0.007}{0.02} = 0.035$$

Таблиця 4.3 – Показники надійності компонентів

Компонент	Кількість	$\lambda_{0e} 10^{-7},$ год ⁻¹	K ₁	K ₂	N* $\lambda_e \cdot 10^{-7}$
Мікросхеми	3	0.5	1	20	30
Роз'єм	1	0.2	1	20	4
Перемикач	2	0.4	1	20	16

Продовження таблиці 4.3

Резонатор	1	0.05	1	20	1
Конденсатор	12	0.2	0.2	20	9.6
Резистор	15	0.25	0.22	20	16.5
Світлодіод	1	0.1	0.15	20	0.3
Індикатор	28	0.1	0.035	20	1.96
Пайка контактів	160	0.01	1	20	32

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі імовірності відмов компонентів:

$$\lambda_p = \sum N * \lambda_e = 111.36 * 10^{-7}, \text{ год}^{-1}$$

Середній час напрацювання до першої відмови за формулою (4.19)

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{111.36 * 10^{-7}} = 89798 \text{ год};$$

Ймовірність безвідмовної роботи протягом року за формулою (4.18)

$$P(t) = e^{-111.36 * 10^{-7} * 8760} = 0.9$$

Ймовірність відмов протягом року:

$$Q(t) = 1 - 0.9 = 0.1$$

Залежності безвідмовної роботи та ймовірність відмов від часу представлені на рисунку (4.5).

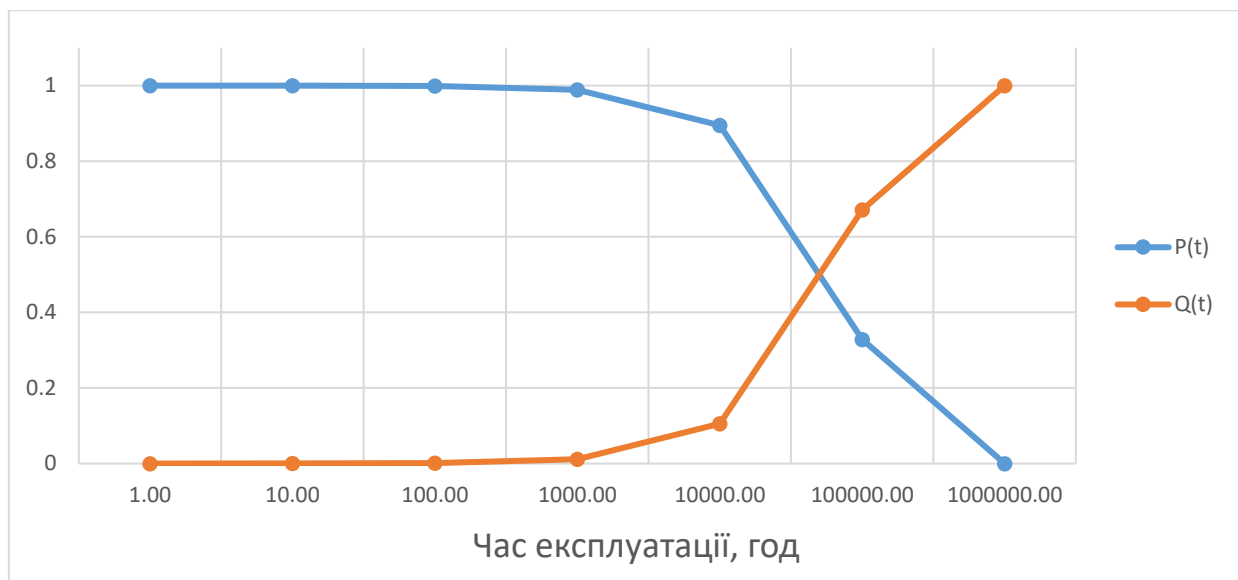


Рисунок 4.5 – Залежність P і Q від часу роботи

Висновок до розділу

У цьому розділі проводився розрахунок мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та землі, мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, номінального діаметру монтажного отвору, діаметра контактної площини, мінімальної ширини провідника, мінімальної відстані між провідником та контактною площиною, мінімальної відстані між двома сусідніми, провідниками мінімальної відстані між двох контактних майданчиків. Були отримані наступні результати:

- мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та землі – 0,03 мм
- мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому – 0.08мм
- номінальний діаметр монтажного отвору – 0,7 мм

- діаметр контактної площини – $D_{min} = 1,2725$ мм, $D_{max} = 1,29$ мм
- мінімальна ширина провідника – 0.23 мм
- мінімальна відстань між провідником та контактною площиною – 0,35 мм
- мінімальна відстань між двома сусідніми, провідниками – 0,84 мм
- мінімальна відстань між двох контактних майданчиків – 1,11 мм.

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

РОЗДІЛ 5. Програма керування пристроєм

В якості керуючого пристрою використовується мікроконтролер STM32F401RE NUCLEO. Мікроконтролер забезпечує відцифровку значень напруги за допомогою ADC, обмін з комп'ютером даними за протоколом UART, вивід значень на індикатори, генерацію ШІМ сигналу.

Налаштування мікроконтролера для роботи з даними протоколами проводилася в середовищі CUBEMX (рис 5.1)

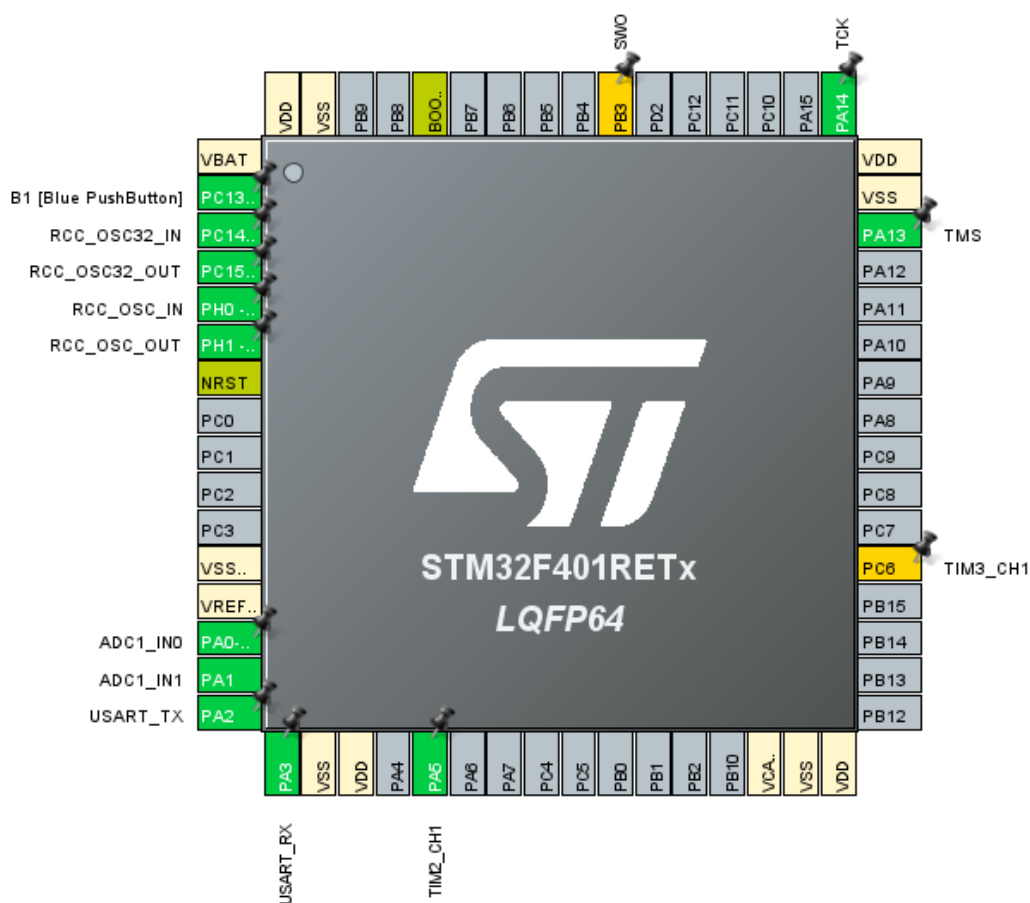


Рисунок 5.1 - Налаштування портів STM32F401

5.1 Алгоритм програми

Блок схема програми приведена на рис 5.2. Спочатку потрібно налаштувати початкові значення портів вводу-виводу, протокол UART, модуль ADC, та контролер переривань NVIC.

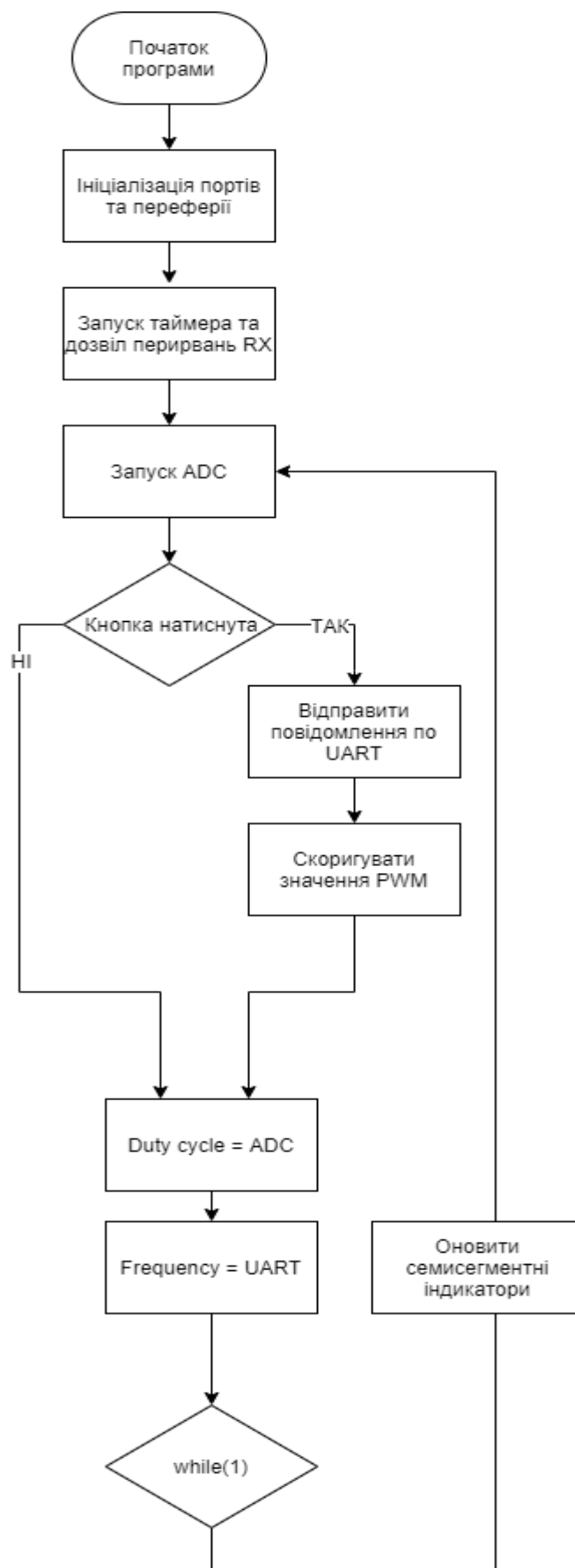


Рисунок 5.2 - Алгоритм програми

Далі запускаємо таймер і дозволяємо переривання для приймання даних по UART. У циклі відбувається відцифровка даних, передача даних по UART і керування індикаторами.

5.2 Ініціалізація портів та периферії

Код ініціалізації були згенеровано середовищем CubeMX згідно з налаштуваннями зробленими в графічному середовищі(Рис 5.3)

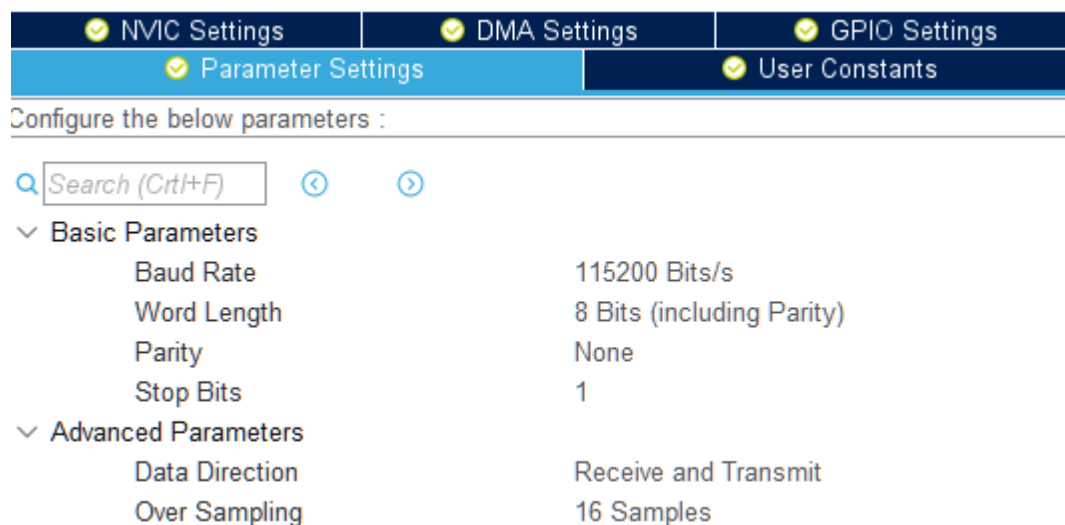


Рисунок 5.3 - Налаштування USART2 в середовищі CubeMX

Розглянемо налаштування, які були виконані.

```
SystemClock_Config();
MX_GPIO_Init();
MX_USART2_UART_Init();
MX_ADC1_Init();
MX_TIM2_Init();
```

Налаштування тактового сигналу. Налаштування виконуються в графічному середовищі Clock Configuration (Рис 5.4). На платі Nucleo розташовано RC-генератор з тактовою частотою 8 МГц. Тактовий сигнал надходить до PLL де частота підвищується до 84 МГц, що і буде частотою системи. Нас цікавить частота на шині APB1 і APB2.

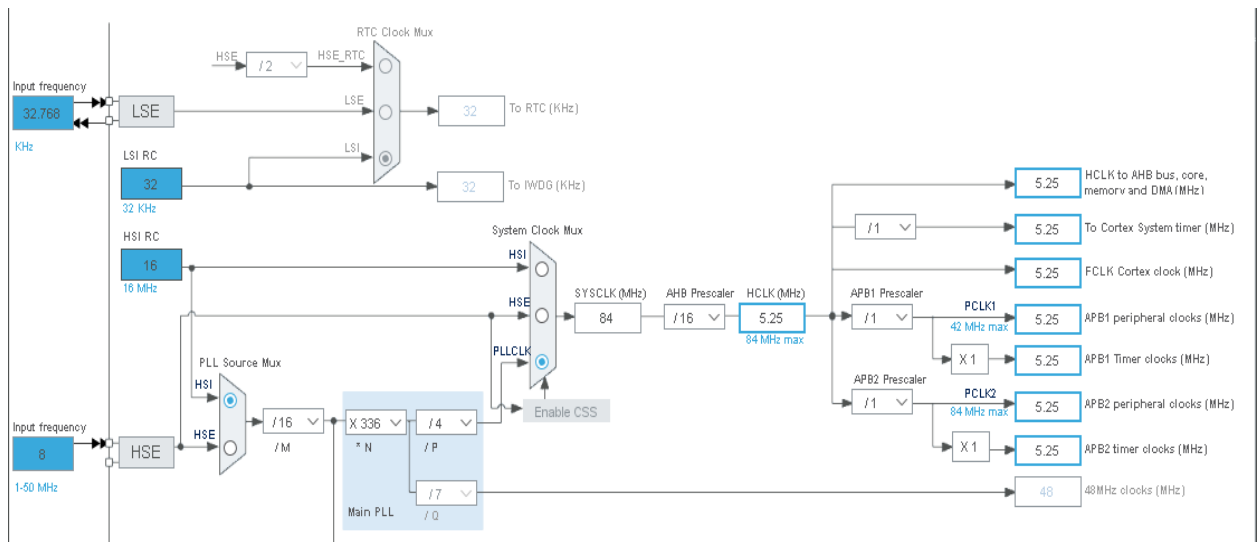


Рисунок 5.4 - Налаштування частоти системи

APB1 має частоту 5.25 МГц і живить такі елементи нашої системи:

- TIM2
- USART2
- GPIOC
- GPIOA
- GPIOB

APB2 має частоту 5.25 МГц і живить такі елементи нашої системи:

- ADC1

Виводи загального призначення:

- Вивід PC13 – лінія для тактової кнопки.
- Вивід PA5 – лінія для світлодіоду.
- Вивід PA3 – лінія для прийому даних Rx UART
- Вивід PA2 – лінія для відправки даних Tx UART
- Вивід PA0 – лінія для сигналу ADC.
- Вивід PB0-PB6 – шина яка контролює індикатори.

- Вивід PB7-PB10 – шина яка контролює номер розряду.

ADC

- ClockPSC = 4 – подільник тактової частоти на 4
- Resolution = 12 – кількість розрядів відцифрованого сигналу

USART2

- BaudRate = 115200 – швидкість передачі бод/с
- WordLength = 8 – розрядність слова
- StopBit = 1 – кількість СТОП бітів
- ParityBit = 0 – кількість бітів парності
- Mode = tr, rc – режим роботи прийом та передача

TIM2

- Prescaler = 525 – дільник тактової частоти
- CounterMode = Up – режим рахунку вгору
- Period = 100 – значення зкидання лічильнику

5.3 Функціонал ADC

Після ініціалізації перетворювача. У циклі потрібно запустити ADC і зкинути флаги кінця опитування, за це відповідають команди

```
HAL_ADC_Start(&hadc1);
```

```
HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, HAL_MAX_DELAY);
```

Далі для нас потрібно відцифроване значення перетворити на величину довжини імпульсу в відсотках від періоду.

```
raw1 = (round(HAL_ADC_GetValue(&hadc1))*100/4096)
```

де, HAL_ADC_GetValue(&hadc1) - відцифроване значення

100 – значення регістру ARR, або кількість станів лічильнику

4096 – максимальне значення відцифрованого значення

5.4 Функціонал TIM2

Даний таймер відповідає за генерацію PWM сигналу, за допомогою функції порівняння за виходом.

__HAL_TIM_SetCompare(&htim2, TIM_CHANNEL_1, raw1);

Тепер розрахуємо період роботи таймеру. Таймер тактується по шині APB1, яка працює на частоті 5.25 МГц. Частота сигналу розраховується за формулою (5.1)

$$F = \frac{F_{clk}}{(ARR + 1) * (PSC + 1)}, \quad (5.1)$$

де F_{clk} – частота таймеру;

ARR – значення регістру ARR;

PSC – значення регістру PSC.

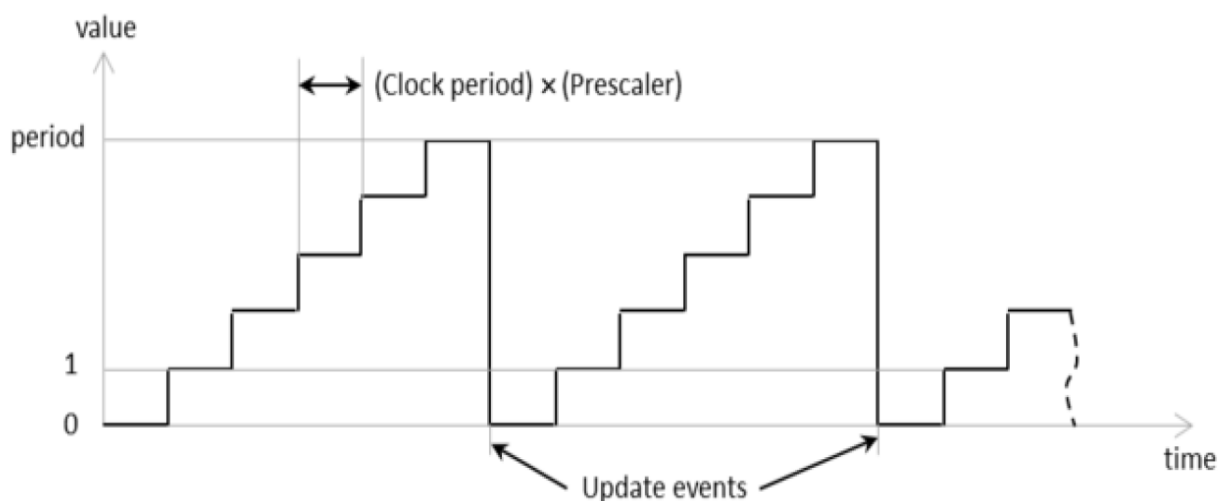


Рисунок 5.5 - Часова діаграма регулювання частоти сигналу

Скважність сигналу розраховується за формулою (5.2)

$$DC = \frac{CRR}{ARR}, \quad (5.2)$$

де ARR – значення регістру ARR;

CRR – значення регістру CRR.

Вплив відповідних значень на параметри генерованого сигналу відображено на Рис 5.5 та Рис 5.6

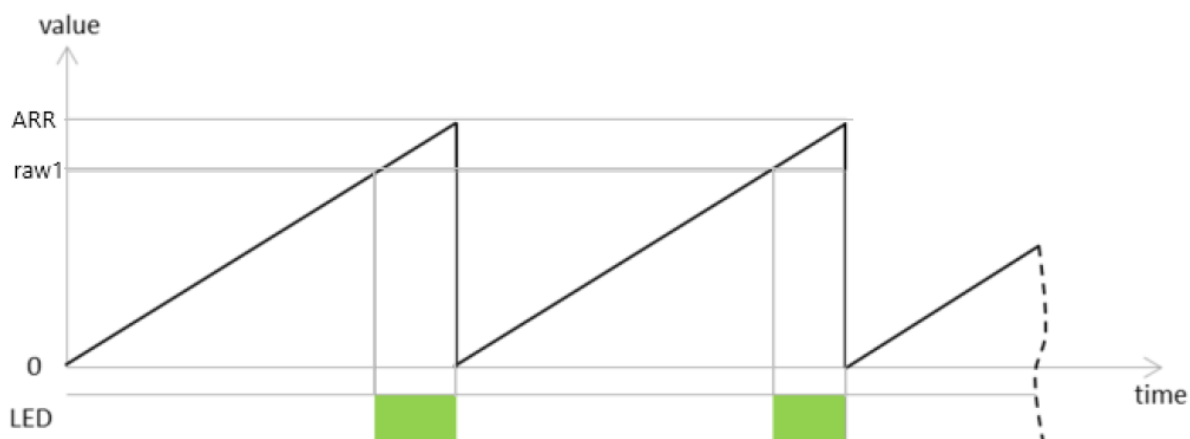


Рисунок 5.6 - Часова діаграма регулювання скважності сигналу.

5.5 Функціонал USART2

Для початку прийому даних по Rx нам потрібно дозволити переривання від провідника Rx.

```
__HAL_UART_ENABLE_IT(&huart2, UART_IT_RXNE);
```

Коли на даному порті починається прийом даних, буде викликано переривання і буфер UART змінить своє значення. Тепер нам потрібно дані з буферу записати у змінну.

```
HAL_UART_Receive_IT(&huart2, myrxData, 2);
```

Для початку передачі даних нам потрібно сформувати повідомлення в якому ми передаємо встановлені параметри на комп'ютер.

```
sprintf(msg, "Duty Cycle =%hu;Frequency =%hu\r\n", raw1, raw2);
```

Далі відбувається процес передачі

```
HAL_UART_Transmit(&huart2, (uint8_t*)msg, strlen(msg), HAL_MAX_DELAY)
```

5.6 Функціонал кнопки

Якщо кнопка натиснута то генератор встановлює параметри які спостерігаються на індикаторах і відправляє по UART нові параметри.

```
if(!HAL_GPIO_ReadPin(GPIOC, GPIO_PIN_13))
{
```

```

TIM2->PSC=(51980/raw2)-1;
__HAL_TIM_SetCompare(&htim2, TIM_CHANNEL_1, raw1);
sprintf(msg, "Duty Cycle =%hu;Frequency =%hu\r\n", raw1,raw2);
HAL_UART_Transmit(&huart2,(uint8_t *)msg , strlen(msg),
HAL_MAX_DELAY);
}

```

Для прийому нового значення частоти на нам потрібно дешифрувати прийняті значення по UART. Так як значення по UART передається в кодах ASCII нам потрібно перетворити його в десяткове значення. Шляхом аналізу таблиці символів ASCII (рис 5.7) приходимо до того що достатньо від відповідного значення символу відняти 48.

ASCII Code Chart																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	NUL	SOH	STX	ETX	EOT	ENQ	ACK	BEL	BS	HT	LF	VT	FF	CR	SO	SI
1	DLE	DC1	DC2	DC3	DC4	NAK	SYN	ETB	CAN	EM	SUB	ESC	FS	GS	RS	US
2		!	"	#	\$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
6	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{		}	~	DEL

Рисунок 5.7 - Символи ASCII

Висновок до розділу

У цьому розділі було описано розробку програмного забезпечення у середовищі Keil. Це середовище спрощує початкове налаштування портів вводу-виводу, частоти роботи кристалу та шин до яких підключено периферію. Після налаштувань в графічному середовищі було написано програму яка забезпечує взаємодію периферії згідно до задачі поставленої в технічному завданні.

ВИСНОВОК

В даному проєкті розроблено генератор ШІМ сигналу на основі мікроконтролера, що задовольняє вимоги поставлені у технічному завданні. У ході розробки було створено схему електричну принципову, програмне забезпечення, друкований вузол та документацію.

У першому розділі було описано основні теоретичні відомості, також мету розробки яка окреслюється використанням генератора PWM сигналу в обчислювальній техніці. Також було приведено дві схеми генерації такого типу сигналу. Тоді як перша схема характеризується використання тільки для побудови на дискретних елементах або у спеціалізованих інтегральних мікросхемах, друга схема також має використання у МК окрім вище зазначених

У другому розділі було приведену структурну схему пристрою і описано основні її елементи. Також було створено основні функціональні вузли пристрою опираючись на раніше описану структурну схему. Далі було підібрано елементу базу за методом матриці параметрів.

У третьому розділі було приведено основні параметри друкованих плат, а саме за конструкцією було обрано двошарову друковану плати. За матеріалом конструкції FR4-2-35-1.5 – двостороння друкована плата з товщиною фольги 35 мкм, та товщиною ДП 1,5 мм. За щільністю розташування компонентів було обрано 4 клас точності конструкції. Також було обрано місця на платі де будуть розташовані основні елементи конструкції.

У четвертому розділі проводився розрахунок мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та землі, мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, номінального діаметру монтажного отвору, діаметра контактної площини, мінімальної ширини провідника, мінімальної відстані

					ДК71.467249.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

між провідником та контактною площиною, мінімальної відстані між двома сусідніми, провідниками мінімальної відстані між двох контактних майданчиків. Також було проведено розрахунок надійності і вібростійкості конструкції.

У п'ятому розділі було описано розробку програмного забезпечення у середовищі Keil. Це середовище спрощує початкове налаштування портів вводу-виводу, частоти роботи кристалу та шин до яких підключено периферію. Після налаштувань в графічному середовищі було написано програму яка забезпечує взаємодію периферії згідно до задачі поставленої в технічному завданні.

Прийняті конструкторські рішення які були описані в 3 розділі проєкту повністю задовільняють умови технічного завдання, що було підтверджено розрахунками приведеними в 4 розділі. Також розроблене програмне забезпечення що відповідає за функціональну складову проєкту було протестовано на прототипі, що доводить повноту виконання поставлених задач [10].

					<i>ДК71.467249.001ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.

1. Circuit and method for pulse width modulation. Patent US7391280B2
Available at: <https://patents.google.com/patent/US7391280>
2. Digital PWM generator. Patent US7184480B1.
Available at: <https://patents.google.com/patent/US7184480B1/en>
3. LM1117 Texas Instruments. Available at:
<https://www.ti.com/lit/gpn/lm1117>
4. ADP3338 Analog Device. Available at:
<https://eu.mouser.com/datasheet/2/609/ADP3338-1503401.pdf>
5. FT232RQ FTDI. Available at:
https://eu.mouser.com/datasheet/2/163/DS_FT232R-11534.pdf
6. FT234XD-T FTDI. Available at:
https://eu.mouser.com/datasheet/2/163/DS_FT234XD-220088.pdf
7. Методи виготовлення друкованих плат. [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://studopedia.org/6-116440.html>
8. 12. Савельев Л. Я. Овчинников В. Л. Конструирование ЭВМ и систем: Учебник для техн. вузов по спец. «Электрон. выч. маш.» — М.: Высш. шк., 1984. – 248с.
9. Е.М. Парфенов Э.Н. Камышная В.П. Усачев ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ: Учебное пособие для высших учебных заведений – М.: Радио и связь, 1989 – 272с
10. Демонстрація прототипу. Available at:
https://www.youtube.com/watch?v=EuSJbp_bhNE

ДОДАТОК А

Технічне завдання

1. Найменування та галузь використання

Генератор ШІМ сигналу з регульованою скважністю на основі мікроконтролера. Пристрій використовується для генерації ШІМ сигналу з заданою скважністю і частотою.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки дипломного проєкту є завдання, що було дано за наказом по КПІ ім. Ігоря Сікорського №1316-с від 24.05.2021.

3. Мета і призначення розробки

4. Технічні вимоги

4.1. Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється

Пристрій являє собою моноблочну конструкцію, має забезпечувати підключення до джерела живлення, можливість використання кнопок та виводу параметрів на індикатори.

4.2. Вимоги до конструкції

Габаритні розміри готового виробу не повинні перевищувати: 130x120x30 мм

Вага пристрою повинна бути не більше 0.4 кг.

4.3. Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову повинен бути не менше 80000

год.

4.4. Вимоги до вібростійкості

Конструкція повинна бути жорсткою.

4.5. Вимоги до вихідного сигналу

- Сквашність сигналу 0...99 %
- Частота сигналу 1...99 Гц

4.6. Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних й експлуатаційних матеріалів.

Повинні використовуватись електронні компоненти, що знаходяться у легкому доступі. Отримана конструкція повинна бути ремонтпридатною й забезпечувати замінність компонентів.

4.7. Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ.4.2 по ГОСТ 15150-69.

4.8. Вимоги до транспортування і зберігання

Група умов зберігання Л1 згідно ГОСТ 15150-69. Зберігати у зачинених опалювальних вентильованих приміщеннях, при температурі повітря +5...+40оС, відносній вологості повітря 60% при 20оС (середньорічне значення) та атмосферному тиску 84,0...106,7кПа. Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту.

5. Вимоги до документації

Необхідна документація наводиться в пояснювальній записці до роботи.

Додаткова документація не потрібна.

6. Робота повинна містити в собі документи

- Пояснювальну записку (формату А4)
- Схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А4 відповідно)
- Складальне креслення та специфікацію (формату А1, А4 відповідно)
- Креслення друкованої плати (формату А1)

ДОДАТОК Б

Лістинг Програми

main.c

```
#include "main.h"
#include "SEVEN_SEGMENTS.h"

#include "string.h"
#include "stdio.h"
#include "math.h"
#include "stdlib.h"

ADC_HandleTypeDef hadc1;

TIM_HandleTypeDef htim2;
TIM_HandleTypeDef htim3;

UART_HandleTypeDef huart2;

void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_USART2_UART_Init(void);
static void MX_ADC1_Init(void);
static void MX_TIM2_Init(void);
void SysTick_CallBack(void);
static void MX_TIM3_Init(void);

uint8_t myrxData[10] = {0};
uint16_t raw1 = 100, raw2 = 99;
int main(void)
{

uint8_t n_count=0;
char msg [20];

HAL_Init();
SystemClock_Config();

MX_GPIO_Init();
MX_USART2_UART_Init();
MX_ADC1_Init();
MX_TIM2_Init();
MX_TIM3_Init();
```

```

HAL_TIM_PWM_Start(&htim2,TIM_CHANNEL_1);
__HAL_UART_ENABLE_IT(&huart2,UART_IT_RXNE);
HAL_UART_Receive_IT (&huart2, myrxData, 2);

while (1)
{

    HAL_ADC_Start(&hadc1);
    HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, HAL_MAX_DELAY);

    raw1 = (round(HAL_ADC_GetValue(&hadc1))*100/4096);
    if(!HAL_GPIO_ReadPin(GPIOC,GPIO_PIN_13))
    {
        TIM2->PSC=(51980/raw2)-1;
        // TIM2->CCR1=(raw1/100)*2047;
        __HAL_TIM_SetCompare(&htim2, TIM_CHANNEL_1, raw1);
        sprintf(msg, "Duty Cycle =%hu;Frequency =%hu\r\n", raw1,raw2);
        HAL_UART_Transmit(&huart2,(uint8_t *)msg , strlen(msg),
HAL_MAX_DELAY);
    }

    /* USER CODE BEGIN TIM3_IRQn 1 */
    if(n_count==0)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_1,GPIO_PIN_RESET);

        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_15|GPIO_PIN_14,GPI
O_PIN_SET);
        segchar(raw1/10);
    }
    if(n_count==1)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_2,GPIO_PIN_RESET);

        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_15|GPIO_PIN_14,GPI
O_PIN_SET);
        segchar(raw1%10);
    }
    if(n_count==2)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_15,GPIO_PIN_RESET);

```

```

        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_14,GPIO
_PIN_SET);
            segchar(raw2/10);
        }
        if(n_count==3)
        {
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_14,GPIO_PIN_RESET);

            HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_15,GPIO
_PIN_SET);
                segchar(raw2%10);
            }
            n_count++;
            if(n_count>3) n_count=0;

            HAL_Delay(1);
        }
    }

```

```

void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart)
{
    HAL_UART_Receive_IT(&huart2, myrxData, 2);
    raw2 = (myrxData[1]-48)+ (myrxData[0]-48)*10;

}

```

```

void SystemClock_Config(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};

    __HAL_RCC_PWR_CLK_ENABLE();

    __HAL_PWR_VOLTAGESCALING_CONFIG(PWR_REGULATOR_VOLTAGE_S
CALE2);

    RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSI;
    RCC_OscInitStruct.HSIState = RCC_HSI_ON;
    RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue = RCC_HSICALIBRATION_DEFAULT;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSI;

```

```

RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = 16;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 336;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV4;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLQ = 7;
if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}

RCC_ClkInitStruct.ClockType =
RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
        |RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV16;
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;
RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;

if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_0) !=
HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
}

static void MX_ADC1_Init(void)
{
    ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};

    hadc1.Instance = ADC1;
    hadc1.Init.ClockPrescaler = ADC_CLOCK_SYNC_PCLK_DIV2;
    hadc1.Init.Resolution = ADC_RESOLUTION_12B;
    hadc1.Init.ScanConvMode = DISABLE;
    hadc1.Init.ContinuousConvMode = DISABLE;
    hadc1.Init.DiscontinuousConvMode = DISABLE;
    hadc1.Init.ExternalTrigConvEdge = ADC_EXTERNALTRIGCONVEDGE_NONE;
    hadc1.Init.ExternalTrigConv = ADC_SOFTWARE_START;
    hadc1.Init.DataAlign = ADC_DATAALIGN_RIGHT;
    hadc1.Init.NbrOfConversion = 1;
    hadc1.Init.DMAContinuousRequests = DISABLE;
    hadc1.Init.EOCSelection = ADC_EOC_SINGLE_CONV;
    if (HAL_ADC_Init(&hadc1) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

```

```

sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_0;
sConfig.Rank = 1;
sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_3CYCLES;
if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
}

static void MX_TIM2_Init(void)
{
    TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig = {0};
    TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig = {0};
    TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC = {0};

    htim2.Instance = TIM2;
    htim2.Init.Prescaler = 525;
    htim2.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim2.Init.Period = 100;
    htim2.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    htim2.Init.AutoReloadPreload = TIM_AUTORELOAD_PRELOAD_DISABLE;
    if (HAL_TIM_Base_Init(&htim2) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    sClockSourceConfig.ClockSource = TIM_CLOCKSOURCE_INTERNAL;
    if (HAL_TIM_ConfigClockSource(&htim2, &sClockSourceConfig) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    if (HAL_TIM_PWM_Init(&htim2) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
    sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;
    if (HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim2, &sMasterConfig) !=
    HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    sConfigOC.OCMode = TIM_OCMODE_PWM1;
    sConfigOC.Pulse = 0;

```

```

sConfigOC.OCpolarity = TIM_OCPOLARITY_HIGH;
sConfigOC.OCFastMode = TIM_OCFAST_DISABLE;
if (HAL_TIM_PWM_ConfigChannel(&htim2, &sConfigOC, TIM_CHANNEL_1) !=
HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}

HAL_TIM_MspPostInit(&htim2);

}

static void MX_USART2_UART_Init(void)
{

    huart2.Instance = USART2;
    huart2.Init.BaudRate = 115200;
    huart2.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart2.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart2.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart2.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart2.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart2.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    if (HAL_UART_Init(&huart2) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

}

static void MX_GPIO_Init(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};

    /* GPIO Ports Clock Enable */
    __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOH_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();

    /*Configure GPIO pin Output Level */
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOC,
GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_3
|GPIO_PIN_10|GPIO_PIN_11|GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_RESET);

```

```

/*Configure GPIO pin Output Level */
HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,
GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_14|GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);

/*Configure GPIO pin : B1_Pin */
GPIO_InitStruct.Pin = B1_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_IT_FALLING;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
HAL_GPIO_Init(B1_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);

/*Configure GPIO pins : PC0 PC1 PC2 PC3
PC10 PC11 PC12 */
GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_3
|GPIO_PIN_10|GPIO_PIN_11|GPIO_PIN_12;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);

/*Configure GPIO pins : PB1 PB2 PB14 PB15 */
GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_14|GPIO_PIN_15;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);
}

void Error_Handler(void)
{

}

#ifdef USE_FULL_ASSERT

void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line)
{

}

#endif /* USE_FULL_ASSERT */

```