

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АППАРАТУРИ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

О.М.Лисенко

(підпис) (ініціали, прізвище)

«13» червня 2021 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему: Пристрій відображення поточного часу з додатковими функціями

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-61

Сільчук Віталій Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: асистент кафедри КЕОА,

к.т.н. Іваннік Г.В.

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

Рецензент: доцент кат. АМЕС,

к.т.н., доцент Попович П.В.

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

(підпис)

(підпис)

(підпис)

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

Студент (підпис)

Київ - 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського

(повна назва)

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікація та радіотехніка»

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.М.Лисенко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

« 02 » березня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Сільчуку Віталію Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Пристрій відображення поточного часу з
додатковими функціями»

керівник проекту: Іваннік Геннадій Васильович, к.т.н.

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

затверджені наказом по університету від «31» травня 2021 р. № 1380-с

2. Термін подання студентом проекту 10 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до проекту. Пристрій відображення поточного часу з
додатковими функціями повинен відповідати наступним вимогам:

- наявність функції відображення значення поточного часу в словесному форматі;
- наявність функції календаря та відображення значення поточної дати;
- наявність функції будильника;
- наявність можливості ручного налаштування поточних значень дати та часу;
- наявність функції вимірювання та відображення поточних значень температури, вологості та тиску;

- наявність функції автоматичного підлаштування яскравості індикації, залежно від рівня освітленості в приміщенні;
- наявність функції автоматичної періодичної синхронізації часу з NTP-сервером по Wi-Fi;
- наявність можливості відображення поточних показів датчиків температури, вологості та тиску на веб-сторінці керування пристроєм;
- наявність можливості здійснення віддаленого конфігурування параметрів роботи пристрою на веб-сторінці керування пристроєм.

4. Зміст пояснювальної записки:

- аналіз технічного завдання;
- огляд існуючих пристроїв відображення поточного часу, патентний пошук;
- розробка структурної схеми пристрою та пояснення його роботи;
- вибір та обґрунтування елементної бази;
- розробка схеми електричної принципової;
- проектування друкованого вузла, розміщення компонентів на друкованій платі пристрою;
- конструкторсько-технологічні розрахунки друкованої плати;
- проектування друкованої плати у САПР Altium Designer;
- електричний розрахунок друкованої плати пристрою;
- розрахунок віброміцності та надійності друкованої плати пристрою;
- розробка програмного забезпечення.

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

- креслення схеми електричної принципової;
- креслення друкованої плати;
- складальне креслення друкованої плати.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 12 лютого 2021 року

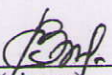
* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

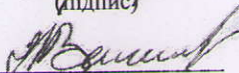
Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	12.02.21 – 17.02.21	Виконано
2	Огляд літератури, патентний пошук, аналіз сучасного стану ринку	17.02.21 – 11.05.21	Виконано
2	Розробка структурної схеми пристрою	11.05.21 – 14.05.21	Виконано
3	Вибір та обґрунтування елементної бази	14.05.21 – 18.05.21	Виконано
4	Розробка схеми електричної принципової	18.05.21 – 20.05.21	Виконано
5	Проектування друкованого вузла	20.05.21 – 22.05.21	Виконано
6	Конструкторсько-технологічні розрахунки друкованої плати	22.05.21 – 25.05.21	Виконано
7	Проектування друкованої плати у САПР Altium Designer	25.05.21 – 27.05.21	Виконано
8	Електричний розрахунок друкованої плати пристрою	27.05.21 – 29.05.21	Виконано
9	Розрахунок віброміцності та надійності друкованої плати пристрою	29.05.21 – 30.05.21	Виконано
10	Розробка програмного забезпечення	30.05.21 – 03.06.21	Виконано
11	Виконання креслень	03.06.21 – 05.06.21	Виконано
12	Оформлення пояснювальної записки	05.06.2021 - 10.06.21	Виконано

Студент

Керівник проекту


(підпис)


(підпис)

В.І. Сільчук
(ініціали, прізвище)

Г.В. Іваннік
(ініціали, прізвище)

Анотація

Проект викладено на 115 сторінках, він містить 5 розділів, 47 ілюстрацій, 7 таблиць та 32 джерела в переліку посилань.

Метою даної розробки є створення пристрою, основною функцією якого є відображення значення поточного часу, з набором додаткових функцій та характеристик, виділених шляхом аналізу функціоналу представлених на ринку пристроїв-аналогів, котрі будуть актуальними та корисними для користувача; який відрізнятиметься компактністю, зручністю в користуванні, буде розроблений з використанням сучасної елементної бази та сучасних технологічних можливостей.

У процесі дипломного проектування було здійснено аналіз функціоналу об'єкта проектування в сучасному його стані шляхом аналізу стану ринку, проведено патентний пошук та аналіз отриманих результатів, розроблено структурну схему конструкції та друкованої плати пристрою, описано й проілюстровано принцип реалізації відображення значень часу в словесному форматі в контексті конструкції пристрою, розроблено схему електричну принципову пристрою, вибрано, з наведенням відповідного обґрунтування, елементну базу. Було здійснено проектування друкованого вузла пристрою, в використанням, при цьому, сучасних САПР, виконано необхідні конструкторсько-технологічні та електричні розрахунки, котрі підтверджують правильність прийнятих при проектуванні рішень, виготовлено діючий прототип пристрою. Результатом проектування друкованої плати стало її виготовлення на виробництві. Також було розглянуто проектування програмного забезпечення пристрою, та наведено вихідний код, котрий виступає «ядром» необхідного програмного забезпечення пристрою.

Було здійснено розробку необхідного набору конструкторської документації, котра може бути використана при впровадженні розробленого пристрою у виробництво.

За темою проекту була підготовлена стаття, подана на конференцію «Стратегічні напрямки розвитку науки: фактори впливу та взаємодії» (2020, Суми, Україна).

Ключові слова: годинник, відображення часу, мікроконтролер, світлодіоди, світлодіодні матриці, I2C, SPI, UART, MAX7219, RTC.

Summary

The project is presented on 115 pages, it contains 5 sections, 47 illustrations, 7 tables and 32 sources in the list of links.

The purpose of this development is to create a device, whose main function is to display the value of the current time, with a set of additional functions and characteristics highlighted by analyzing the functionality of commercial devices on the market that will be relevant and useful to the user; which will be compact, easy to use, will be developed using a modern element base and modern technological capabilities.

In the process of diploma design was analyzed the functionality of the design object in its current state by analyzing the market, patent search and analysis of the results, developed a block diagram of the design and circuit board of the device, described and illustrated the principle of displaying time values in verbal format in the context of the design of the device, the circuit diagram of the device was developed, the element base was selected, with the appropriate justification. The design of the printed circuit board of the device was carried out, using modern CAD, the necessary design and technological and electrical calculations were performed, which confirm the correctness of the decisions made during the design, a working prototype of the device was made. The result of the design of the printed circuit board was its manufacturing. The design of the device software was also considered, and the source code, which is the "core" of the required device software, was given.

The necessary set of design documentation was developed, which can be used in the implementation of the developed device in production.

An article submitted to the conference "Strategic directions of science development: factors of influence and interaction" (2020, Sumy, Ukraine) was prepared on the topic of the project.

Keywords: clock, time display, microcontroller, LEDs, LED arrays, I2C, SPI, UART, MAX7219, RTC.

Пояснювальна записка
до дипломного проекту

на тему: **Пристрій відображення поточного часу з додатковими функціями**

Київ – 2021 року

Зміст

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ	
ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	7
1.1 Короткі теоретичні відомості. Аналіз аналогів та їх функціоналу.....	7
1.2 Патентний пошук.....	17
1.3 Вимоги до пристрою та задачі, які вирішуються в ході проектування.....	23
Висновки до розділу.....	24
РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ	
ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ.....	26
2.1 Розробка структурної схеми. Принцип реалізації відображення часу в словесному форматі в контексті структури пристрою.....	26
2.2 Розробка схеми електричної принципової. Вибір елементної бази.....	38
2.3 Розрахунки та підключення основних елементів схеми електричної принципової.....	48
Висновки до розділу.....	59
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА.....	60
3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати.....	60
3.2 Вибір класу точності друкованої плати.....	61
3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати.....	63
3.4 Розміщення компонентів та трасування друкованої плати.....	64
3.5 Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer.....	65
3.6 Виготовлення друкованої плати.....	66
Висновки до розділу.....	67

					ДК61.403272.001 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		В.І. Сільчук			Пристрій відображення поточного часу з додатковими функціями Пояснювальна записка		Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевірив		Г.В. Іваннік					0		1	115
Реценз.							КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, ДК-61			
Н. Контр.		О.І. Лисенко								
Затвердив		Г.В. Іваннік								

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ

РІШЕНЬ.....	68
4.1 Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ.....	68
4.2 Електричний розрахунок друкованої плати.....	74
4.3 Розрахунок надійності друкованого вузла.....	78
4.4 Розрахунок віброміцності друкованого вузла.....	83
4.5 Розрахунок теплового режиму лінійного стабілізатора напруги.....	86
Висновки до розділу.....	88

РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АПРОБАЦІЯ ПРИЙНЯТИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....

5.1 Основні моменти конфігурації роботи мікроконтролера блоку керування та обробки даних, робота з датчиками температури, вологості, тиску та освітленості, з модулем Wi-Fi, з мікросхемами MAX7219.....	90
5.2 Режими роботи пристрою.....	92
5.3 Робота пристрою в режимі відображення значень поточного часу.....	93
5.4 Робота пристрою в режимі ручного налаштування значення поточного часу	94
5.5 Робота пристрою в режимі налаштування значень поточного часу шляхом синхронізації з NTP-сервером.....	94
5.6 Робота пристрою в режимі виведення поточних значень температури, тиску та вологості в приміщенні, де експлуатується пристрій.....	95
5.7 Робота пристрою в режимі налаштування яскравості індикації.....	97
5.8 Забезпечення можливості перегляду значень температури, тиску та вологості в приміщенні, де експлуатується пристрій, а також віддалена конфігурація роботи пристрою, на веб-сторінці керування пристроєм.....	99
5.9 Робота з модулем RTC мікроконтролера STM32F401RET6.....	100
5.10 Апробація прийнятих в рамках проектування технічних рішень.....	104
Висновки до розділу.....	107

ВИСНОВКИ.....109

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....112

Додаток А – Технічне завдання на проектування

Додаток Б – Вихідний код основних функцій для початкової конфігурації та роботи з модулем годинника реального часу в мікроконтролері STM32F401RET6

Додаток В – Стаття для Міжнародної наукової конференції «Стратегічні напрямки розвитку науки: фактори впливу та взаємодії», секція «Технічні науки та інформаційні технології»

Додаток Г – Акт про використання результатів дипломного проекту в навчальному процесі

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДВ – друкований вузол

ДМ – друкований монтаж

ДП – друкована плата

КЕ – конструктивні елементи

КМ – контактний майданчик

МК – мікроконтролер

ПМ – посадкове місце

ТЗ – технічне завдання

УГП – умовно-графічне позначення

UART – Universal Asynchronous Receiver Transmitter

I2C – Inter-Integrated Circuit

SPI – Serial Peripheral Interface

BGA – Ball Grid Array

GPIO – General-Purpose Input/Output

HDL – Hardware Description Language

РЕА – радіоелектронна апаратура

ЕРЕ – електрорадіоелементи

EXTI – External Interrupt/Event Controller

SWD – Serial Wire Debug

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В стрімкому та насиченому подіями сучасному світі дуже важливою навичкою для людини є вміння грамотно планувати, розподіляти та ефективно використовувати свій час – тайм-менеджмент. При цьому, для точної синхронізації власних планів з іншими членами соціуму, можна прив'язати таке планування до значень всесвітнього часу, який є стандартним й однаковим для усього людства. Відповідно, в такому випадку, постає необхідність у пристрої, що буде виконувати функцію постійного ведення відліку цього часу та відображення його значення у поточний момент – котрим являється годинник.

Говорячи про класифікацію та різноманітність годинників, представлених на ринку, виходячи з таких характеристик, як розмір та портативність, серед них можна виділити, зокрема, наручні, настільні та настінні годинники. Пристрій, що розробляється, належить до категорії електронних годинників, призначений для використання в побуті, і може використовуватись в настільному варіанті розміщення.

Метою даної розробки є створення пристрою, основною функцією якого є відображення значення поточного часу, з набором додаткових функцій та характеристик, виділених шляхом аналізу функціоналу представлених на ринку пристроїв аналогічного призначення, котрі будуть актуальними та корисними для користувача; який відрізнятиметься компактністю, зручністю в користуванні, і буде розроблений з використанням сучасної елементної бази та САПР.

Виходячи з цього, завдання розробки полягає в аналізі існуючих на ринку рішень, визначенні ключових параметрів та функцій, котрі мають бути передбачені та реалізовані в пристрої, що проектується, патентному пошуку аналогів, і формуванні, на основі цього, концепції пристрою, котрий володітиме як «базовим» необхідним функціоналом, так і актуальними, сучасними та корисними для користувача додатковими функціями, та матиме переваги в функціоналі та характеристиках, у порівнянні з існуючими аналогами. На основі сформованої концепції передбачені подальші етапи схемотехнічного

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

проектування, вибору елементної бази та матеріалів, проектування друкованого вузла з використанням сучасних САПР, проведення конструкторсько-технологічних та електричних розрахунків для перевірки правильності здійснених рішень, а також розробки алгоритму роботи пристрою та проектування відповідного програмного забезпечення, котре забезпечуватиме роботу пристрою відповідно до розробленого алгоритму.

На тему дипломного проекту була підготовлена стаття, подана на конференцію «Стратегічні напрямки розвитку науки: фактори впливу та взаємодії», котра була опублікована в відповідному збірнику матеріалів конференції.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Короткі теоретичні відомості. Аналіз аналогів та їх функціоналу.

Електронний годинник – це годинник, функціональні вузли якого виконані на електронних елементах, в якому для відліку часу використовуються періодичні коливання електронного генератора, перетворені в дискретні сигнали, що повторюються через, наприклад, 1 секунду, і виводяться на цифрове табло, що відображає поточний час, а в деяких моделях – також і поточну дату. Елементна база таких пристроїв представлена інтегральними цифровими мікросхемами та електровакуумними, напівпровідниковими або рідкокристалічними індикаторами. Перші електронні годинники з'явилися в 1970-х роках, завдяки розвитку технологій та мікроелектроніки, ставши результатом покращення електронно-механічних конструкцій [1, 2]. Розвиток даної сфери продовжується і в наш час – звичні конструкції покращуються, а їх функціонал значно розширюється наявністю різноманітних датчиків (температури, тиску, вологості тощо), підтримкою технологій Wi-Fi та Bluetooth.

Вимоги до функціоналу розробки можуть бути сформовані шляхом аналізу сучасного стану ринку на предмет наявності пристроїв аналогічного призначення, та виокремленні, на основі отриманої вибірки, мінімального списку функцій, які для них характерні, та додаткових функцій, котрі є актуальними на даний час, і мають бути включеними до функціоналу об'єкту проектування для виділення його серед подібних та забезпечення гарної конкурентоспроможності.

В результаті аналізу асортименту аналогів, представленого на таких інтернет-ресурсах, як Rozetka [3], Allo [4], Amazon [5], можна зробити висновок, що до основних – мінімальних – функціональних можливостей, які

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

зустрічаються в електронних годинниках, і які мають бути передбаченими в розроблюваному пристрої, можна віднести:

- відображення значення поточного часу;
- функція календаря та відображення значення поточної дати;
- можливість ручного налаштування поточних значень дати та часу;

Окрім цього, доволі поширеною серед аналогів функцією є вимірювання та відображення таких даних, як поточна температура та вологість у приміщенні.

Аналіз аналогів може бути здійсненим також за шляхом безпосередньої реалізації їх функціоналу – зокрема, способу відображення інформації, реалізації функції автоматичної синхронізації часу, реалізації ведення відліку часу.

Так, аналізуючи способи реалізації індикації інформації, котрі зустрічаються в представлених на ринку пристроях в наш час, можна виділити серед них наступні:

- використання семисегментних світлодіодних індикаторів – недоліком такого типу індикації є те, що тип та кількість інформації, що відображається, є обмеженими, перевагами – контрастність відображення інформації, широкий діапазон робочих температур та низька вартість. Прикладом годинника, котрий використовує семисегментні світлодіодні індикатори для відображення інформації, є годинник Caixing CX-2159 [6], зображений на рисунку 1.1. Країна виробництва – Китай;



Рисунок 1.1 – Годинник Caixing CX-2159

- використання дисплеїв – рідкокристалічних, OLED. До переваг рідкокристалічних дисплеїв можна віднести малу споживану потужність та великий термін служби, до недоліків – потреба в зовнішньому джерелі світла та вузький діапазон робочих температур ($0^{\circ}\text{C} - +50^{\circ}\text{C}$). Перевагами OLED-дисплеїв є невисоке енергоспоживання, недоліки – відносно висока ціна та «вигорання» пікселів. Прикладом годинників, що використовують рідкокристалічний дисплей для відображення інформації, є годинник Kadio KD-3810N [7], зображений на рисунку 1.2, країною виробництва якого є Китай, та годинник тактичний з крокоміром M-Tac Black [8], зображений на рисунку 1.3. Країна виробництва – Україна. OLED-дисплей використовується, наприклад, в годиннику Smart Watch Q50 [9], що зображений на рисунку 1.4. Країна виробництва – Китай;



Рисунок 1.2 – Годинник Kadio KD-3810N



Рисунок 1.3 – Наручний тактичний годинник з крокоміром M-Tac Black

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		10



Рисунок 1.4 – Наручний годинник Smart Watch Q50

- використання газорозрядних індикаторів – індикатори такого типу характеризуються високою надійністю, гарною контрастністю та яскравістю зображення, а також відносно великими розмірами символів. Недолік використання газорозрядних індикаторів полягає в необхідності забезпечення наявності джерела відносно високої напруги для їх живлення (в складній пускорегулюючій апаратурі), а також в їх високій вартості, низькій стійкості до фізичних впливів. Прикладом годинника, в якому реалізовано відображення інформації за допомогою газорозрядних індикаторів, є годинник Le T Manufacture «Київ» [10], зображений на рисунку 1.5. Країна виробництва – Україна;



Рисунок 1.5 – Годинник Le T Manufacture «Київ»

- використання світлодіодних матриць – перевагами такого способу є велика кількість символів, що можуть бути відображені, а також широка їх різноманітність, що залежить від роздільної здатності таких індикаторів (розмірів матриці), недоліки – складність керування, висока ціна, менша надійність за рахунок великої кількості елементів. Світлодіодні матриці для відображення інформації використовуються, наприклад, у годиннику Sigovd [11], що зображений на рисунку 1.6. Країна виробництва – Китай;



Рисунок 1.6 – Годинник Sigovd

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ДК61.403272.001 ПЗ

Аркуш

12

Синхронізація часу в досліджених пристроях реалізовується наступним чином:

- використання GPS-модулів для періодичної синхронізації значення часу – даний спосіб має такі недоліки, як високе енергоспоживання відповідних модулів, можливі проблеми з якістю роботи в приміщеннях, потреба корегування отриманих значень часу згідно зміни літнього/зимового часу, а також згідно поточного часового поясу, в якому знаходиться користувач;
- використання радіомодуля DCF77 для періодичної синхронізації значення часу – передбачається прийом сигналів точного часу по радіозв'язку від передатчика DCF77, котрий знаходиться в Німеччині. До переваг такого способу можна віднести низьке енергоспоживання, до недоліків – залежність якості прийому сигналу від чутливості приймача, типу антени, що використовується, а також від наявності завад в точці прийому;
- використання мережевої синхронізації значення часу – синхронізація поточного значення часу з NTP-сервером за допомогою Wi-Fi модуля;

Ведення відліку часу в розглянутих пристроях реалізовується наступним чином:

- використання програмованих таймерів-лічильників всередині мікроконтролера – характеризується низькою точністю, так як такі таймери-лічильники являють собою RC-генератори, частота сигналу яких визначається значеннями параметрів резисторів та конденсаторів, котрі змінюються залежно від температури;
- використання RTC (Real-time clock) модулів – модулів годинника реального часу. Серед RTC-мікросхем, котрі найбільш широко використовуються, зокрема, в любительських проектах, можна виділити DS1307 (характеризується відносно невисокою точністю ведення відліку часу), а також DS3231 (є значно більш точним, ніж DS1302 та DS1307). Варто зазначити, що деякі серії мікроконтролерів, зокрема, сімейства

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

STM32, містять в своєму складі апаратно реалізований модуль RTC, котрий позбавляє від необхідності використання сторонніх мікросхем для реалізації ведення відліку поточного часу – таким чином, вибір даного способу є найбільш оптимальним рішенням, так як дозволяє мінімізувати кількість компонентів пристрою і забезпечити гарну точність ведення відліку часу. Окрім цього, у модуля RTC в складі мікроконтролерів STM32 є наявною апаратна реалізація функцій будильника та календаря;

Також представлені на ринку пристрої можна розділити за форматом відображення часу:

- десятковий – використовується годинниками, зображеними на рисунках вище;
- двійково-десятковий (BCD) – відображення інформації в даному форматі реалізовано в годиннику Anelace «Powers of 2» [12], зображеному на рисунку 1.7. Країна виробництва – США. Пояснення принципу відображення часу в даному форматі проілюстровано на рисунку 1.8;

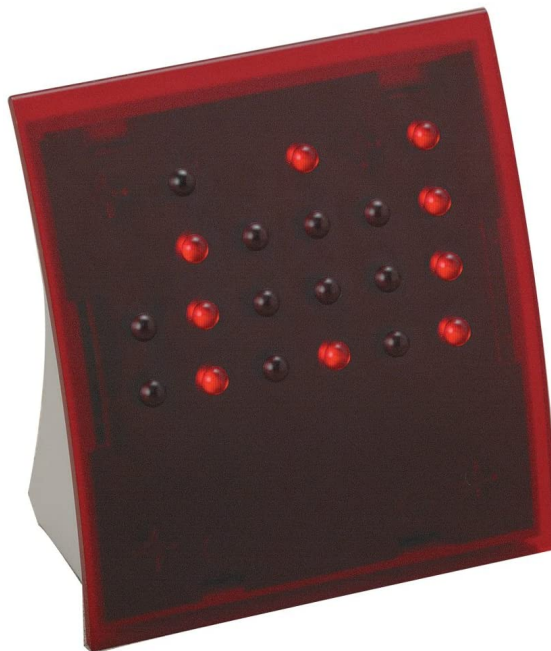


Рисунок 1.7 – Годинник Anelace «Powers of 2»

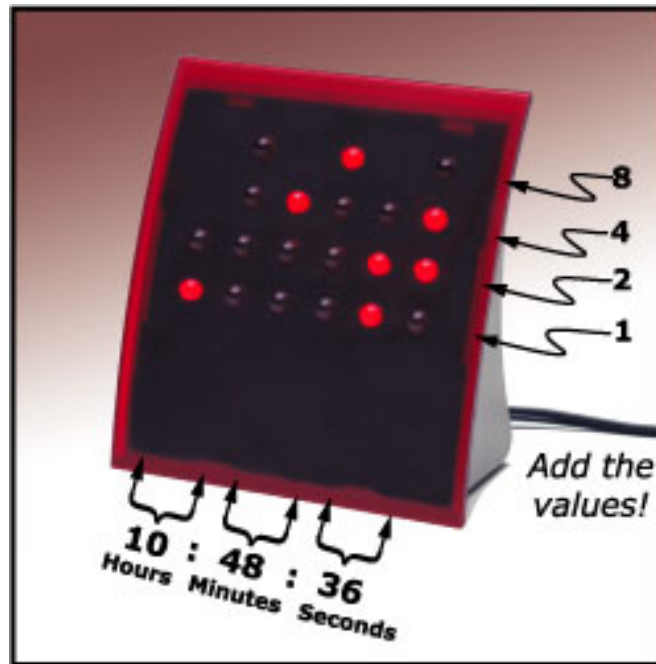


Рисунок 1.8 – Пояснення використання відображення часу в двійково-десятковому форматі

- двійковий – відображення часу у двійковому форматі функціонально передбачено у годинника, що наведений на рисунку 1.7. Пояснення функціонування даного режиму в годиннику Anelace «Powers of 2» зображено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.10 – Годинник QLOCKTWO Classic

В умовах заповненості ринку електронними годинниками, котрі мають, загалом, фактично, незначні відмінності – схожі й одноманітні конструкцію, спосіб відображення інформації, параметри та набір функцій – гарним рішенням, яке забезпечить високу відмінність розроблюваного пристрою від наявних на ринку аналогів, буде вибрати досить непоширений та незвичний для загалу спосіб відображення часу. Таке рішення є доволі ґрунтовним, адже годинник, безумовно, окрім функції ведення відліку часу, являє собою також і елемент інтер'єру, тому його зовнішній вигляд – ергономічно-естетичні параметри – є важливим моментом та важливим фактором при здійсненні вибору для користувача.

Таким чином, для закладення в даному пристрої переваги в естетичному плані, є сенс реалізувати відображення значення поточного часу в словесному форматі, а не в звичному числовому.

Також, окрім наведених вище основних функцій, вирішено було передбачити в пристрої, що розробляється, наявність таких додаткових функцій, котрі наявні в деяких моделях подібних пристроїв, як:

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- вимірювання та відображення поточних значень температури, вологості та тиску – шляхом використання відповідних спеціалізованих датчиків;
- автоматичне підлаштування яскравості індикації, залежно від рівня освітленості в приміщенні – шляхом використання відповідного спеціалізованого датчика освітленості;
- можливість автоматичної періодичної синхронізації часу з NTP-сервером по Wi-Fi – шляхом використання Wi-Fi модуля;

Використання в даному проекті Wi-Fi модуля дозволить, окрім реалізації функції автоматичної періодичної синхронізації часу з NTP-сервером по Wi-Fi, забезпечити також можливість відображення поточних показів датчиків температури, вологості та тиску на веб-сторінці керування, та можливість здійснення віддаленого конфігурування параметрів роботи пристрою на веб-сторінці керування пристроєм, котра зберігатиметься на веб-сервері, створеному на базі даного Wi-Fi модуля.

1.2 Патентний пошук.

Опираючись на наведені вище твердження, було здійснено патентний пошук, з врахуванням, при цьому, наявності в існуючих рішеннях такої функціональної особливості, як словесний формат відображення інформації. В результаті було виділено 2 патенти, тематика яких близька до тематики об'єкту проектування.

USD744862S1 – «Matrix clock» [14], автори – Marco Biegert та Andreas Funk, рік – 2009. Ілюстрація до даного патенту наведена на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Вигляд запатентованого дизайну пристрою USD744862S1
– «Matrix clock»

Даний патент являє собою патент на дизайн годинника, і засвідчує, таким чином, право власності на дизайн пристрою, відповідно до наведених в документі ілюстрацій та опису.

Відмінність передбаченого дизайну пристрою, що розробляється, від описаного в даному патенті, полягає в:

- іншому шрифті;
- наявності інших символів – піктограм, окрім літер;
- відсутності елементів індикації, котрі розміщені в кутах корпусу, і призначені для доповнення відображення значення хвилин;

US9041632B2 – «Device for displaying a text message» [15], автори – Marco Biegert та Andreas Funk, рік – 2010. Ілюстрації до даного патенту наведені на рисунках 1.12, 1.13, 1.14.

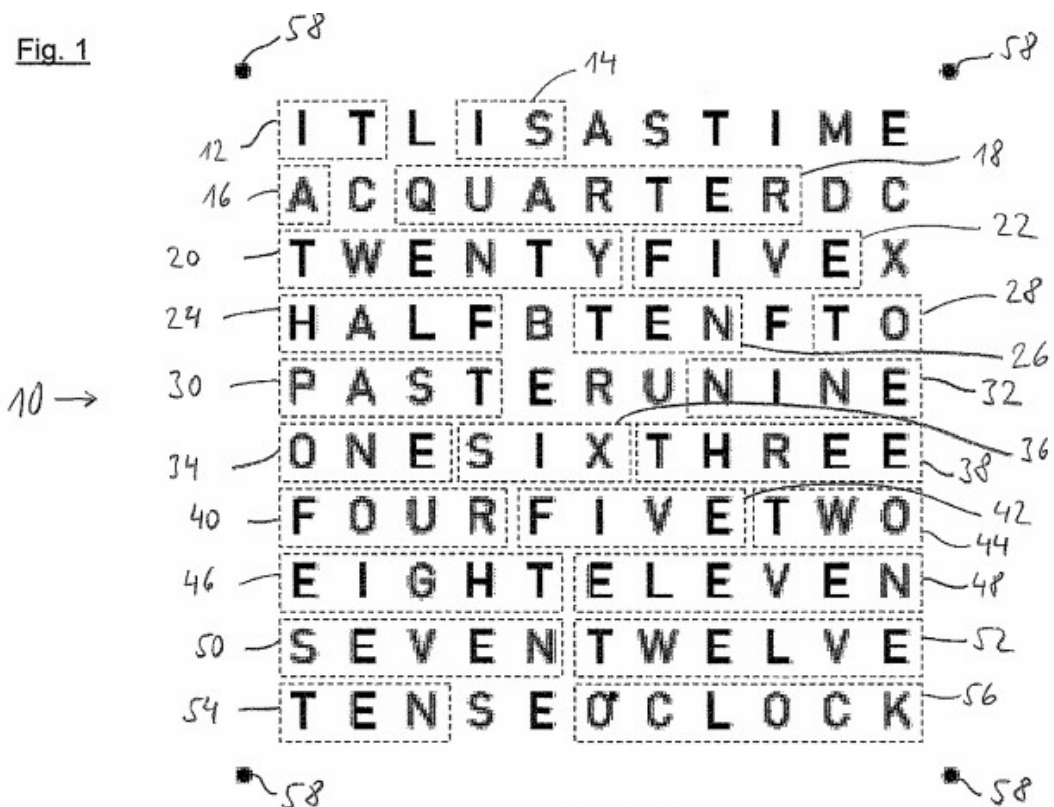


Рисунок 1.12 – Структура інформаційного таблицю пристрою-об'єкту патентування US9041632B2 – «Device for displaying a text message»

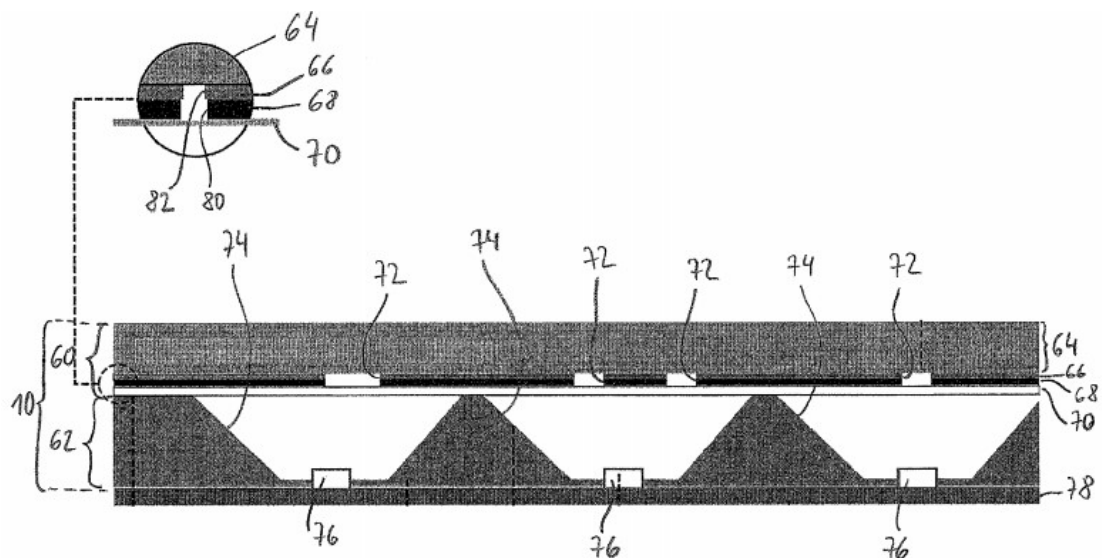


Рисунок 1.13 – Структура пристрою-об'єкту патентування US9041632B2 – «Device for displaying a text message»

Fig. 3

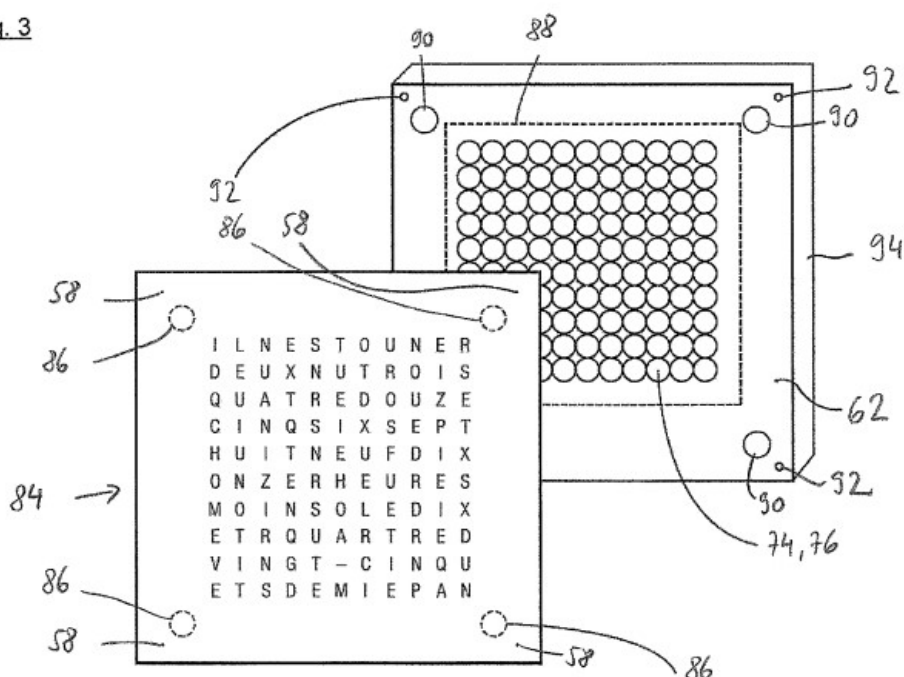


Рисунок 1.14 – Зовнішній вигляд конструкції пристрою-об’єкту патентування
US9041632B2 – «Device for displaying a text message»

Об’єктом патентування є пристрій для відображення текстового повідомлення, котрий складається з дисплею, що містить безліч символів, причому кожен з цих символів розташований у фіксованому положенні, і не перетинається з будь-яким іншим із зазначених символів, і призначений для вмикання та вимикання, та контролеру, котрий зв’язаний з даним дисплеєм, і призначений для запалення – вмикання, та гасіння – вимикання, вибраної літери. При цьому в певний момент часу вмикається тільки певна вибрана підгрупа зазначених символів, котра і формує текстове повідомлення, що відображається. Наявні на дисплеї символи являють собою літери і цифри.

Зовнішня панель пристрою, відмічена номером «84» на рисунку 1.14, складається з 4 шарів. Перший шар, відмічений номером «64» на рисунку 1.13, являє собою прозору скляну пластину, котра може бути кольоровою. Другий шар – «66» на рисунку 1.13 – шар кольорового покриття, нанесеного знизу на згаданий вище шар скла, котрий і задає його забарвлення, будучи видимим завдяки його прозорості. Третій шар – під номером «68» – світлонепроникний та непрозорий, формується покриттям шару «66», і не пропускає світло, котре проходить крізь зовнішню панель, вглиб. Четвертий шар – «70» –

напівпрозорий, необхідний для розсіювання світла, котре створюють джерела світла, відмічені на рисунку 1.13 номером «76». Внутрішня панель пристрою відмічена номером «62» на рисунку 1.13 та рисунку 1.14. Вона містить в собі отвори – «74» – котрі мають біле покриття, і можуть мати циліндричну або ж конусоподібну форму, а також джерела світла – «76», котрі розміщені на дні кожного отвору. Джерела світла являють собою світлодіоди. Третя частина конструкції – друкована плата – відмічена номером «78», котра приєднується знизу до внутрішньої панелі під номером «62», чим утворюється пряме з'єднання з кожним з джерел світла «76».

При цьому, в шарах «66» а «68» зроблені отвори, котрі мають форму символів, зображену на рисунку 1.12.

Таким чином, «запалюючи» в потрібний момент часу потрібні світлодіоди – джерела світла, що розміщені на внутрішній панелі, над якою розміщена зовнішня панель, котра містить в своїй структурі отвори у формі символів, можна формувати певні слова – в даному випадку – значення часу в словесній формі, в чому і полягає принцип індикації інформації в пристрої-об'єкті патентування.

В результаті аналізу даного патенту було виявлено відмінності між передбаченою конструкцією пристрою, що розробляється, та конструкцією пристрою, що описаний в даному патенті, котрі полягають в наступному:

- в інакшому шрифті;
- наявності символів, що відрізняються від літер і цифр, наявність котрих описана в патенті – такими символами є, зокрема, піктограми для індикації відліку секунд;
- відсутності елементів індикації, котрі розміщені в кутах корпусу, і призначені для доповнення відображення значення хвилин;
- наявності індикації секунд за допомогою окремої піктограми, розміщеної на дисплеї;
- зменшенні часових проміжків, що відображаються – розміщені на дисплеї об'єкту патентування символи формують слова, котрі дозволяють

відображати час тільки проміжками, що рівні 5 хвилинам – для того, щоб відобразити час більш точно, використовуються додатково 4 елементи індикації, розміщені в кутах пристрою, зображені під номером «58» на рисунку 1.12 – передбачена конструкція об’єкту проектування дозволяє відображати час похвилинно, без застосування додаткових індикаторів хвилин;

- українській локалізації значень часу;

Також наявні відмінності у конструкції:

- непрозоре покриття з отворами у формі літер (шари «66» та «68» у запатентованій конструкції) в пристрої, що розробляється, буде нанесено у вигляді паяльної маски з обох сторін листа склотекстоліту, а також будуть сформовані відповідні отвори в зовнішніх шарах міді, що відрізняється від технології формування аналогічного «трафарету» шляхом нанесення відповідного покриття на нижню сторону прозорого шару скла («64»), як це передбачається в запатентованій конструкції – що дасть змогу створити відповідну зовнішню панель у вигляді друкованої плати, та передбачити формування відповідних отворів у міді та покриття друкованої плати паяльною маскою безпосередньо в рамках технологічного процесу її виробництва;
- передбачається розміщення джерел світла – світлодіодів, безпосередньо на шарі друкованої плати, в формі світлодіодної матриці, а не окремо, як це передбачено в конструкції об’єкту патентування;
- відсутнє кріплення зовнішньої панелі до внутрішньої панелі за допомогою магнітів, зображених під номером «86» на рисунку 1.14 – передбачається з’єднання елементів конструкції між собою за допомогою болтового з’єднання;

Таким чином, пристрій, що проектується, використовує ідею відображення інформації в словесному форматі, що описана в патенті US9041632B2, маючи,

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

при цьому, відмінні покращення і доповнення в передбаченій конструкції пристрою.

1.3 Вимоги до пристрою та задачі, які вирішуються в ході проектування.

Пристрій відображення поточного часу з додатковими функціями, проектування якого здійснюється в рамках даного дипломного проекту, має відповідати наступним вимогам:

- наявність функції відображення значення поточного часу в словесному форматі;
- наявність функції календаря та відображення значення поточної дати;
- наявність можливості ручного налаштування поточних значень дати та часу;
- наявність функції вимірювання та відображення поточних значень температури, вологості та тиску;
- наявність функції автоматичного підлаштування яскравості індикації, залежно від рівня освітленості в приміщенні;
- наявність функції автоматичної періодичної синхронізації часу з NTP-сервером по Wi-Fi;
- наявність можливості відображення поточних показів датчиків температури, вологості та тиску на веб-сторінці керування пристроєм;
- наявність можливості здійснення віддаленого конфігурування параметрів роботи пристрою на веб-сторінці керування пристроєм;

Для досягнення даної мети, необхідно в ході проектування вирішити наступні задачі:

- розробка структурної схеми пристрою;
- вибір та обґрунтування елементної бази;
- розробка схеми електричної принципової;

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- проектування друкованого вузла, розміщення компонентів на друкованій платі пристрою;
- конструкторсько-технологічні розрахунки друкованої плати;
- проектування друкованої плати у САПР Altium Designer;
- електричний розрахунок друкованої плати пристрою;
- розрахунок віброміцності та оцінка надійності друкованої плати пристрою, розрахунок теплового режиму для певних компонентів;
- проектування програмного забезпечення;

Висновки до розділу

В даному розділі було наведено короткі теоретичні відомості про об'єкт проектування та здійснено аналіз функціоналу об'єкта проектування в сучасному його стані, шляхом аналізу сучасного стану ринку, і встановлено, що наведені на ринку пристрої, призначення котрих аналогічне до призначення пристрою, що розробляється, відрізняються, загалом, за такими критеріями, як спосіб реалізації ведення відліку часу, спосіб індикації інформації, формат відображення часу, наявність можливості автоматичного підлаштування яскравості індикації, наявність функції вимірювання та відображення даних про температуру/вологість/тиск, наявність можливості автоматичної періодичної синхронізації значення часу, наявність можливості віддаленого конфігурування роботи пристрою, а також було описано відповідні можливі варіанти реалізації даних можливостей, котрі зустрічаються в представлених на ринку пристроях. Також, виходячи з результатів відповідного аналізу ринку та на основі патентного пошуку з детальним аналізом результатів, було прийнято рішення стосовно вибору варіанту конструкції пристрою, що розробляється, сформульовано вимоги до функціоналу пристрою та задачі, які мають бути вирішені в ході проектування.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, результатом проектування має стати розробка пристрою, котрий поєднає в своєму функціоналі та характеристиках як базові функції аналогів, так і їх переваги та особливості.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми. Принцип реалізації відображення часу в словесному форматі в контексті структури пристрою

Конструкція пристрою, що проектується, може бути зображена наступним чином, проілюстрованим на рисунку 2.1.

Варто зазначити, що в рамках даного проекту основна увага приділятиметься проектуванню та розробці друкованого вузлу пристрою, тому інші елементи конструкції детально не розглядатимуться, і буде наведений лише словесний опис їх конструкції, та приклади зображень загального орієнтовного їх вигляду.

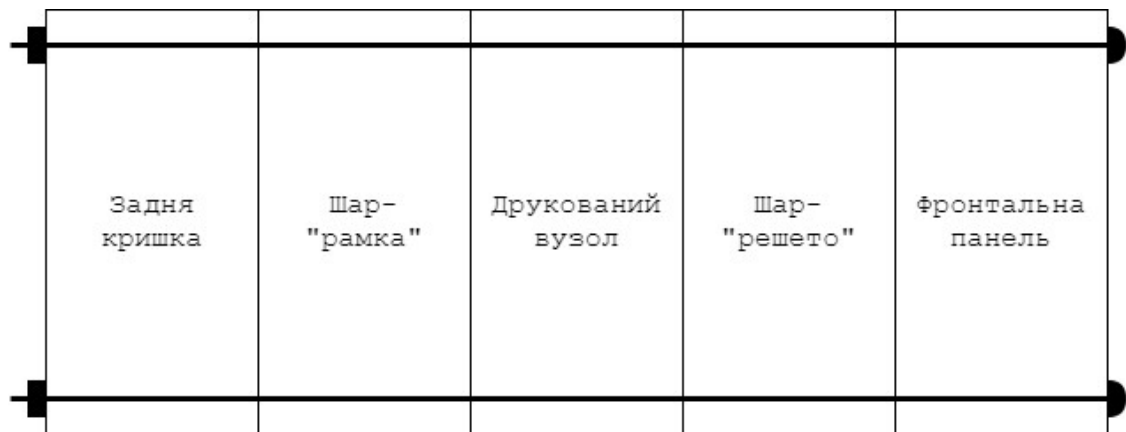


Рисунок 2.1 – Загальна конструкція пристрою

Як можна бачити, дана конструкція являє собою «стек» – її елементи-шари накладаються один на одного, і скріплюються між собою болтовим з'єднанням в декількох точках, котре схематично зображене горизонтальними лініями.

Задня панель-кришка відповідає розмірам друкованого вузла, і може бути виконана, наприклад, зі склотекстоліту, оргскла, ПВХ пластику достатньої товщини, з передбаченням чотирьох отворів діаметром 3 мм в кутах, аналогічних по розміщенню кутовим отворам в друкованому вузлі, а також отвору діаметром 6 мм для перемикача живлення пристрою.

Зображення орієнтовного вигляду даного елементу конструкції, котре може надати уявлення про його вигляд, наведено на рисунку 2.2.

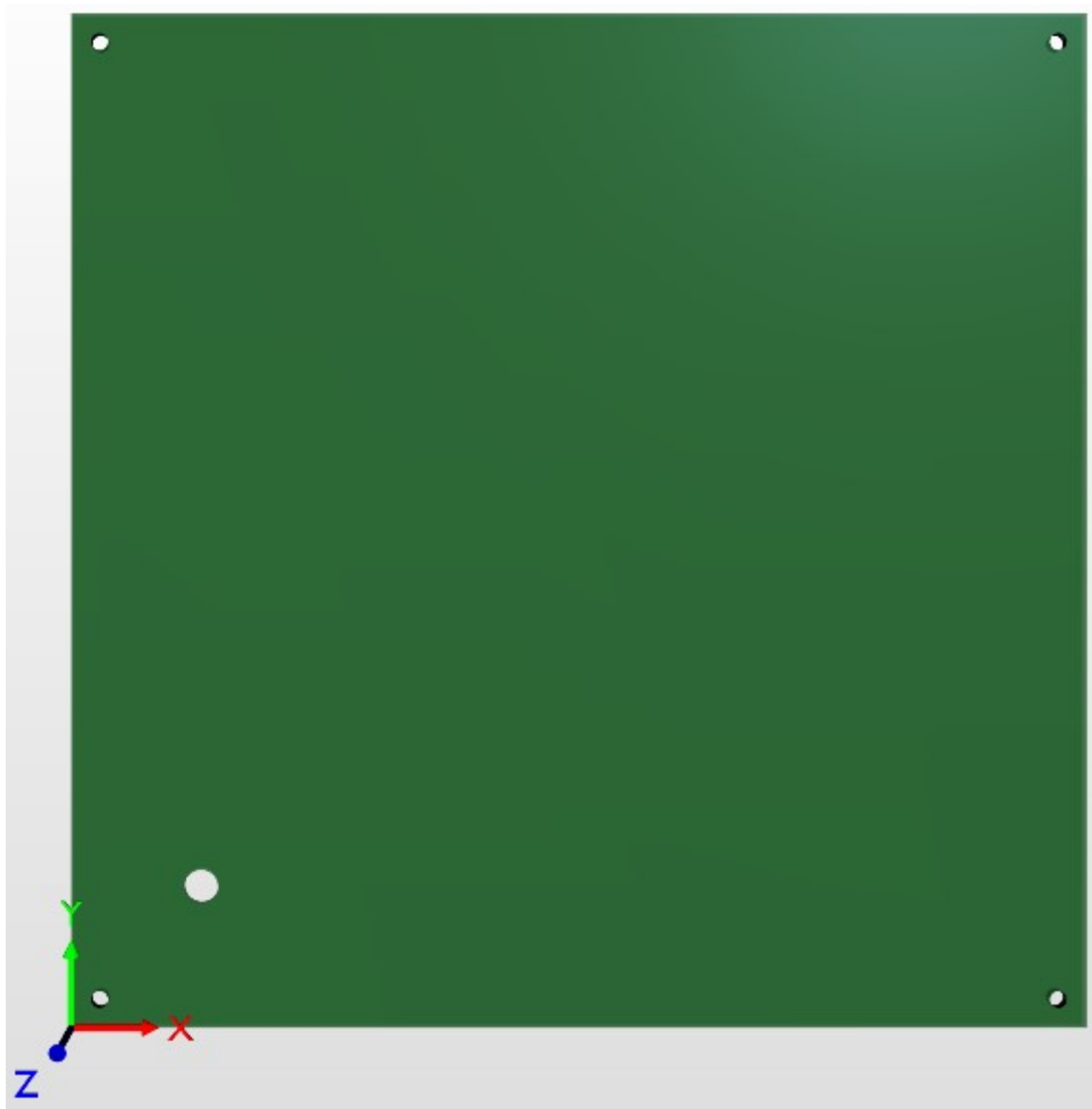


Рисунок 2.2 – Орієнтовний вигляд задньої кришки пристрою

Шар-«рамка», зображений на рисунку 2.3, розміщується між друкованим вузлом та задньою кришкою пристрою, та необхідний для створення достатнього проміжку між даними поверхнями, котрий, як і, таким чином, товщина даного конструктивного елемента, визначається висотою компонентів, розміщених на нижній стороні друкованої плати. Можливі матеріали виготовлення аналогічні наведеним вище матеріалам задньої кришки. Також в даному шарі необхідно передбачити виріз під роз'єм живлення пристрою, розміщений на нижній стороні друкованої плати, котрий не зображений на відповідному рисунку.

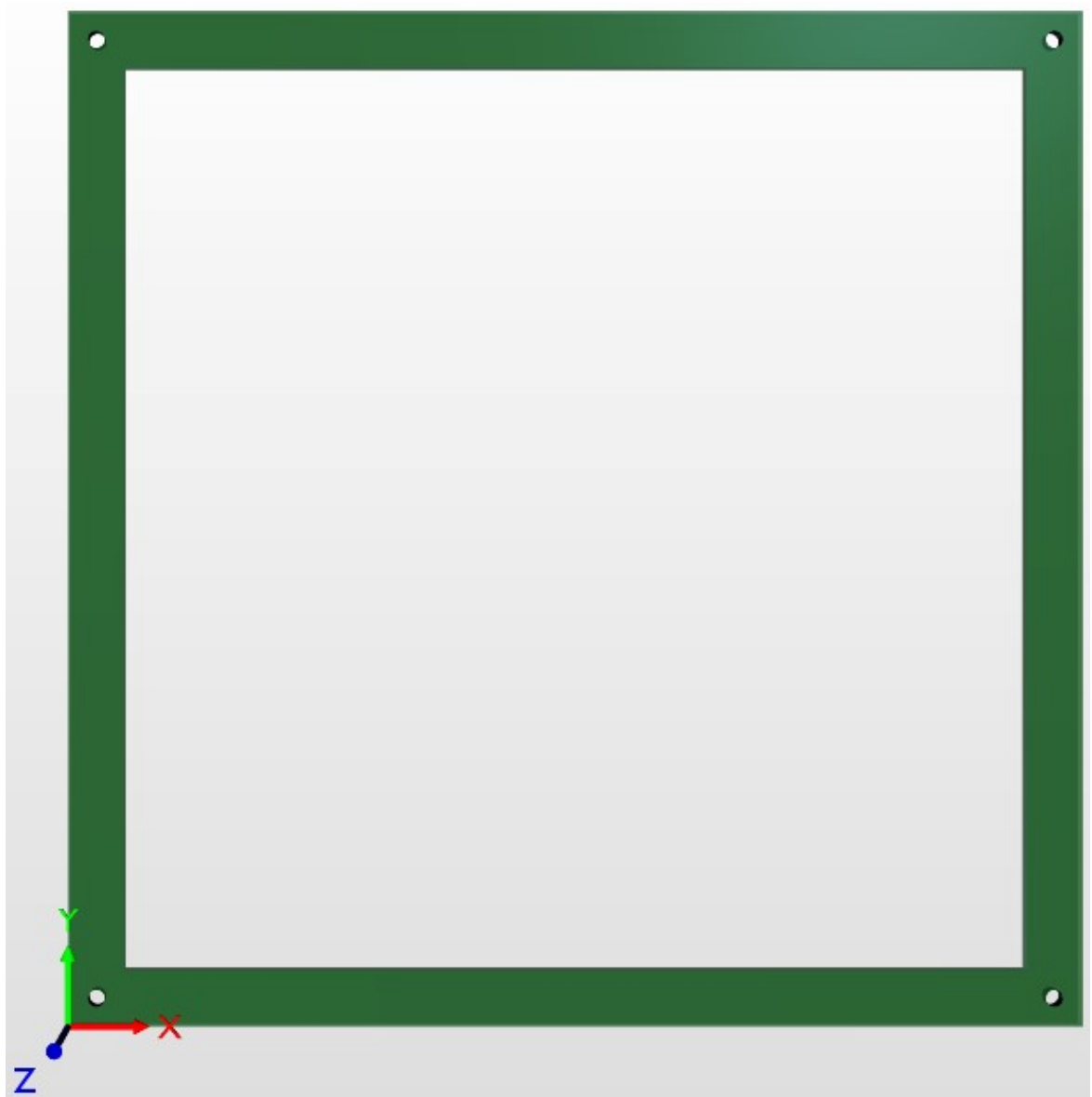


Рисунок 2.3 – Орієнтовний вигляд шару-«рамки» конструкції пристрою Друкований вузол містить електронні компоненти схеми пристрою відображення поточного часу з додатковими функціями, що розробляється, з виконаними зв'язками між ними. Структурна схема даного елементу конструкції наведена на рисунку 2.4, а розробка буде детально описана в подальшому в даному проекті.

керування, і забезпечують можливість вибору режиму роботи та конфігурування пристрою користувачем. За допомогою відповідних засобів введення здійснюється:

- зміна яскравості світіння елементів блоку індикації;
- активація та деактивація режиму налаштування значення поточного часу;
- налаштування значення поточного часу;
- активація функції виведення показів датчику температури, вологості та тиску;
- активація функції синхронізації часу з NTP-сервером.

Блок обробки даних та керування. Виконує обробку даних, що надходять від блоку введення даних, обробку інформації з датчиків, обробку та перетворення значень поточного часу, отриманих від модуля RTC, а також від Wi-Fi модуля, реалізує зворотню взаємодію з даними модулями, і забезпечує виконання алгоритму роботи пристрою та передачу відповідної інформації для відображення за допомогою блоку індикації.

В основу даного блоку може бути покладений, наприклад, мікроконтролер (МК), програмована користувачем вентильна матриця (FPGA), або ж одноплатний комп'ютер. Загалом, в рамках поставленого завдання, використання FPGA та одноплатних комп'ютерів не є виправданим. Ціна одноплатних комп'ютерів є доволі високою, крім цього, вони надто «масштабні» для реалізації поставленої задачі. Сфера застосування FPGA – це, зокрема, цифрова обробка сигналів, проведення обчислень, реалізація певних алгоритмів. FPGA зручні для створення «нестандартних» модулів, що гнучко реалізують певний конкретний і обмежений функціонал, спроектований і описаний, наприклад, за допомогою мови опису цифрової апаратури (HDL). Таким чином, в даному випадку найбільш оптимальним рішенням буде вибір мікроконтролера в якості основи блоку обробки даних та керування, котрий володітиме усім необхідним набором периферії.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Даний блок містить в своєму складі модулі GPIO, I2C, UART, SPI, котрі необхідні для забезпечення зв'язку з іншими блоками пристрою, а також модуль годинника реального часу (RTC), котрий призначений для точного ведення відліку часу.

Блок індикації. Представлений 194 світлодіодами, 192 з яких розміщуються на верхньому шарі друкованого вузла пристрою у вигляді матриці розмірності 12x16, а 2 світлодіоди розміщені на цьому ж шарі, окремо, а також драйверами світлодіодної матриці, котрі зв'язані з блоком обробки даних та керування за допомогою послідовного інтерфейсу SPI. Вибір використання світлодіодних матриць в якості засобів індикації впливає, в даному випадку, з влаштування передбаченої конструкції пристрою.

Датчик температури, вологості та тиску. Необхідний для здійснення вимірів відповідних величин в приміщенні, де експлуатуватиметься пристрій. Зв'язок з блоком обробки даних та керування – за допомогою послідовного інтерфейсу I²C.

Датчик освітленості. Необхідний для реалізації функції автоматичного підлаштування яскравості світлодіодної індикації в залежності від рівня освітленості в приміщенні, де розміщений розроблюваний пристрій, для забезпечення зручності його використання користувачем. Зв'язок з блоком обробки даних та керування – за допомогою послідовного інтерфейсу I²C.

Модуль Wi-Fi. Використання в даному проекті Wi-Fi модуля дозволяє реалізувати функцію автоматичної періодичної синхронізації часу з NTP-сервером по Wi-Fi, забезпечити можливість здійснення віддаленого конфігурування роботи пристрою та відображення поточних показів датчиків температури, вологості та тиску на веб-сторінці керування на веб-сторінці керування пристроєм. З блоком обробки даних та керування модуль зв'язаний за допомогою інтерфейсу UART.

Живлення пристрою. Представлене основним та резервним джерелами. Основне живлення пристрою – 5 В, стабілізована постійна напруга, що забезпечується зовнішнім блоком живлення з відповідними характеристиками,

котрий не входить в структуру пристрою. Резервне живлення – необхідне для забезпечення живлення виключно регістрів та лічильників модуля годинника реального часу.

Шар-«решето» має розміри аналогічні розмірам друкованої плати. В якості матеріалу виготовлення може бути вибраний склотекстоліт, або ж листовий ПВХ пластик достатньої товщини. Орієнтовний вигляд даного елемента конструкції наведений на рисунку 2.5.

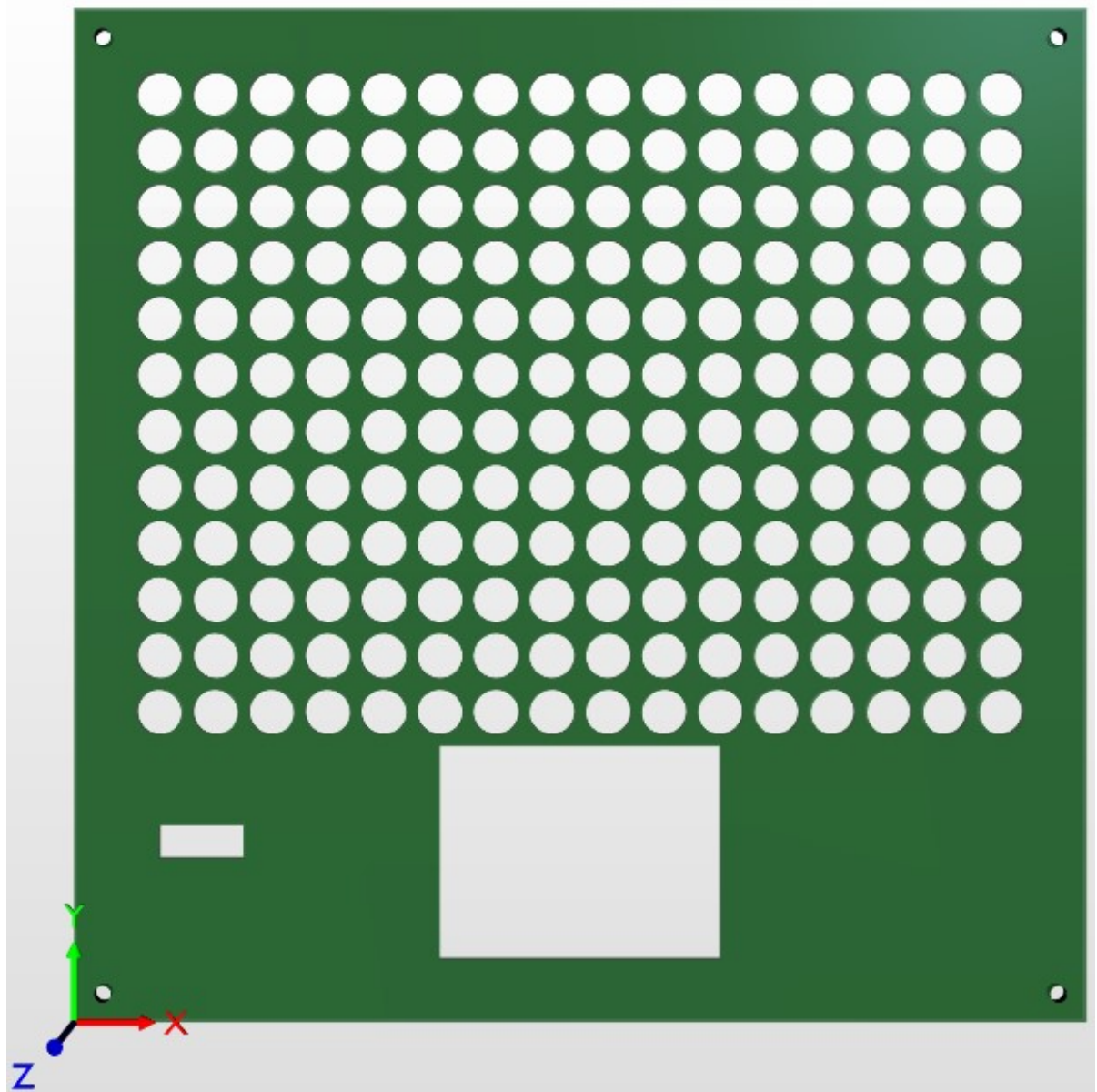


Рисунок 2.5 – Орієнтовний вигляд шару-«решета» конструкції пристрою

Як можна бачити з наведеного вище рисунку, в даному шарі мають бути виконані 192 отвори діаметром 8 мм з кроком 10 мм, 4 отвори в кутах, котрі розміщені аналогічно до відповідних кутових отворів в друкованій платі, а

також 2 прямокутні отвори. Даний шар нагадує «решето», і при накладанні його на друковану плату блоку керування, в центрі кожного з отворів діаметром 8 мм має опинитись один зі світлодіодів матриці блоку індикації, котрі розміщуються на верхній стороні друкованої плати. Призначення такої конструкції полягає в створенні певного непрозорого бар'єру між сусідніми світлодіодами, щоб не допустити небажаної підсвітки сусідніх літер, спрямувавши розсіювання світла кожним світлодіодом тільки на відповідну йому літеру на зовнішній панелі, а прямокутні отвори забезпечують місце під два окремо розміщені на верхній стороні друкованої плати світлодіоди, а також під датчик температури, вологості та тиску, датчик освітленості, резистори та конденсатори, виводи перемикача, котрий встановлюється на нижню сторону друкованої плати, котрі розмістяться на місці даних отворів при суміщенні даного шару з верхньою стороною друкованої плати, що передбачено конструкцією пристрою.

Зовнішня панель являє собою лист двостороннього фольгованого склотекстоліту товщиною 1-2 мм, з розмірами, котрі відповідають розмірам друкованої плати пристрою, в мідному покритті якого шляхом травлення виконано отвори у формі літер, а також 4 отворами в кутах листа, котрі мають розміщення аналогічне до розміщення кутових отворів в ДП. Дані отвори у формі літер виконуються з обох сторін листа, дзеркально. Розміри літер – 8х8 мм. Таким чином, області склотекстоліту, звільнені від міді, набувають певної прозорості, і, за умови розташування даного листа навпроти джерела світла, буде відбуватись підсвітка відповідних отворів у мідному покритті шару. І, таким чином, слідуючи ідеї відображення поточного часу в словесній формі, котра була описана та проілюстрована рисунками з патентних документів в процесі патентного пошуку, здійснюючи підсвітку даного листа лише в потрібних місцях – підсвічуючи потрібні літери, і, одночасно, не підсвічуючи зайві – можна формувати з відповідних підсвічених літер комбінації, котрі відповідатимуть словам, а слова, в свою чергу, являтимуть собою значення часу в словесному форматі. При цьому, обидві сторони даного листа можуть бути

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

покриті паяльною маскою, котра забезпечить бажаний колір зовнішньої панелі, а також частково приховає області, де відсутня мідь, забезпечивши, таким чином, більш візуально однорідну структуру зовнішньої панелі.

Приклад вигляду отвору-літери в мідному покритті листа фольгованого склотекстоліту наведено на рисунку 2.6. На рисунку 2.7 – аналогічний отвір, з покриттям фольгованої поверхні паяльною маскою зеленого кольору.



Рисунок 2.6 – Отвір в формі літери в фольгованому покритті склотекстоліту

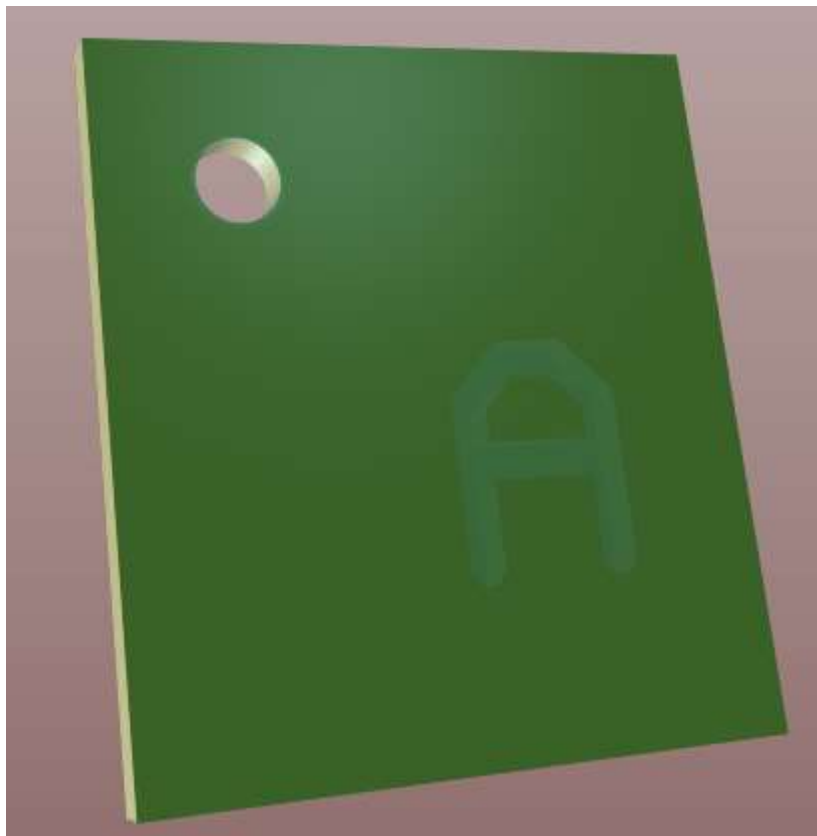


Рисунок 2.7 – Отвір в формі літери в фольгованому покритті склотекстоліту, з покриттям поверхні паяльною маскою зеленого кольору

На рисунку 2.8, наведено загальний вигляд конструкції зовнішньої панелі, що ілюструє схему розміщення літер, в формі яких мають бути виконані отвори в шарах міді, на поверхні листа.

Також на рисунку 2.8 можна бачити дві додаткові піктограми у вигляді пісового годиннику, котрі формуються на зовнішній панелі аналогічним до формування літер чином, шляхом травлення у фользі склотекстоліту отворів, котрі повторюватимуть їх форму, та призначені для індикації відліку секунд.

Дві крапки під піктограмами відліку секунд схематично зображають 2 отвори діаметром 5 мм, котрі розміщуються відповідно до розміщення датчику температури, вологості та тиску, та датчика освітленості на друкованій платі пристрою. Чотири крапки в кутах зовнішньої панелі схематично зображають 4 отвори діаметром 3 мм, котрі відповідають розміщенню аналогічних кутових отворів на друкованій платі пристрою.

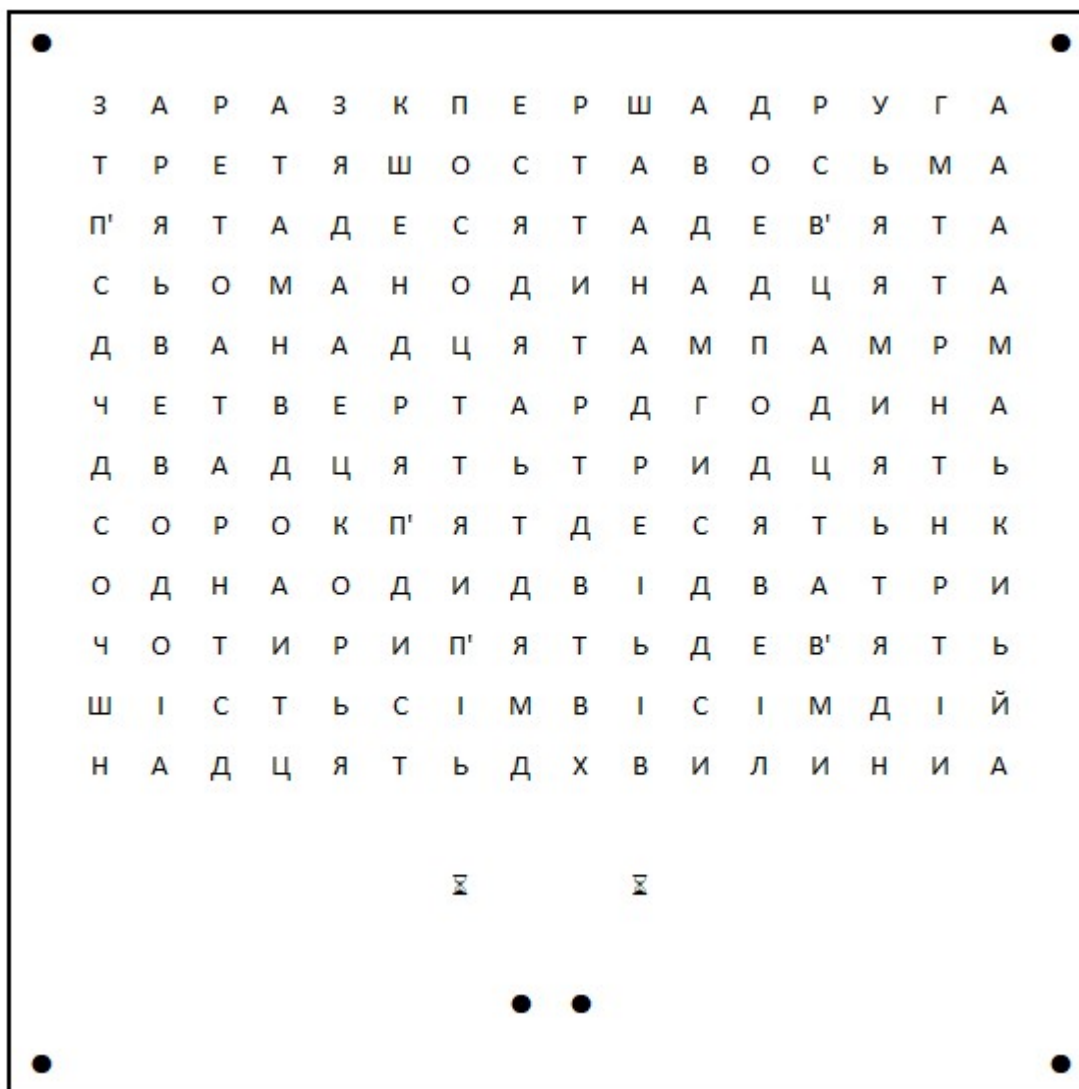


Рисунок 2.8 – Загальний вигляд зовнішньої панелі пристрою, що ілюструє
схему розміщення літер-отворів

Загальний вигляд зовнішньої панелі з умовно виділеними комбінаціями літер, котрі формують доступні для відображення значень часу слова, наведено на рисунку 2.9.

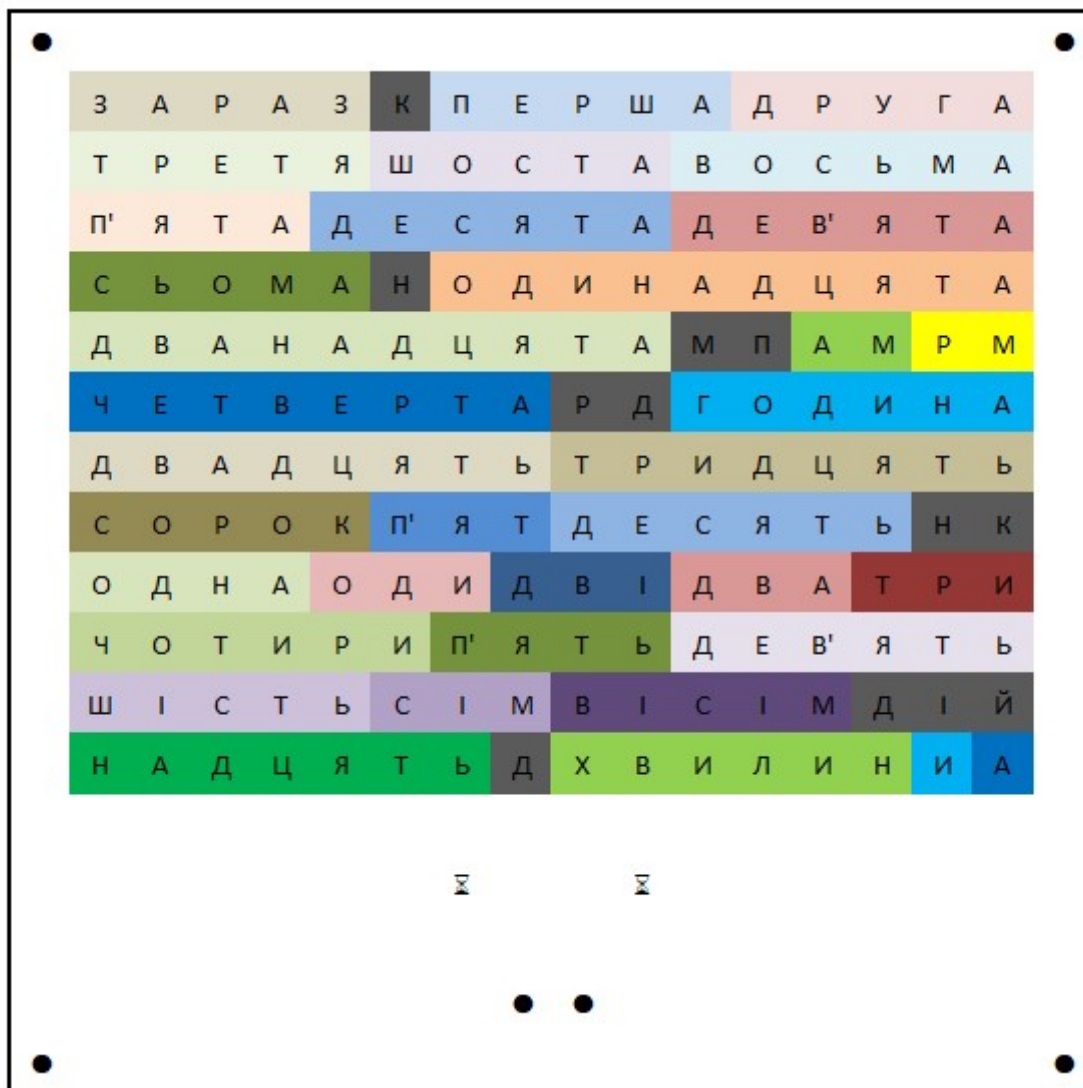


Рисунок 2.9 – Загальний вигляд зовнішньої панелі з умовно виділеними комбінаціями літер, котрі формують доступні для відображення значень часу слова

Таким чином, підсумовуючи, ідея наведеної й описаної вище конструкції пристрою полягає в розміщенні зовнішньої панелі, котра являє собою лист двостороннього фольгованого склотекстоліту з виконаними у непрозорому мідному покритті отворами-літерами та отворами-пиктограмами, на деякій відстані, що визначається товщиною шару-«решета», над верхньою стороною друкованої плати пристрою, на котрій розміщений блок індикації, котрий складається зі 194 світлодіодів, 192 з яких розміщені у формі матриці розмірності 12x16, а 2 світлодіоди розміщені окремо на верхній стороні ДП. Кожен з даних отворів, при цьому, розміститься навпроти одного з світлодіодів

матриці. І, таким чином, керуючи увімкненням світлодіодів за допомогою відповідних елементів схеми пристрою – зокрема, драйверів світлодіодної матриці, можна точково вмикати потрібні, та вимикати, відповідно, непотрібні для формування необхідних комбінацій літер, світлодіоди, котрі підсвічуватимуть знизу відповідні отвори-літери в розміщеній навпроти зовнішній панелі, та формуватимуть слова, котрі являють собою значення часу в словесній формі.

Загальний принцип відображення значення поточного часу в словесному форматі описується в патенті US9041632B2, котрий був проаналізований в процесі патентного пошуку, результати якого наведені в відповідному розділі. В контексті конструкції даного пристрою даний принцип, таким чином, реалізується завдяки сукупності таких елементів, як блок індикації, розміщений на друкованій платі, шар-«решето» та зовнішня панель.

2.2 Розробка схеми електричної принципової. Вибір елементної бази

Схема пристрою, що розробляється в рамках даного проекту, містить такі складові, як:

- елементи блоку комутації та стабілізації основної напруги живлення: роз'єм живлення, плавкий запобіжник, перемикач без самоповернення, лінійний стабілізатор з необхідною «обв'язкою»;
- штирьовий роз'єм-вилка для підключення програматора для програмування мікроконтролера блоку обробки даних та керування;
- гніздовий роз'єм для елемента резервного живлення модуля годинника реального часу;
- елементи «обв'язки» мікроконтролера блоку обробки даних та керування: елементи зовнішнього джерела тактування МК, елементи ланцюгу скидання МК, елементи фільтрації напруги живлення МК тощо;

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- датчик температури, тиску та вологості з необхідною «обв'язкою»;
- датчик освітленості з необхідною «обв'язкою»;
- модуль Wi-Fi з необхідною «обв'язкою»;
- світлодіоди;
- драйвери світлодіодних матриць з необхідною «обв'язкою».

При виборі відповідних компонентів необхідно орієнтуватись, зокрема, на мінімізацію розмірів елементів, що дасть змогу досягнути максимально компактних габаритних розмірів друкованого вузлу, враховуючи, при цьому, також, необхідні запаси по напрузі, струму та потужності. Гарним рішенням є використання сучасних компонентів в корпусах, котрі підходять для поверхневого монтажу, що дає змогу швидкого монтажу компонентів при виготовленні, шляхом застосування таких пристроїв, як роботизовані системи розміщення компонентів поверхневого монтажу, паяльні печі тощо.

При цьому, також, є сенс зберігати баланс між мініатюризацією та використанням габаритних корпусів компонентів – компоненти з малими габаритними розмірами досить важко, за потреби, монтувати вручну. Тому оптимальними типорозмірами SMD компонентів, якщо це дозволяють вимоги схеми, є, зокрема, типорозміри 1210, 1206, 0805, 0603, котрі можуть бути відносно легко змонтовані без використання спеціального обладнання.

При виборі елементної бази є сенс також орієнтуватись на конструкторсько-технологічні рішення, котрі були прийняті виробниками при розробці так званих відлагоджувальних плат. Широкого розповсюдження, якщо говорити про мікроконтролери сімейства STM32, набули відлагоджувальні плати Nucleo та Discovery, котрі містять відповідний МК з усією необхідною для його роботи базовою «обв'язкою» у вигляді резисторів, фільтруючих конденсаторів, кварцевих резонаторів тощо – фактично, можна це розцінювати,

як рекомендації від самого виробника стосовно вибору допоміжних компонентів, необхідних для роботи з його продукцією.

Вибір резисторів. При виборі резисторів необхідно брати до уваги такі параметри, як опір, тип монтажу, максимальна розсіювана потужність, що пов'язана з типорозміром, а також допуск опору.

Враховуючи рішення вибору компонентів в корпусах для поверхневого монтажу, а також відштовхуючись від того, що значення робочих струмів та напруг в даній схемі є відносно невисокими, зупинимось при виборі на резисторах типорозміру 1206, що відповідає значенню розсіюваної потужності, рівному 0.25 Вт, зі значенням допуску опору, рівному $\pm 5\%$, від виробника Yageo.

Типорозмір 1206 було обрано також з причини зручності для передбаченого ручного монтажу резисторів на ДП.

Вибір конденсаторів. При виборі конденсаторів, в даному випадку, до уваги приймаються такі параметри, як тип монтажу, робоча напруга, типорозмір, тип, номінал, тип діелектрика, допуск ємності.

При виборі керамічних конденсаторів було прийнято рішення використовувати конденсатори з номінальною робочою напругою, рівною 50 В, що значно перевищує значення робочих напруг в схемі, та, таким чином, забезпечує доволі суттєвий запас по напрузі, підвищуючи надійність схеми. Тип діелектрика – X7R, що характеризується широким робочим температурним діапазоном – від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Допуск ємності – $\pm 10\%$, що є достатнім значенням, виходячи з особливостей функціонування схеми. Тип монтажу – поверхневий, корпуси – типу 1206, для забезпечення зручності при передбаченому ручному монтажу конденсаторів на ДП. Виробник – Yageo.

Електролітичні конденсатори вибрані згідно з документацією на мікросхеми, з котрими вони використовуються – Type A 10 В 10 мкФ $\pm 10\%$ Vishay Sprague, а також Type B 6.3 В 100 мкФ $\pm 20\%$ AVX .

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір кварцового резонатора. Схемою передбачена наявність кварцового резонатора з частотою 32768 Гц, котрий призначений для вибору в якості зовнішнього точного й стабільного джерела тактування мікроконтролера. Вирішено було вибрати модель ABS25-32.768KHZ-6-T від виробника Abracon, котрий випускається в корпусі для поверхневого монтажу, та, загалом, підходить для використання в даному пристрої. Також вагомим аргументом на користь вибору даного компонента є той факт, що кварцовий резонатор саме такої моделі встановлюється на відлагоджувальних платах Nucleo-F401RE [16], котрі виробляються STMicroelectronics на базі мікроконтролера STM32F401RET6 – відповідно, даний компонент має очікувано коректно працювати з даним МК.

Відповідно до схеми включення даного кварцового резонатора, наведеної в документації на вищезгадані відлагоджувальні плати, було також вибрано два передбачені нею керамічні конденсатори C-0603 50 В 4.3 пФ $\pm 0,25\%$ C0G Yageo.

Вибір мікроконтролера блоку обробки даних та керування та модуля Wi-Fi. При виборі таких компонентів, як мікроконтролер блоку обробки даних та керування та Wi-Fi модуль, дуже важливим та одним із ключових критеріїв є, зокрема, особистий досвід розробника, котрий працюватиме над створенням програмного забезпечення для відповідних компонентів – так як це максимально пов'язано зі скороченням термінів розробки пристрою. Загалом, це є важливим моментом сучасних тенденцій та реалій розробки, так як, наприклад, говорячи про різного роду пристрої-«стартапи», ринок часто займають команди, які першими випустили певний продукт, та зібрали, таким чином, кошти зацікавлених інвесторів, які можуть бути спрямовані згодом на подальше покращення конструкції пристрою, з одночасною оптимізацією собівартості.

Так як розробка ПЗ виконуватиметься в рамках даного проекту, і не буде делегована стороннім розробникам, то, виходячи з вищенаведеної аргументації,

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

після порівняння власної суб'єктивної зручності розробки програмного забезпечення для МК сімейства STM32 з розробкою ПЗ для мікроконтролерів-аналогів – зокрема, мікроконтролерів сімейств AVR, PIC32 – було прийнято рішення при виборі мікроконтролера блоку обробки даних та керування, зупинитись на мікроконтролері STM32F401RET6, а при виборі Wi-Fi модуля – на модулі ESP-12E.

Мікроконтролер STM32F401RET6 належить до сімейства STM32, серії F4, котра виробляється компанією STMicroelectronics. Дана серія МК сімейства STM32 об'єднує потужні мікроконтролери з високою продуктивністю, котрі володіють широким набором периферії. Внутрішньо серія F4 поділяється на три сегменти – сегмент МК початкового рівня, базовий сегмент, а також сегмент МК для високопродуктивних систем, зокрема, для сфери графічних додатків, котрі відрізняються максимально широким набором периферії та максимальною швидкодією.

Вибраний МК STM32F401 відкриває перший сегмент, маючи найменшу ціну серед представників серії F4, і володіючи, при цьому, максимально стислим набором периферії, у порівнянні з іншими представниками серії. Даний МК побудований на основі процесора Cortex-M4, володіє максимальною робочою частотою тактування, рівною 84 МГц, а також обсягом Flash-пам'яті від 128 до 512 КБ.

RET6 у назві означає те, що даний МК поширюється в корпусі типу LQFP з кількістю виводів, рівною 64, обсягом Flash-пам'яті, рівним 512 КБ, та діапазоном робочих температур від -40 до +85 за Цельсієм.

Периферійний набір даного МК включає до 12 інтерфейсів передачі даних. Оцінюючи його можливості в контексті даного проекту – STM32F401RET6 має, зокрема, 3 модулі I2C, 3 модулі USART, 4 модулі SPI, а також вбудований модуль годинника реального часу з широкими функціональними можливостями – що, загалом, цілком задовольняє схемотехнічні вимоги пристрою, що проектується, а також, говорячи про

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

наявність модулю RTC, позбавляє, таким чином, потреби в використанні сторонніх модулів аналогічного призначення.

Серед характеристик та особливостей даного модуля можна виділити наявність двох 32-розрядних реєстрів, що містять значення дати та часу в двійково-десятковому форматі, наявність двох програмованих будильників, наявність календаря, наявність можливості роботи в режимі сну, а також можливості цифрового калібрування, що дає змогу компенсувати будь-яке відхилення точності кварцового резонатора. Крім цього, реєстри даного модуля знаходяться в окремій області пам'яті, захищеній від можливого небажаного запису в них та від скидання при основному скиданні МК. При зникненні основного живлення мікроконтролера, засобами МК відбувається автоматичне перемикання на живлення даного модуля від резервного джерела живлення. Таким чином, лічильник даного модуля ніколи не зупиняється, допоки наявне основне або резервне живлення, а також – незалежно від режиму роботи пристрою, до яких належить Run-режим, режим низького енергоспоживання, стан скидання МК.

Окрім цього, мікроконтролер STM32F401RET6 покладений в основу відлагоджувальної плати Nucleo-F401RE, котра буде використана для виконання відлагодження програмного забезпечення пристрою при його розробці та експериментальній перевірці прийнятих в плані програмного забезпечення рішень.

Також варто відмітити те, що МК сімейства STM32 відрізняються гарною й детальною документацією, а також мають набір програмних засобів, котрі значно спрощують розробку програмного забезпечення, до яких можна віднести зокрема, системи автогенерування програмного коду, котрі можуть самостійно згенерувати програмний код, наприклад, початкової конфігурації МК – налаштування роботи периферії, певних параметрів роботи мікроконтролера, що суттєво прискорює процес розробки.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, виходячи з наведених вище переваг, можна стверджувати, що STM32F401RET6 дійсно може бути використаний при розробці пристрою, що розглядається в рамках даного проекту.

В результаті огляду представленого на ринку асортименту модулів Wi-Fi, можна зробити висновок, що найбільш поширеними на даний час модулями є модулі китайської компанії AI-Thinker, розроблені на базі мікроконтролера ESP8266 китайського виробника Espressif Systems. Даний мікроконтролер з'явився на ринку в 2014 році, і швидко сформував навколо себе спільноту розробників, за рахунок привабливо низької ціни. Згодом, в 2016 році, з'явився покращений нащадок мікроконтролера ESP8266 – ESP32, а також модулі на його основі, котрий володіє ширшими функціоналом та набором периферії.

Загалом, при огляді даного напрямку, можна зустріти безліч любительських проектів, побудованих на базі модулів на основі ESP8266, що свідчить про зручність роботи з ними для користувача, а також, відповідно, про достатню кількість відповідних довідкових матеріалів, створених спільнотою, котрі стосуються розробки програмного забезпечення для цих мікроконтролерів. Крім цього, як і при виборі мікроконтролера блоку обробки даних та керування, дуже суттєвим фактором при здійсненні вибору модуля Wi-Fi, є наявність власного досвіду розробки програмного забезпечення для таких компонентів. Таким чином, орієнтуючись на це, вирішено було, як зазначалось вище, вибрати в якості модуля Wi-Fi, що буде використаний в пристрої, що розробляється, модуль на основі МК ESP8266 – а саме модуль ESP-12E від виробника AI-Thinker.

Даний модуль має компактні розміри, 20 доступних портів введення-виведення, антену, що розміщена на друкованій платі модуля. Також, серед інших характеристик, можна відмітити наявність послідовного інтерфейсу передачі даних UART, який передбачений для зв'язку з мікроконтролером блоку обробки даних та керування, а також підтримку стеку TCP/IP протоколів,

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

що задовольняє вимогам, котрі стосуються необхідного функціоналу модуля Wi-Fi в рамках пристрою, що розробляється.

Вибір мікросхем. Лінійний стабілізатор напруги живлення NCP1117DT33G від ON Semiconductor – вибрано, виходячи з максимального значення вихідного струму, котре становить 1 А, та значення вихідної напруги рівного 3.3 В, а також виконання в корпусі DPAK, котрий має гарні характеристики в плані тепловідводу. Загалом, дана мікросхема досить широко використовується в якості елементу стабілізації вхідної напруги на відлагоджувальних платах для мікроконтролерів – зокрема, в складі відлагоджувальної плати NodeMCU на базі модуля ESP-12E.

Вибір MAX7219CW6 – дана мікросхема є драйвером семисегментних індикаторів та світлодіодних матриць. Широко застосовується в любительських проектах, а також, загалом, є зручною для роботи. Також вона є основним компонентом значно розповсюджених світлодіодних матриць, котрі поширюються в вигляді модулів. Надає можливість комунікації з МК через інтерфейс SPI, а також широкі функціональні можливості, наприклад, можливість аналогового та цифрового регулювання яскравості індикації.

Датчик освітленості MAX44009 – вибрано, виходячи з того, що даний датчик має цифровий тип підключення, а також дуже широкий динамічний діапазон вимірюваної освітленості. Забезпечує можливість комунікації шляхом використання інтерфейсу I²C, а також можливість використання двох таких датчиків на одній шині, завдяки вибору бітів адреси шляхом «підтяжки» відповідного контакту адреси до «живлення» або до «землі» схеми.

ВМЕ280 – вибрано, виходячи з поширеності датчика в любительських проектах, що забезпечує велику кількість довідкових матеріалів та готових прикладів-бібліотек з програмним забезпеченням, що призначені для роботи з ним, а також зі зручного поєднання функціональних можливостей в плані можливості виміру одразу трох величин, при використанні даного датчика в схемі, що дає можливість зменшити обсяг програмного забезпечення, в

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

порівнянні з випадком використання трох окремих датчиків. Крім цього, характеризується надмалим споживанням струму та можливістю роботи в різних режимах. Інтерфейс підключення – SPI.

Вибір перемикачів. Основною вимогою до перемикача, що здійснюватиме комутацію ланцюгу основного живлення пристрою є відповідність значень максимального струму та напруги комутації значенням, наявним у схемі пристрою, а також тип – перемикач без самоповернення. Виходячи з цього, було обрано GPTS203211B від виробника CW Industries – 30 В, 1 А, вивідний монтаж крізь отвори.

В якості перемикачів, що використовуватимуться в ланцюгах скидання мікроконтролера та модуля Wi-Fi, використано PTS820J25MPSMTRLFS від виробника C&K – мініатюрні, поверхневий монтаж, достатнє значення робочого струму, рівне 50 мА, наявність самоповернення.

В якості перемикачів для керування функціями пристрою обрано EVQ-PUL02K від Panasonic Electronic Components – поверхневий монтаж, наявність самоповернення, а також спосіб монтажу – «right angle» – бокові кнопки, що передбачено конструкцією пристрою.

Вибір роз'ємів. При виборі роз'ємів враховувались їх параметри в плані номінального значення струму та способу монтажу.

Вибрано:

- 61300211021 від Wurth Elektronik – 2-контактний горизонтальний роз'єм-вилка з кроком 2.54 мм, монтаж – крізь отвори;
- 61300611021 від Wurth Elektronik – 6-тиконтактний горизонтальний роз'єм-вилка з кроком 2.54 мм, монтаж – крізь отвори;
- 1734035-3 від TE Connectivity – роз'єм типу USB mini type B, максимальний робочий струм 1 А, напруга 30 В, поверхневий монтаж;

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- BU2032SM від MPD – роз’єм для елементів живлення типу 2032, поверхневий тип монтажу;
- QPC02SXGN-RC – роз’єм-розетка зі з’єднаними контактами («джампер»), що виконує функцію зйомної контактної перемички, крок 2.54 мм;

Вибір елементів індикації. Вибрано JE2835AWT-00-0000-000A0BH640E від виробника Cree Inc. – світлодіоди білого кольору, типорозмір 2835, нейтральна кольорова температура, рівна 4000 К, максимальний робочий струм рівний 240 мА. Вибір здійснювався, виходячи з гарних параметрів ефективності даних світлодіодів, тобто відношення світлового потоку до споживаної потужності, котре становить 176 лм/Вт, що є максимальним серед моделей з аналогічними значенням кольорової температури та типорозміру, представлених в асортименті даного виробника, а також з рішення використання світлодіодів з нейтральною кольоровою температурою. Крім цього, типорозмір 2835 є відносно новою розробкою, котра замінила широко розповсюджений типорозмір 3528, так як при однаких розмірах, в світлодіодів типорозміру 2835 більша площа світловипромінюючої поверхні, що робить його більш ефективним, а також кращі параметри тепловідведення, за рахунок покращеної конструкції контактів. Значення коефіцієнту світлопередачі кольору, котрий часто береться до уваги при виборі світлодіодів, в даному випадку не є критичним, так як світлодіоди призначені виключно для підсвітки отворів-літер в поверхні зовнішньої панелі пристрою, і різниця в значеннях даного параметру не має значного впливу на функціонування пристрою.

Вибір плавкого запобіжника. Вибрано 0466.750NRHF Littelfuse Inc., виходячи зі значення номінального струму, рівного 750 мА.

2.3 Розрахунки та підключення основних елементів схеми електричної принципової

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Підключення лінійного стабілізатора напруги основного живлення.

Підключення лінійного стабілізатора напруги основного живлення виконано згідно з рекомендаціями, наведеними виробником в документації [17] на відповідний компонент.

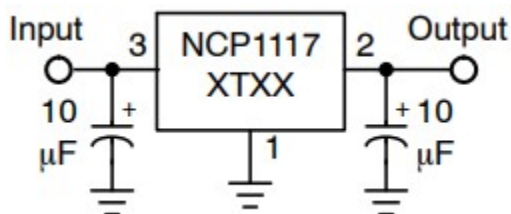


Рисунок 2.10 – Рекомендований виробником варіант підключення стабілізатора напруги NCP1117DT33G

В документації також вказано, що вхідний конденсатор може бути керамічного типу.

Таким чином, у схемі пристрою використано керамічний та танталовий конденсатори ємністю 10 мкФ та значеннями номінальних робочих напруг 50 В та 10 В відповідно, в якості вхідного та вихідного конденсаторів, для забезпечення згладжування та фільтрації пульсацій вхідної та вихідної напруги даного стабілізатора напруги.

Також була передбачена можливість комутації ланцюга основного живлення пристрою, шляхом використання перемикача з фіксацією SB1, а також захист лінії основної напруги живлення від КЗ та перевищення допустимого струму споживання, шляхом використання плавкого запобіжника F1.

Підключення мікроконтролера блоку обробки даних та керування.

Підключення мікроконтролера здійснювалось відповідно до наведених в документації [18] рекомендованих схем включення, одна з котрих, що стосується системи живлення МК, наведена на рисунку 2.11.

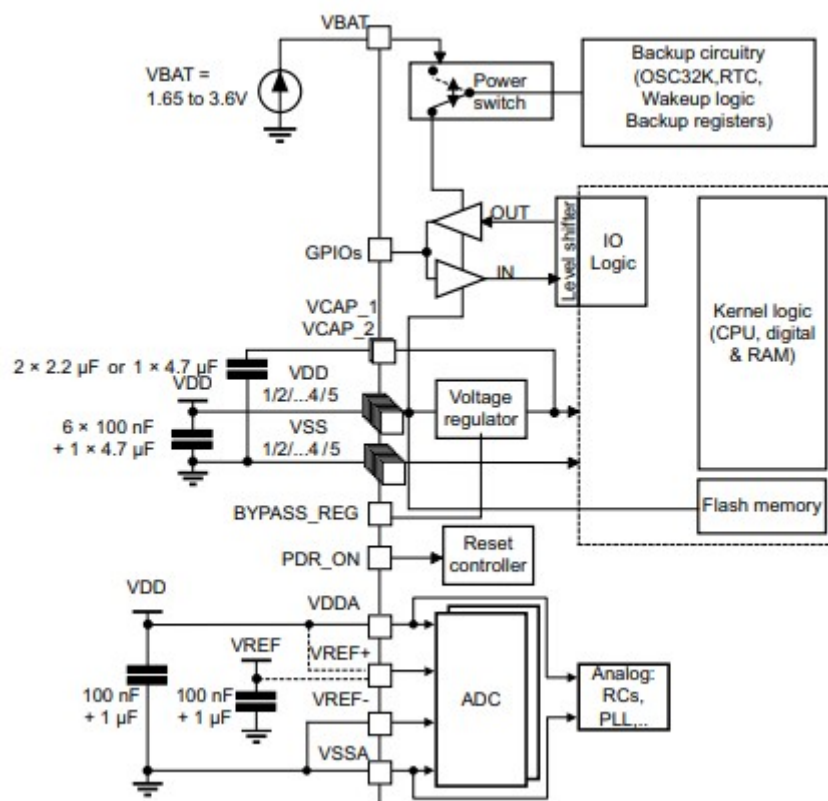


Рисунок 2.11 – Рекомендована схема підключення живлення мікроконтролера STM32F401RET6, наведена в документації

Відповідно до даної схеми, в схемі було використано 7 керамічних конденсаторів: C1, C3, C4, C5, C6, ємністю 0.1 мкФ, C7, ємністю 4.7 мкФ та C8, ємністю 1 мкФ, котрі підключаються до відповідних контактів живлення МК згідно з електричною схемою пристрою, та мають бути розміщені якомога ближче до відповідних виводів мікросхеми при розробці друкованого вузла.

Контакт VBAT роз'єму для джерела резервного живлення під'єднано до виводу VBAT мікроконтролера.

Контакт VCAP мікроконтролера з'єднаний з «землею» через керамічний конденсатор ємністю 4.7 мкФ, згідно з наведеною вище на рисунку схемою.

Кварцовий резонатор ZQ1 підключений до відповідних контактів PC14 та PC15 мікроконтролера, з використанням конденсаторів C12 та C13 в якості «обв'язки». Ємність конденсаторів – 4.3 пФ, було вибрано шляхом аналізу відповідного вузла схеми електричної принципової відлагоджувальної плати

Nucleo-F401RE на базі мікроконтролера STM32F401RE, котрий використовується в даній схемі, де, також, використовується кварцовий резонатор аналогічної ZQ1 моделі – відповідно, як було зазначено вище, можна розцінювати такий варіант підключення як рекомендації виробника стосовно підключення даних елементів схеми.

Ланцюг зовнішнього скидання мікроконтролера був реалізований відповідно до рекомендацій, наведених в документації, зображених на рисунку 2.12, та складається з конденсатора C9 ємністю 0.1 мкФ та перемикача з самоповерненням SB2.

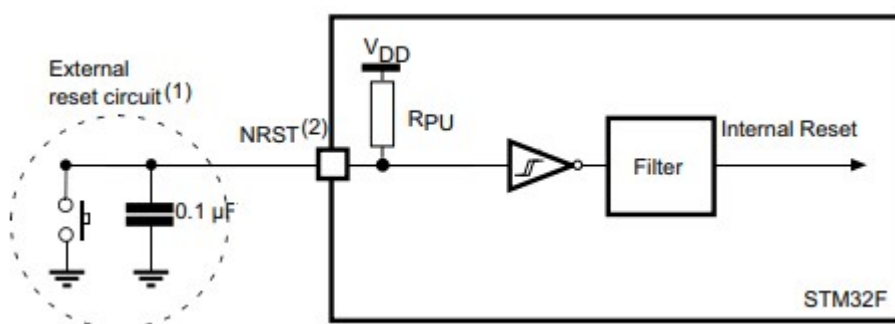


Рисунок 2.12 – Рекомендована реалізація зовнішнього скидання МК

Також до контактів PC0-PC5 під'єднано 6 перемикачів SB4-SB9, котрі являють собою кнопки з самоповерненням, і призначені для вибору режиму роботи та конфігурування пристрою користувачем. Контакти даних кнопок підключені напряму до контактів МК, з передбаченням подальшого увімкнення «підтяжки» виводів PC0-PC5 до живлення програмним шляхом.

Контакти BOOT0 та BOOT1 мікроконтролера під'єднані до «землі» через резистори R1 та R4, що, відповідно до документації, проілюстрованої на рисунку 2.13, забезпечить вибір Flash-пам'яті в якості джерела програми керування МК, котра ним виконуватиметься.

Boot mode selection pins		Boot mode	Aliasing
BOOT1	BOOT0		
x	0	Main Flash memory	Main Flash memory is selected as the boot space
0	1	System memory	System memory is selected as the boot space
1	1	Embedded SRAM	Embedded SRAM is selected as the boot space

Рисунок 2.13 – Конфігурація BOOT-контактів МК

В схемі пристрою також наявний штирьовий роз'єм XP1, контакти котрого з'єднані з контактами SWCLK, SWDIO та NRST мікроконтролера, а також з лініями напруги живлення 3.3 В та «землі» схеми, що забезпечує можливість здійснення завантаження програмного забезпечення в пам'ять МК, використовуючи інтерфейс SWD та програматор, що його підтримує – наприклад, ST-Link V2.

Підключення датчика BME280. Підключення датчика BME280 виконано згідно з рекомендаціями, вказаними виробником в документації [19] на дану мікросхему. Відповідна рекомендована схема підключення з коментарями стосовно номіналів зображених компонентів для випадку комунікації з датчиком за допомогою послідовного інтерфейсу I²C зображена на рисунку 2.14.

Таким чином, в схемі пристрою використано резистори R19 та R20 опором 4.7 кОм кожен для підтяжки ліній SDA та SCL мікросхеми DD7 до напруги живлення, а також фільтруючі керамічні конденсатори C20 та C21, ємністю 0.1 мкФ, включені між відповідними контактами живлення мікросхеми та «землею». Контакт SDO, підключення якого визначає адресу модуля на лінії I²C, з'єднаний з «землею», відповідно, змінний біт адреси даного модуля буде рівним «0».

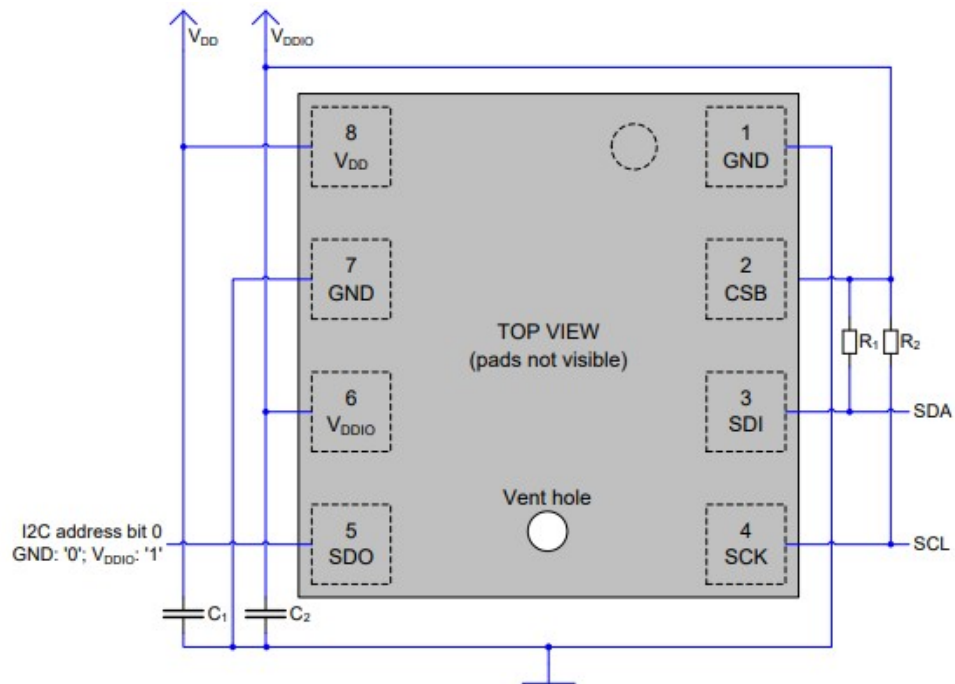


Figure 17: I²C connection diagram

Notes:

- The recommended value for C_1 , C_2 is 100 nF
- The value for the pull-up resistors R_1 , R_2 should be based on the interface timing and the bus load; a normal value is 4.7 k Ω
- A direct connection between CSB and V_{DDIO} is required

Рисунок 2.14 – Схема підключення мікросхеми BME280 при використанні інтерфейсу I²C для комунікації з модулем

Підключення датчика MAX44009. Звернувшись до документації на дану мікросхему [20], можна знайти рекомендовану схему її підключення, котра зображена на рисунку 2.15.

Таким чином, відповідно до даного матеріалу, обв'язка мікросхеми DD4 в схемі пристрою включає резистори R13, R17 та R18 зі значенням опору, рівним 10 кОм, а також фільтруючий керамічний конденсатор C18 ємністю 1 мкФ між відповідними контактами живлення та «землі» мікросхеми.

Контакт A0 – з'єднаний з «землею», таким чином, адресою даного датчика на лінії I²C буде адреса 1001 010x в двійковому форматі.

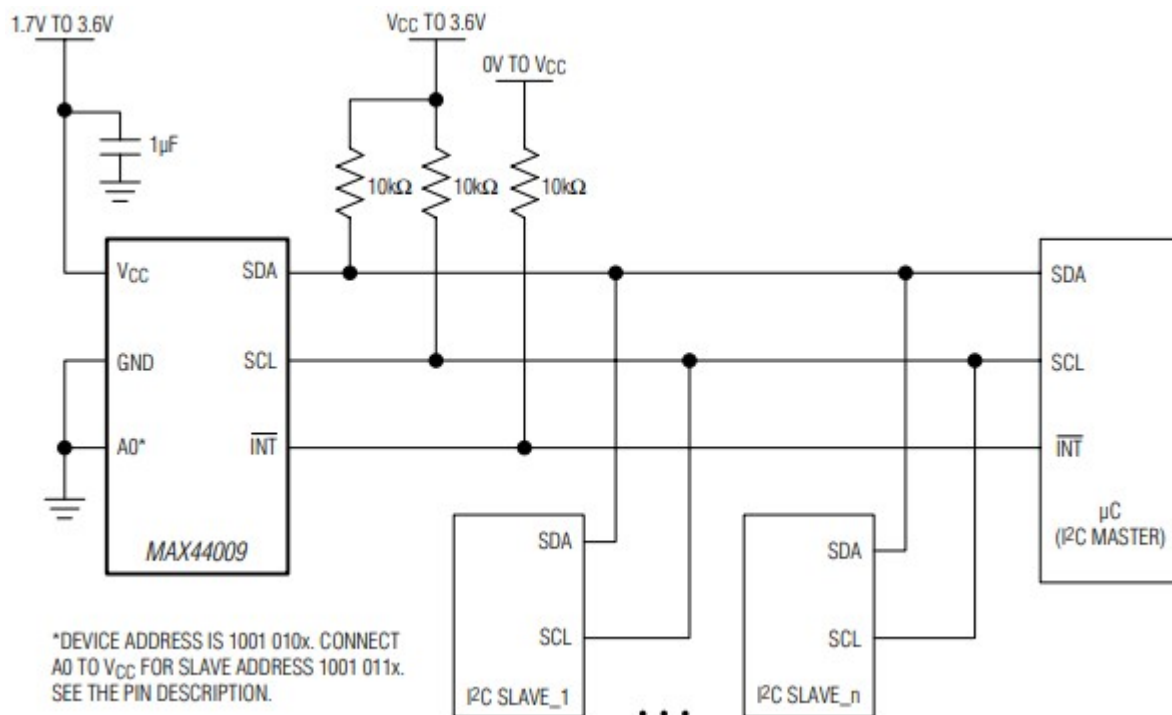


Рисунок 2.15 – Схема підключення мікросхеми MAX44009 при використанні інтерфейсу I²C для комунікації з модулем

Підключення Wi-Fi модуля ESP-12E. При включенні в схему пристрою даного модуля необхідно звернутись до документації [21] на даний компонент, де наведено опис його контактів та варіанти їх підключення для досягнення потрібних режимів його роботи, що зображено на рисунку 2.16.

Table 2.3 Description of the ESP series module boot mode

Mode	CH_PD(EN)	RST	GPIO15	GPIO0	GPIO2	TXD0
Download mode	high	high	low	low	high	high
Running mode	high	high	low	high	high	high

Рисунок 2.16 – Варіанти підключення контактів модуля ESP-12E для активації режиму роботи та режиму завантаження програмного забезпечення

Номінали компонентів «обв'язки» даного модуля були вибрані відповідно до електричної схеми відлагоджувальної плати NodeMCU [22], котра побудована на основі аналогічного Wi-Fi модуля ESP-12E.

Згідно з документацією, для коректної роботи модуля необхідно дотриматись наступних вимог: контакти RST, GPIO0, GPIO2, EN мають бути «підтягнуті» до живлення через резистори опором 12 кОм, контакт GPIO15 – підключеним до «землі» через резистор з аналогічним значенням опору. В схемі пристрою дані виконання даних умов досягається шляхом використання резисторів R2, R3, R5, R10, R11. Між контактом живлення модуля та «землею», відповідно до схеми налагоджувальної плати NodeMCU, включено танталовий конденсатор ємністю 100 мкФ.

Ланцюг скидання модуля реалізований на основі компонентів C16 та SB10.

На схемі пристрою також наявні дві вилки XP2 та XP3, та дві розетки XS3 та XS4, котрі являють собою знімні перемички-«джампери», увімкнені в ланцюги TXD та RXD модуля. При цьому, в процесі звичайного функціонування пристрою, для зв'язку з мікроконтролером DD1 за допомогою послідовного інтерфейсу UART, відповідні вилки та розетки мають бути з'єднані між собою відповідно до електричної схеми пристрою, формуючи, таким чином, з'єднання між контактами даного інтерфейсу у модуля ESP-12E та мікроконтролера DD1.

Для переведення модуля в режим завантаження програмного забезпечення, необхідно виконати роз'єднання вилок XP2 та XP3, та розеток XS3 та XS4, здійснити підключення контакту GPIO0 до «землі» – для чого в схемі пристрою передбачена наявність перемикача-кнопки з самоповерненням SB3, а також перезавантажити модуль, за допомогою перемикача SB10, підключивши, перед цим, контакти TXD та RXD зовнішнього програматора, котрий використовуватиметься для завантаження програмного забезпечення в пам'ять мікросхеми модуля, до відповідних її контактів RXD та TXD, котрі

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

з'єднані з контактами вилок XP2 та XP3. В якості такого програматора може бути використаний, наприклад, USB-UART конвертер, а також відповідне ПЗ для ПК, наприклад, ESP8266 Flash Download Tool [23].

Підключення світлодіодних матриць та драйверів MAX7219.

Світлодіоди HL2-HL9, а також HL11-HL194, об'єднані в схемі пристрою в три матриці, кожна з яких містить 8 рядків та 8 стовпчиків, та побудована за схемою зі спільним катодом. Для керування даними світлодіодними матрицями використовуються спеціалізовані мікросхеми-драйвери світлодіодних індикаторів MAX7219, що керуються за допомогою команд, котрі передаються за допомогою послідовного інтерфейсу SPI, кожен з яких може керувати вісьмома семисегментними індикаторами з крапкою, або ж 64 світлодіодами, об'єднаними в світлодіодну матрицю зі спільним катодом.

Рекомендована схема підключення світлодіодних матриць до відповідних драйверів та включення даних мікросхем в схему пристрою, наведена в документації [24], та зображена на рисунку 2.17.

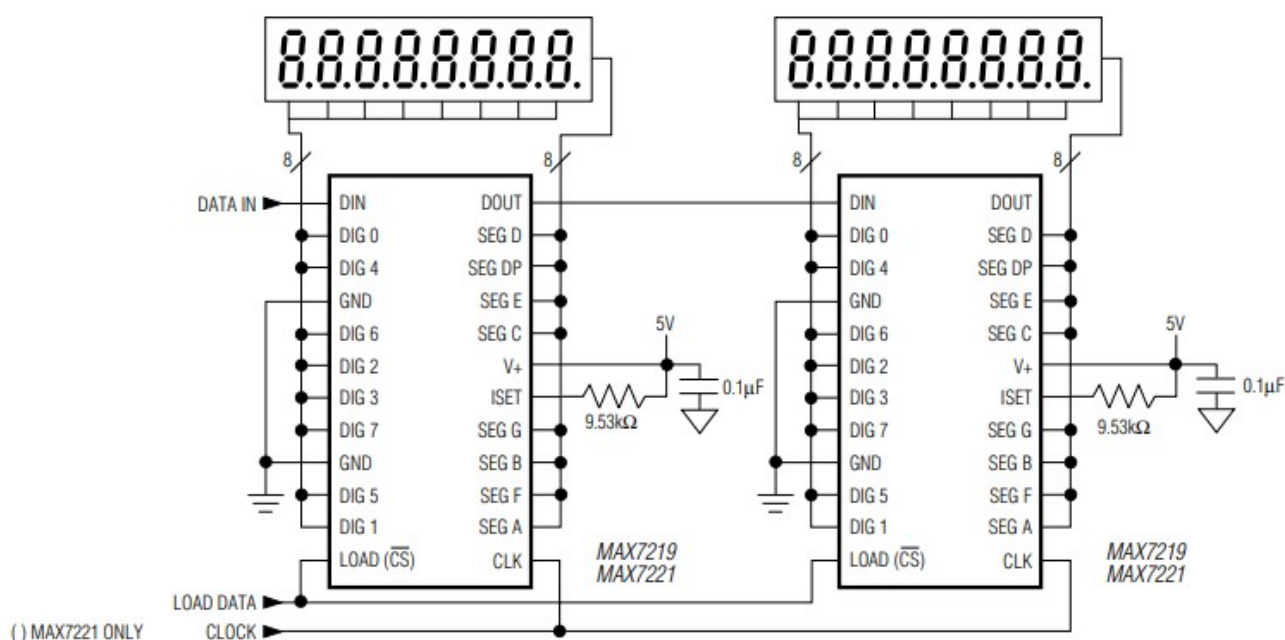


Рисунок 2.17 – Рекомендована схема підключення та послідовного включення-каскадування мікросхем-драйверів світлодіодних матриць MAX7219

Для задання струму через сегменти матриць використовується резистор R_{SET} , котрий включається між контактом живлення та контактом ISET даної мікросхеми. Рекомендовані значення опору даного резистора та їх відповідність значенням струму через сегмент індикатора наводяться в документації, та зображені на рисунку 2.18.

I _{SEG} (mA)	V _{LED} (V)				
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
40	12.2	11.8	11.0	10.6	9.69
30	17.8	17.1	15.8	15.0	14.0
20	29.8	28.0	25.9	24.5	22.6
10	66.7	63.7	59.3	55.4	51.2

Рисунок 2.18 – Відповідність значення опору резистора R_{SET} значенням струму через сегмент індикатора, з врахуванням значення падіння напруги на сегменті індикатора

Таким чином, для вибору значення опору даного резистора, котрий буде використаний в схемі пристрою, що розробляється, необхідно звернутись до документації [25] на індикатори, котрі використовуються в схемі, щоб дізнатись значення прямої напруги на світлодіоді при протіканні крізь нього певного струму.

Приймемо в якості бажаного значення струму через сегмент індикатора, значення струму, рівне 10 мА.

Відповідно до графіку залежності значення прямого струму використаних у схемі світлодіодів від прямого падіння напруги, наведеному на рисунку 2.20, при протіканні крізь нього струму 10 мА, падіння напруги на ньому становитиме приблизно 2.53 В.

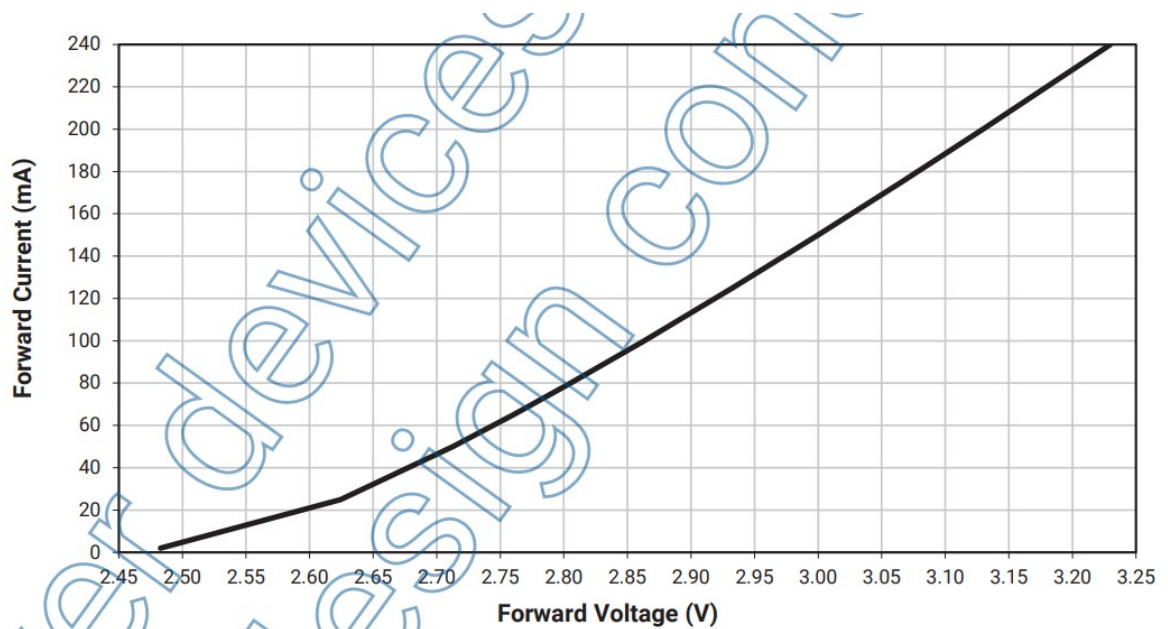


Рисунок 2.19 – Графік залежності значення прямого струму світлодіоду від прямого падіння напруги

Звернувшись до даних з документації, наведених на рисунку 2.18, можна бачити, що рекомендовані значення опору резистора R_{SET} для випадку прямого падіння напруги на світлодіоді, що рівне 2.53 В, не наведені. Визначимо шукане значення опору відповідного резистора для випадку обмеження струму через сегмент значенням 10 мА та значення прямого падіння напруги на світлодіоді-сегменті, що становить 2.53 В, за допомогою інтерполяції значень опору, наведених в останньому рядку таблиці довідкових даних, що наведена на рисунку 2.18. Результатом стане значення опору, рівне 59.07 кОм.

Згідно ряду номіналів опорів резисторів E24, визначимо, що найбільш близьке до необхідного значення опору резистора може бути досягнуто послідовним з'єднанням резистора опором 56 кОм та резистора опором 3.0 кОм, або ж, вибираючи дещо більше значення опору, 3.3 кОм:

$$R_{SET} = 56 + 3.3 = 59.3 \text{ (кОм)}$$

Таким чином, в схемі використано 3 резистори R9, R15 та R16 зі значенням опору 56 кОм, та 3 резистори R7, R12, R14 зі значенням опору

3.3 кОм, що з'єднуються попарно послідовно, та забезпечують обмеження струму через сегмент кожної з мікросхем-драйверів DD3, DD5 та DD6.

Також в схемі використано фільтруючі керамічні конденсатори ємністю 0,1 мкФ для входу живлення кожної з мікросхем.

Окрім об'єднаних в матриці, в схемі пристрою присутні також два світлодіоди HL1 та HL10, котрі підключаються напряму до контактів GPIO мікроконтролера DD1. Для обмеження струму через дані елементи необхідно використати обмежувальні резистори, опір яких має бути обраним рівним значенню падіння напруги на даних резисторах, поділеному на прямий струм відповідних світлодіодів.

Значення падіння напруги на струмообмежуючому резисторі може бути знайденим за II законом Кірхгофа:

$$U_R = U_{\text{живл}} - U_{LED}, \quad (2.1)$$

де $U_{\text{живл}}$ – напруга живлення світлодіода, В;

U_{LED} – значення падіння напруги на світлодіоді, В.

Прийmemo в якості бажаного значення струму через світлодіоди HL1 та HL10, значення, рівне 10 мА.

Як було визначено вище, значенню прямого струму через світлодіод, рівному 10 мА, відповідає значення прямої напруги, рівне, приблизно, 2.53 В.

Таким чином:

$$U_R = 3.3 - 2.53 = 0.77 \text{ (В)}$$

Опір струмообмежуючого резистора може бути знайдений за законом Ома:

$$R = \frac{0.77}{0.01} = 77 \text{ (Ом)}$$

Згідно ряду номіналів E24, найближчим до розрахованого значенням опору резистору є значення 75 Ом.

Таким чином, в якості струмообмежувальних резисторів для світлодіодів HL1 та HL10 вибрано резистори R6 та R8: R-1206 0.25 Вт 75 Ом $\pm 5\%$ Yageo.

Висновки до розділу

В даному розділі було здійснено розробку структурної схеми конструкції пристрою та друкованої плати пристрою, наведено опис елементів конструкції пристрою, а також опис елементів структури ДП, опис принципу відображення часу в словесному форматі та принципи його конструктивного втілення в контексті передбаченої структури пристрою. Також, з наведенням відповідних обґрунтувань, виконаним був вибір елементної бази, необхідної для реалізації пристрою згідно з поставленими завданнями, було розроблено схему електричну принципову пристрою та проведено необхідні схемотехнічні розрахунки.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати

Перш за все, необхідно вибрати тип друкованої плати (ДП), який буде використаний для реалізації поставлених в ТЗ вимог.

Загалом, друковані плати поділяються на односторонні (одношарові) ДП – ОДП, двосторонні (двошарові) ДП – ДДП, і багатошарові друковані плати – БДП.

ОДП містять провідний рисунок тільки на одній із сторін діелектричної основи, і, таким чином, є простими за конструкцією та виготовленням, але характеризуються низькими монтажними та трасувальними можливостями.

ДДП мають провідний рисунок з обох сторін діелектричної основи. Вони характеризуються високою щільністю монтажу, високою надійністю з'єднань, дають змогу полегшити трасування провідників і оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів. Дані плати також дозволяють монтаж штирьових елементів з однієї сторони, а SMD компонентів – з обох сторін ДП, що дозволяє реалізувати на них більш складні схеми, ніж на ОДП.

Що до багатошарових ДП, то сенсу використовувати такий тип плат в даному випадку немає. БДП використовують при проектуванні складних пристроїв, які потребують дуже високої щільності монтажу компонентів. Вони складні в розробці та виготовленні, для роботи з ними потрібна висока кваліфікація та наявність спеціального обладнання. Вони більш дорогі, ніж ДДП, а також мають значно нижчу ремонтпридатність. Багатошарові друковані плати використовуються, зазвичай, за умови наявності в елементній базі схеми пристрою компонентів в корпусному виконанні BGA. В даному проекті використання таких компонентів не передбачене, і, загалом, немає потреби в використанні такої складної технології, як БДП, тому було вирішено зупинитись на ДДП, як найбільш оптимальному, для даної розробки, варіанті типу друкованої плати.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, в даному випадку вирішено було зупинитись на використанні двошарової друкованої плати, що впливає з аналізу та порівняння даних трьох типів друкованих плат.

Наступним етапом є вибір матеріалу друкованої плати.

Матеріали, які використовуються в якості основи для друкованої плати, мають мати високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність та стійкість до кліматичних впливів. Дані вимоги задовольняють такі електротехнічні матеріали, як склотекстоліт, кераміка, фторопластова плівка, сапфір та інші.

Схема, що реалізується в рамках даного проекту, не має якихось особливих вимог до матеріалу друкованої плати, на кшталт роботи на високих частотах, в умовах вібрацій, або ж в умовах температур, що значно відрізняються від кімнатної, тому при виборі матеріалу друкованої плати вирішено було зупинитись на матеріалі FR4, який являє собою пресований матеріал на основі скловолокна (склотекстоліту), який просочений епоксидним зв'язуючим.

FR4 має гарні механічні та електрофізичні властивості, є дуже розповсюдженим як матеріал для виробництва ДП, а також варто відмітити, що даний матеріал часто пропонується виробниками друкованих плат, наприклад, таким відомим китайським виробником, як JLCPCB [26], у якості основного матеріалу для виготовлення ДП на відповідному виробництві.

Вибираємо FR4-2-35-1,5 – двосторонній фольгований склотекстоліт, загальна товщина ДП 1.5 мм, товщина фольги 35 мкм.

3.2 Вибір класу точності друкованої плати

Точність виготовлення ДП залежить від комплексу технологічних параметрів, і, з практичної точки зору, визначає основні параметри компонентів ДП, такі як мінімальна ширина провідників, мінімальна відстань між елементами провідного рисунку, допустимі діаметри отворів та інші. Вибір

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

класу точності завжди зв'язаний з граничними технологічними можливостями конкретного виробництва.

Загалом, виготовлення ДП п'ятого класу точності потребує застосування специфічного обладнання, спеціальних матеріалів, і навіть створення «чистої зони» в виробничих приміщеннях.

ДП четвертого класу виготовляються на високоточному обладнанні, але вимоги до матеріалів, обладнання та виробничих приміщень є дещо нижчими, ніж для п'ятого класу.

ДП третього класу – найбільш розповсюджені, оскільки, з одного боку, забезпечують достатньо високу щільність трасування та монтажу, а з іншого – для їх виготовлення достатньо пересічного, хоча і спеціалізованого, обладнання.

ДП другого та третього класу точності, з невисокими конструктивними параметрами, призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу.

Виходячи з того, що схемою пристрою, що розробляється в рамках даного проекту, передбачено використання компонентів в корпусах, призначених для поверхневого монтажу, а також враховуючи загальне орієнтування на максимальну точність та бажану компактність трасування, а також на мікромініатюризацію при розробці друкованої плати, вирішено було вибрати четвертий клас точності для реалізації цього завдання, що забезпечить високу точність виконання елементів друкованого монтажу, при відсутності потреби в подальших пошуках виробників зі специфічним обладнанням, що передбачено п'ятим класом точності, для виготовлення спроектованої друкованої плати.

При конструкторсько-технологічних розрахунках необхідно враховувати граничні значення елементів друкованого монтажу, а також значення похибок їх виконання, наведені в таблиці 3.1 та таблиці 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 – Граничні значення основних параметрів елементів друкованого монтажу

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{\text{прг.}}$	0.45	0.25	0.15	0.10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	l_r	0.45	0.25	0.15	0.10
Гарантований поясок, мм	$b_{\text{по}}$	0.20	0.10	0.05	0.03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{\text{дт}}$	0.40	0.33	0.25	0.20

Таблиця 3.2 – Допустимі похибки виконання елементів друкованого монтажу

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{\text{сп}}$	0.05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	δ_o	0.07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{\text{км}}$	0.015 (0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{\text{фф}}$	0.06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{\text{фш}}$	0.05

3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати

Серед методів виготовлення друкованих плат виділяють такі методи, як хімічний (субтрактивний), електрохімічний (адитивний) та комбінований.

В даному випадку було вирішено обрати комбінований позитивний метод виготовлення ДП – даний метод широко застосовується при виготовленні двосторонніх ДП, він забезпечує отримання чітких ліній провідників, є менш трудомістким у порівнянні з електрохімічним методом, а також забезпечує вихід більш надійних друкованих плат, так як діелектрик знаходиться в сприятливіших умовах, будучи захищеним фольгою від дії електроліту.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		63

Що до інших методів, то електрохімічний метод має такі недоліки, як забезпечення невисокої міцності контакту провідників з основою плати, а також низьку здатність відтворювання тонких провідників – доступною є ширина в 0.5 ... 0.8 мм.

Хімічний метод, в свою чергу, характеризується непродуктивними витратами міді.

3.4 Розміщення компонентів та трасування друкованої плати

Рішення стосовно розміщення електронних компонентів схеми на поверхні в даному випадку впливають з передбаченого розробником дизайну конструкції пристрою та очікуваної зручності для користувача, й диктуються, загалом, у значній мірі, саме цими факторами, а також загальними підходами стосовно розміщення електронних компонентів. Деякі з основних моментів можуть бути описані наступним чином:

- перемикачі SB4-SB7 та SB8-SB9 розміщено на краях друкованої плати, так як вони являють собою пристрої введення та призначені для конфігурації та вибору режиму функціонування пристрою користувачем, відповідно, мають бути легко доступними для здійснення натискання;
- роз'єм живлення, а також перемикач SB1 розміщено у нижній частині ДП, близько до її краю, що має давати можливість зручного під'єднання кабелю живлення та здійснення увімкнення-вимкнення живлення пристрою;
- світлодіоди HL1-HL194 розміщено згідно з передбаченим дизайном фронтальної панелі пристрою, котра міститиме матрицю літер-отворів в шарі металізації матеріалу даної панелі, а також дві окремо розміщені піктограми-отвори, призначені для індикації зміни секунд, котрі мають підсвічуватись відповідними світлодіодами у процесі роботи пристрою;

Трасування ДП було виконано вручну, з урахуванням всіх вимог, наведених в ТЗ та без застосування автоматичного трасування у САПР.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer

Проектування друкованої плати в рамках даного дипломного проекту було виконане з використанням такої потужної САПР, як Altium Designer, яка надає дуже широкі можливості в плані спрощення та надання зручних можливостей для роботи, зв'язаної зі створенням бібліотек умовних графічних позначень елементів, бібліотек посадкових місць, створенням схем електричних принципів, виконанням трасування та автотрасування друкованих провідників згідно створеної схеми, а також автоматичної генерації необхідної в подальшому супровідної конструкторської документації.

Створення проекту друкованої плати. Першим етапом на шляху до реалізації завдань, які мають бути вирішеними в процесі виконання даного проекту, є створення проекту друкованої плати в САПР Altium Designer – для цього скористаємось вибором PCBProject при створенні проекту. Даний проект об'єднуватиме кілька типів файлів, таких як файл схеми електричної принципової, файл друкованої плати з трасуванням провідників, а також такі вихідні файли, як експортовані специфікація, перелік елементів тощо.

Створення бібліотеки компонентів. Користуючись можливостями, які надає дана САПР – а саме інструментом Library Editor, була створена бібліотека умовних графічних позначень тих компонентів, які присутні в схемі електричній принциповій приладу, що розглядається в рамках даного проекту, при дотриманні при цьому параметрів УГП, передбачених відповідними актуальними стандартами.

Створення схеми електричної принципової. САПР Altium Designer надає можливість легко і зручно створювати креслення схем електричних принципів, даючи можливість швидко змінювати параметри координатної сітки, прокладати провідники, які з'єднують компоненти, під різними кутами, дозволяючи провести автонумерацію компонентів згідно різних правил нумерації, серед яких користувач може вибрати той, який йому потрібний, що

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

значно полегшує і спрощує процес створення схеми електричної принципової приладу.

Створення файлу трасування друкованої плати. САПР Altium Designer забезпечує значну легкість та зручність процесу трасування провідників, за рахунок значної кількості передбачених для цього функцій.

3.6 Виготовлення друкованої плати

Спроектована друкована плата була виготовлена у Китаї на виробництві JLSPCB. Захисним покриттям ДП є паяльна маска зеленого кольору, нанесення котрої передбачене за замовчуванням. Маркування елементів виконано шляхом шовкографії.

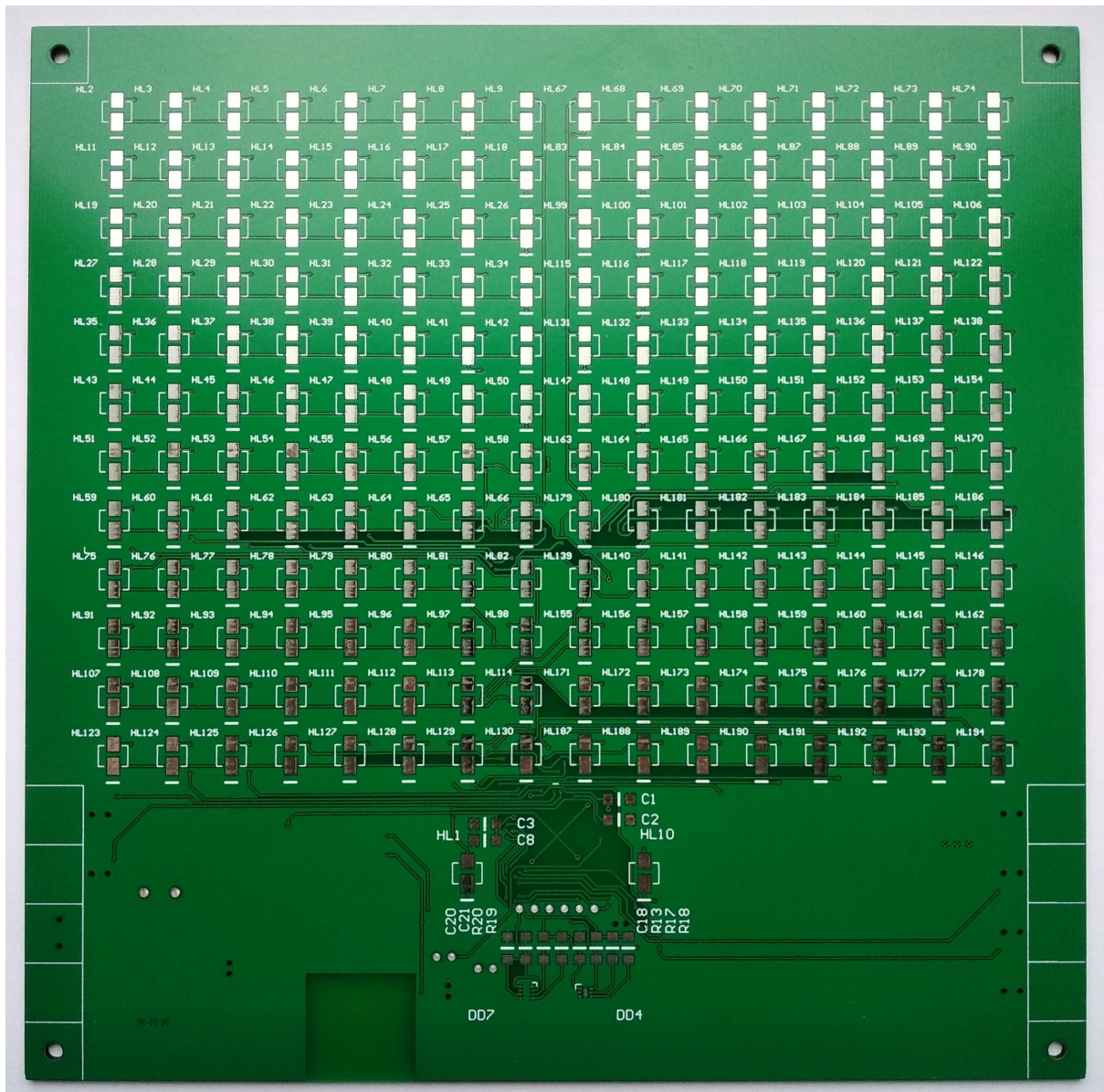


Рисунок 3.1 – Виготовлена друкована плата пристрою, верхня сторона

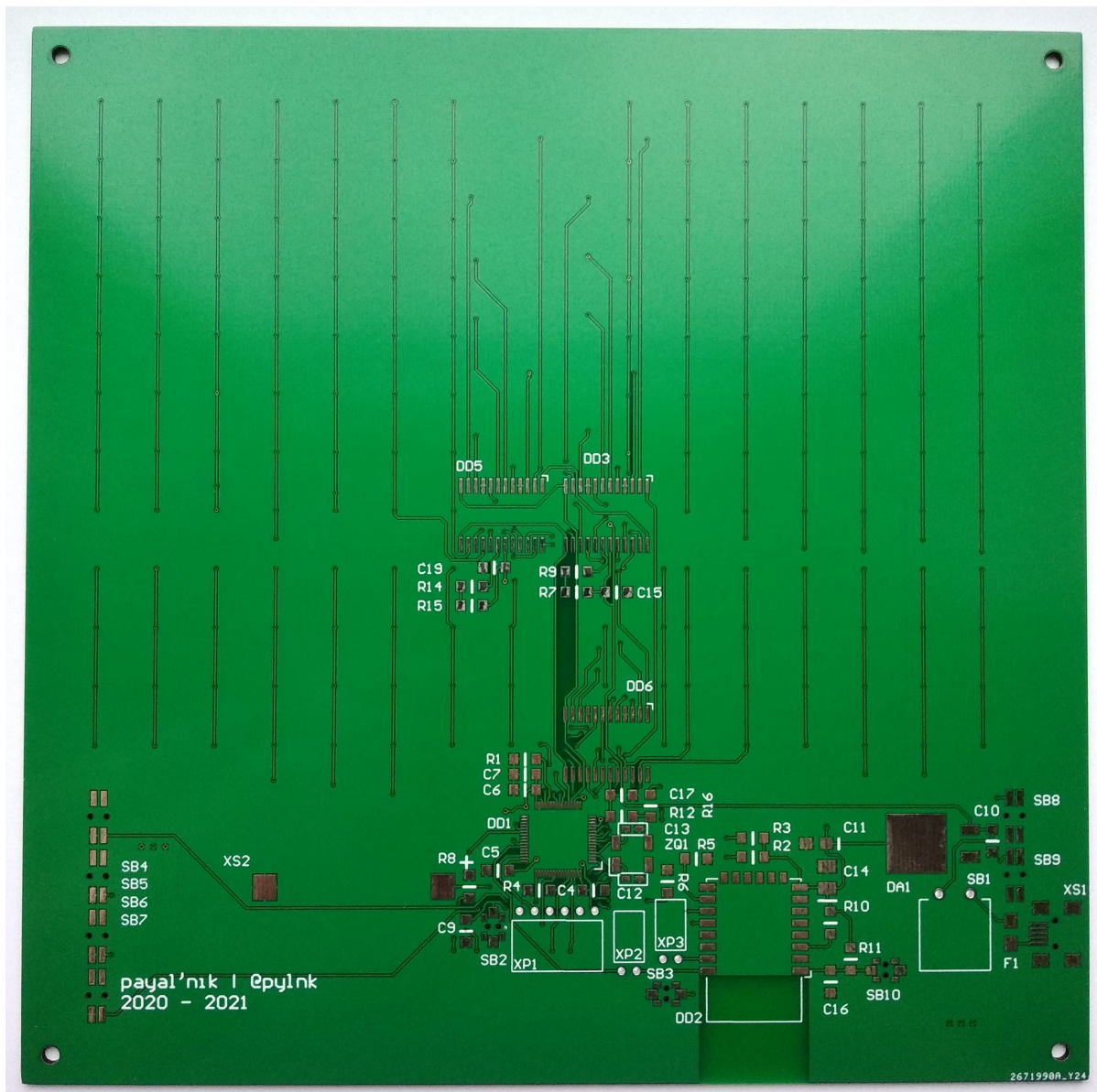


Рисунок 3.2 – Виготовлена друкована плата пристрою, нижня сторона

Висновки до розділу

В даному розділі було вибрано, з наведенням необхідних обґрунтувань, тип, матеріал та спосіб виготовлення друкованого вузла – двостороння друкована плата, комбінований позитивний метод, четвертий клас точності.

Також були наведені та коротко описані основні етапи проектування друкованої плати пристрою за допомогою САПР Altium Desinger.

Результатом даного проектування стало виготовлення ДП на виробництві JLPCSB, що підтверджено відповідними наведеними зображеннями.

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ДК61.403272.001 ПЗ

Аркуш

67

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

4.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ.

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі.

Мінімальна ширина друкованого провідника за постійним струмом для ланцюгів живлення та «землі» визначається за наступною формулою:

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

де I_{max} – максимально можливий струм в ланцюгу, А;

$j_{доп}$ – допустима щільність струму, в даному випадку, для ДП, що виготовлена комбінованим позитивним методом, $j_{доп} = 48 \frac{А}{мм^2}$;

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

Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом. Товщина друкованого провідника $t_{пров}$, згідно методу виготовлення, може бути розрахована наступним чином:

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

де $h_{ф}$ – товщина фольги, для обраного матеріалу $h_{ф} = 0.035$ мм;

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

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

Маємо:

$$t_{пров} = 0.035 + 0.055 + 0.0065 = 0.0965 \text{ (мм)}$$

Параметр I_{max} у виразі (4.1) визначається як сума струмів, які споживають всі активні елементи схеми. В схемі присутні дві лінії напруг живлення: 5 В та 3.3 В. Таким чином, необхідно здійснити два окремі розрахунки мінімальної ширини друкованого провідника.

Значення струмів, що споживаються елементами схеми, для ліній живлення 5 В та 3.3 В, представлені в таблицях 4.1 та 4.2 відповідно.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Струми споживання елементів схеми, лінія живлення 5 В

Елемент схеми	Кількість	$I_{\text{спож}}, \text{ мА}$	Сумарний $I_{\text{спож}}, \text{ мА}$
MAX7219CWG	3	88	264
MAX44009	1	0.00065	0.00065
BME280	1	0.0036	0.0036
NCP1117DT33G	1	10	10
STM32F401RET6	1	32.5	32.5
ESP-12E	1	80	80
HL1, HL10	2	10	20

Таблиця 4.2 – Струми споживання елементів схеми, лінія живлення 3.3 В

Елемент схеми	Кількість	$I_{\text{спож}}, \text{ мА}$	Сумарний $I_{\text{спож}}, \text{ мА}$
MAX44009	1	0.00065	0.00065
BME280	1	0.0036	0.0036
STM32F401RET6	1	32.5	32.5
ESP-12E	1	80	80
HL1, HL10	2	10	20

Сумарні струми споживання елементів схеми, для обох ліній живлення:

$$I_{\text{max}_{5V}} = 0.4065 \text{ (A)}$$

$$I_{\text{max}_{3V3}} = 0.1325 \text{ (A)}$$

Мінімальна ширина друкованого провідника, за струмом, для кожної з ліній живлення:

$$b_{\text{min}_{5V}} = \frac{I_{\text{max}_{5V}}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0.4065}{48 \cdot 0.0965} = 0.088 \text{ (мм)}$$

$$b_{\text{min}_{3V3}} = \frac{I_{\text{max}_{3V3}}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0.1325}{48 \cdot 0.0965} = 0.029 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння на ньому напруги.

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому визначається наступним виразом:

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

де ρ – питомий опір провідника, для провідника, що виготовлений комбінованим позитивним методом, $\rho = 0.0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

$L_{\text{пров}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника на ДП, м;

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, В.

Допустиме падіння напруги на друкованому провіднику приймають рівним 5% від напруги живлення:

$$U_{\text{доп}_{5V}} = 0.05 \cdot 5 = 0.25 \text{ (В)}$$

$$U_{\text{доп}_{3V3}} = 0.05 \cdot 3.3 = 0.165 \text{ (В)}$$

Мінімальна ширина друкованого провідника, з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, для кожної з ліній живлення:

$$b_{\text{min}_{U_{5V}}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}_{5V}} \cdot L_{\text{пров}_{5V}}}{t_{\text{пров}} \cdot U_{\text{доп}_{5V}}} = \frac{0.0175 \cdot 0.4065 \cdot 0.199}{0.0965 \cdot 0.25} = 0.059 \text{ (мм)}$$

$$b_{\text{min}_{U_{3V3}}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}_{3V3}} \cdot L_{\text{пров}_{3V3}}}{t_{\text{пров}} \cdot U_{\text{доп}_{3V3}}} = \frac{0.0175 \cdot 0.1325 \cdot 0.275}{0.0965 \cdot 0.165} = 0.04 \text{ (мм)}$$

Проаналізуємо отримані результати згідно гранично допустимих значень розмірів елементів друкованого монтажу для вибраного 4 класу точності. Отримані значення b_{min} та b_{min} для обох ліній живлення є меншими за мінімально допустиму ширину провідника $b_{\text{прг}}$ для 4 класу точності, котра рівна 0.15 мм. Отже, мінімальним значенням ширини провідника по постійному струму для ланцюгів обох ліній живлення та «землі» є 0.15 мм, так як саме це значення є тим мінімумом, який можна досягнути, використовуючи обладнання та технології, передбачені обраним четвертим класом точності.

В підсумку, враховуючи наведені вище розрахунки, візьмемо значення ширини для усіх провідників на друкованій платі з запасом – 0.25 мм.

Визначення номінального діаметру монтажного отвору.

Значення номінального діаметру монтажного отвору може бути визначене наступним чином:

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{МО}} + r, \quad (4.4)$$

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де $d_{\text{ве}}$ – діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору, мм;

$\Delta d_{\text{МО}}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, мм;

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

В даному випадку необхідно розрахувати номінальний діаметр монтажних отворів для встановлення роз'ємів 61300611021 та 61300211021 ($d_{\text{ве1}} = 0.8$ мм, отвори з металізацією), для встановлення перемикача GPTS203211B ($d_{\text{ве2}} = 0.9$ мм, отвори з металізацією), для встановлення перемикачів PTS820J25MPSMTRLFS та EVQ-PUL02K ($d_{\text{ве3}} = 0.6$ мм, отвори без металізації), для встановлення роз'єму 1734035-3 ($d_{\text{ве4}} = 0.8$ мм, отвори без металізації).

Значення граничних відхилень від номінального діаметру обрані згідно з ГОСТ 23751-86.

Маємо:

$$d_1 \geq d_{\text{ве1}} + \Delta d_{\text{МО}} + r = 0.8 + 0.15 + 0.2 = 1.15 \text{ (мм)}$$

$$d_2 \geq d_{\text{ве2}} + \Delta d_{\text{МО}} + r = 0.9 + 0.15 + 0.2 = 1.25 \text{ (мм)}$$

$$d_3 \geq d_{\text{ве3}} + \Delta d_{\text{МО}} + r = 0.6 + 0.05 + 0.2 = 0.85 \text{ (мм)}$$

$$d_4 \geq d_{\text{ве4}} + \Delta d_{\text{МО}} + r = 0.8 + 0.1 + 0.2 = 1.1 \text{ (мм)}$$

Виконаємо округлення отриманих значень в більшу сторону:

$$d_1 = 1.2 \text{ (мм)}$$

$$d_2 = 1.3 \text{ (мм)}$$

$$d_3 = 0.9 \text{ (мм)}$$

Визначення діаметра контактної майданчика, максимального діаметра просвердленого отвору та максимального діаметра контактної майданчика.

Розрахунок діаметра контактної майданчика виконується за формулою:

$$D_{\text{mi}} = D_{\text{min1}} + 1.5 \cdot h_{\phi} + 0.03, \quad (4.5)$$

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

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

h_{ϕ} – товщина фольги, для обраного матеріалу $h_{\phi} = 0.035$ мм.

Коефіцієнт $1.5 \cdot h_{\phi}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника в ширину, коефіцієнт 0.03 враховує комбінований позитивний метод виготовлення контактної майданчика.

Мінімальний ефективний діаметр КМ:

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

де $b_{по}$ – ширина пояса КМ, для обраного класу точності $b_{по} = 0.05$ мм;

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

δ_o – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, для обраного класу точності $\delta_o = 0.07$ мм;

$\delta_{км}$ – похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, для обраного класу точності $\delta_{км} = 0.05$.

Максимальний діаметр просвердленого отвору може бути розрахований за наступною формулою:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15), \quad (4.7)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм;

Δd – допуск на діаметр отвору, мм.

Значення допусків на діаметр отвору обрані згідно з ГОСТ 23751-86.

Максимальний діаметр контактної майданчика:

$$D_{max} = D_{min} + 0.02 \quad (4.8)$$

Виконаємо розрахунки значень відповідних параметрів для металізованих отворів компонентів:

Для 61300611021 та 61300211021:

$$d_{max} = d_1 + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 1.2 + 0.05 + 0.15 = 1.4 \text{ (мм)}$$

$$D_{min1} = 2 \cdot \left(0.05 + \frac{1.4}{2} + 0.07 + 0.05 \right) = 1.74 \text{ (мм)}$$

$$D_{min} = 1.74 + 1.5 \cdot 0.035 + 0.03 = 1.82 \text{ (мм)}$$

$$D_{max} = 1.82 + 0.02 = 1.84 \text{ (мм)}$$

Для GPTS203211B:

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{max} = d_2 + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 1.3 + 0.05 + 0.15 = 1.5 \text{ (мм)}$$

$$D_{min1} = 2 \cdot \left(0.05 + \frac{1.5}{2} + 0.07 + 0.05 \right) = 1.84 \text{ (мм)}$$

$$D_{min} = 1.84 + 1.5 \cdot 0.035 + 0.03 = 1.92 \text{ (мм)}$$

$$D_{max} = 1.92 + 0.02 = 1.94 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної та максимальної ширини провідника.

$$b_{min} = b_{npz} + 1.5 \cdot h_{\phi} + 0.03, \quad (4.9)$$

де b_{npz} – мінімальна ширина провідника для обраного класу точності, в даному випадку $b_{npz} = 0.15$ мм.

Маємо:

$$b_{min} = 0.15 + 1.5 \cdot 0.035 + 0.03 = 0.23 \text{ (мм)}$$

Нас цікавить також максимальна ширина провідника:

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

Визначення мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком.

Мінімальна відстань між провідником та контактним майданчиком визначається за формулою:

$$l_{пкм \ min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right), \quad (4.10)$$

де L_0 – відстань між центром отвору та центром друкованого провідника, що є кратною кроку КС, в даному випадку $L_0 = 1.5$ мм;

D_{max} – максимальний діаметр КМ, в даному випадку $D_{max} = 1.94$ мм;

$\delta_{сп}$ – похибка зміщення провідників відносно ліній КС, для обраного класу точності $\delta_{сп} = 0.05$ мм.

Маємо:

$$l_{пкм \ min} = 1.5 - \left(\frac{1.94}{2} + 0.05 + \frac{0.25}{2} + 0.05 \right) = 0.3 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної відстані між краями двох сусідніх провідників.

Мінімальна відстань між краями двох сусідніх провідників обчислюється наступним чином:

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l_{\text{пп min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{сп}}), \quad (4.11)$$

де L_0 – відстань між центрами друкованих провідників, що є кратною кроку КС, в даному випадку $L_0 = 0.5$ мм.

$$l_{\text{пп min}} = 0.5 - (0.25 + 2 \cdot 0.05) = 0.15 \text{ (мм)}$$

Отримане значення не є меншим за гранично допустиму мінімальну відстань між елементами друкованого монтажу для 4 класу точності, а, отже, може бути технологічно виконаним.

Розрахунок мінімальної відстані між двома контактними майданчиками.

Мінімальна відстань між двома контактними майданчиками може бути розрахована за формулою:

$$l_{\text{км min}} = L'_0 - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{км}}), \quad (4.12)$$

де L'_0 – відстань між центрами сусідніх КМ, в даному випадку $L'_0 = 2.5$ мм.

$$l_{\text{км min}} = 2.5 - (1.94 + 2 \cdot 0.05) = 0.46 \text{ (мм)}$$

4.2. Електричний розрахунок друкованої плати.

Важливою задачею проектування друкованого вузла є розрахунок паразитних параметрів ДП, котрі можуть виникати при її роботі на високих частотах.

Після створення топології друкованої плати, необхідно провести електричні розрахунки її основних параметрів, для того, щоб перевірити, наскільки розраховані значення відповідають допустимим, і зробити відповідні висновки щодо якості та можливості використання створеної топології.

Визначимо падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається наступним чином:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.13)$$

де ρ – питомий опір провідника, для провідника, що виготовлений комбінованим позитивним методом, $\rho = 0.0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

$l_{\text{пр}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника на ДП, в даному випадку $l_{\text{пр}} = L_{\text{пров}_{3V3}} = 0.275 \text{ м}$;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, в даному випадку $t_{\text{пр}} = 0.0965 \text{ мм}$;

I_{max} – максимальний струм у провіднику, в даному випадку $I_{\text{max}} = I_{\text{max}_{3V3}} = 0.1325 \text{ А}$;

$b_{\text{пр}}$ – ширина провідника, в даному випадку $b_{\text{пр}} = 0.25 \text{ мм}$.

Таким чином, найдовшим провідником на ДП є провідник лінії живлення 3.3 В, падіння напруги на якому становить:

$$U_{\text{пад пров}_{3V3}} = \frac{0.0175 \cdot 0.1325 \cdot 0.275}{0.25 \cdot 0.0965} = 0.026 \text{ (В)}$$

Розрахуємо також падіння напруги на найдовшому провіднику лінії живлення 5 В:

$$U_{\text{пад пров}_{5V}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}_{5V}} \cdot L_{\text{пров}_{5V}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0.0175 \cdot 0.4065 \cdot 0.199}{0.25 \cdot 0.0965} = 0.059 \text{ (В)}$$

Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати.

Потужність втрат ДДП може бути визначеною наступним чином:

$$P_{\text{втрат}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_{\text{живл}}^2 \cdot \text{tg} \sigma, \quad (4.14)$$

де f – робоча частота, в даному випадку, так як розрахунок проводиться на постійному струмі, $f = 1 \text{ Гц}$;

$\text{tg} \sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу друкованої плати;

$E_{\text{живл}}$ – напруга живлення, в даному випадку $E_{\text{живл}} = 5 \text{ В}$;

C – ємність друкованої плати, мкФ.

Ємність друкованої плати розраховується наступним чином:

$$C = \frac{0.009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.15)$$

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

S_m – площа металізації ДП, в даному випадку $S_m = 58800.86 \text{ мм}^2$;

h – товщина ДП, в даному випадку $h = 1.5 \text{ мм}$.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Обчислимо значення ємності друкованої плати:

$$C = \frac{0.009 \cdot 4.5 \cdot 58800.86}{1.5} = 1587.6 \text{ (пФ)}$$

Обчислимо значення тангенсу кута діелектричних втрат для друкованої плати, враховуючи покриття ДП лаком у 4 шари:

$$tg\sigma = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} \cdot h_{\text{мат.дп}} \cdot tg\sigma_{\text{мат.дп}} + 2 \cdot \varepsilon_{\text{мат.дп}} \cdot 4 \cdot h_{\text{шару лаку}} \cdot tg\sigma_{\text{лаку}}}{2 \cdot \varepsilon_{\text{мат.дп}} \cdot 4 \cdot h_{\text{шару лаку}} + \varepsilon_{\text{лаку}} \cdot h_{\text{мат.дп}}}, \quad (4.16)$$

де $\varepsilon_{\text{лаку}}$ – діелектрична проникність лаку, для УР-231 ТУ-6-21-14-90 $\varepsilon_{\text{лаку}} = 4.5$;

$h_{\text{мат.дп}}$ – товщина друкованої плати, в даному випадку $h_{\text{мат.дп}} = 0.0015$ м;

$tg\sigma_{\text{мат.дп}}$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу ДП, для FR4 $tg\sigma_{\text{мат.дп}} = 0.002$;

$\varepsilon_{\text{мат.дп}}$ – діелектрична проникність матеріалу ДП, для FR4 $\varepsilon_{\text{мат.дп}} = 4.5$;

$h_{\text{шару лаку}}$ – товщина одного шару лаку, в даному випадку $h_{\text{шару лаку}} = 0.000005$ м;

$tg\sigma_{\text{лаку}}$ – тангенс кута діелектричних втрат лаку, для УР-231 ТУ-6-21-14-90 $tg\sigma_{\text{лаку}} = 0.03$.

Маємо:

$$tg\sigma = \frac{4.5 \cdot 0.0015 \cdot 0.002 + 2 \cdot 4.5 \cdot 4 \cdot 0.000005 \cdot 0.03}{2 \cdot 4.5 \cdot 4 \cdot 0.000005 + 4.5 \cdot 0.0015} = 0.0027$$

$$P_{\text{втрат}} = 2 \cdot 3.1415 \cdot 1 \cdot 0.0015876 \cdot 5^2 \cdot 0.0027 = 670 \text{ (мкВт)}$$

Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину.

Значення ємності між двома сусідніми провідниками, котрі розташовані на одній стороні ДП та мають однакову ширину, може бути обчислене за наступною формулою:

$$C = 0.12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right) \right)^{-1}, \quad (4.17)$$

де ε – діелектрична проникність для матеріалу ДП;

S – відстань між двома паралельними провідниками, в даному випадку $S = 0.29$ мм;

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						76
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$b_{\text{пр}}$ – ширина друкованого провідника, в даному випадку $b_{\text{пр}} = 0.25$ мм;

$t_{\text{пр}}$ – товщина друкованого провідника, в даному випадку $t_{\text{пр}} = 0.0965$ мм;

$l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, в даному випадку $l_{\text{пр}} = 59.9$ мм.

Обчислимо значення діелектричної проникності для друкованої плати, враховуючи покриття ДП лаком у 4 шари:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{мат.дп}} \cdot \varepsilon_{\text{лаку}} \cdot (h_{\text{мат.дп}} + 2 \cdot 4 \cdot h_{\text{шару лаку}})}{h_{\text{мат.дп}} \cdot \varepsilon_{\text{лаку}} + 2 \cdot 4 \cdot h_{\text{шару лаку}} \cdot \varepsilon_{\text{мат.дп}}}, \quad (4.18)$$

де $\varepsilon_{\text{мат.дп}}$ – діелектрична проникність матеріалу ДП, для FR4 $\varepsilon_{\text{мат.дп}} = 4.5$;

$\varepsilon_{\text{лаку}}$ – діелектрична проникність лаку, для УР-231 ТУ-6-21-14-90 $\varepsilon_{\text{лаку}} = 4.5$;

$h_{\text{мат.дп}}$ – товщина друкованої плати, в даному випадку $h_{\text{мат.дп}} = 0.0015$ м;

$h_{\text{шару лаку}}$ – товщина одного шару лаку, в даному випадку $h_{\text{шару лаку}} = 0.000005$ м.

Маємо:

$$\varepsilon = \frac{4.5 \cdot 4.5 \cdot (0.0015 + 2 \cdot 4 \cdot 0.000005)}{0.0015 \cdot 4.5 + 2 \cdot 4 \cdot 0.000005 \cdot 4.5} = 4.5$$

$$C = 0.12 \cdot 4.5 \cdot 59.9 \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 0.29}{0.25 + 0.0965} \right) \right)^{-1} = 144.6 \text{ (пФ)}$$

Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини.

Взаємна індуктивність двох паралельних провідників однакової довжини може бути розрахована наступним чином:

$$M = 0.02 \cdot \left(l_{\text{пр}} \cdot \lg \left(\frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} \right) - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right), \quad (4.19)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, в даному випадку $l_{\text{пр}} = 5.99$ см;

L_0 – відстань між вісьовими лініями двох паралельних провідників, в даному випадку $L_0 = 0.054$ см.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						77
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Маємо:

$$M = 0.02 \cdot \left(5.99 \cdot \lg \left(\frac{\sqrt{5.99^2 + 0.054^2} + 5.99}{0.054} \right) - \sqrt{5.99^2 + 0.054^2} + 0.054 \right) \\ = 0.16 \text{ (нГн)}$$

4.3. Оцінка надійності друкованого вузла

Надійністю називають властивість приладу зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання, транспортування.

Основними показниками надійності є:

- $T_{\text{сер}}$ – середній час напрацювання на відмову;
- λ_p – результуюча інтенсивність відмов;
- $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи протягом часу t ;
- $Q(t)$ – ймовірність відмови протягом часу t .

Найбільш точною кількісною мірою надійності кожного конструктивного елемента є його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови.

Важливою характеристикою надійності є середній час безвідмовної роботи, який визначається наступним чином:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_p}, \quad (4.20)$$

де λ_p – результуюча інтенсивність відмов, год^{-1} .

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та ступеню тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д.

Таким чином, можна записати:

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						78
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda_e = \lambda_{0e} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (4.21)$$

де λ_{0e} – інтенсивність відмов елементу при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища $T_{\text{навк.сер.}} = 20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, відносна вологість $65 \pm 15\%$, коефіцієнт електричного навантаження $K_n = 1$);

$K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі:

$$K_n = \frac{H_{\text{роб}}}{H_{\text{ном}}} \quad (4.22)$$

Для розрахунку значення коефіцієнту навантаження для резисторів виберемо резистор R6, котрий є найбільш навантаженим серед резисторів у схемі:

$$K_{nR} = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{R \cdot I_{\text{роб}}^2}{P_{\text{ном}}} = \frac{75 \cdot 0.01^2}{0.25} = 0.03$$

Коефіцієнт навантаження для керамічних конденсаторів:

$$K_{nC \text{ кер.}} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{5}{50} = 0.1$$

Коефіцієнт навантаження для електролітичних конденсаторів, для випадку конденсатора C14:

$$K_{nC \text{ ел.}} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{3.3}{6.3} = 0.52$$

Коефіцієнт навантаження для світлодіодів:

$$K_{nLED} = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{0.01}{0.24} = 0.042$$

Для решти компонентів значення коефіцієнту навантаження було вибрано рівним 1, що має забезпечити, таким чином, врахування «найгіршого випадку» умов експлуатації при розрахунках.

Значення коефіцієнту a_e – поправочного коефіцієнту, який враховує зовнішні впливи на інтенсивність відмов компонентів ЕОА різного призначення, і являє собою відношення значення інтенсивності відмов в умовах експлуатації, до значення інтенсивності відмов, визначеного для лабораторних умов, в даному випадку, згідно з [27], візьмемо рівним 1.1, що відповідає експлуатації в приміщеннях з регульованою температурою та вологістю, котра передбачається вказаним в технічному завданні кліматичним виконанням УХЛ 4.2 згідно ГОСТ 15150-69.

Значення коефіцієнту a_t – поправочного коефіцієнту за температурою, що визначається змінами інтенсивності відмов залежно від коефіцієнта навантаження та температури, обрано з [28], враховуючи, відповідно до кліматичного виконання пристрою, що передбачені робочі температури експлуатації лежать в межах від +10 °С до +35 °С.

Вихідні дані для розрахунку результуючої інтенсивності відмов зведені до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для розрахунку результуючої інтенсивності відмов

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$	K_H	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-6}$
Запобіжники	1	0,0011	1	1	1,1	0,0012
Кварцеві резонатори	1	0,026	1	1	1,1	0,0286
Конденсатори керамічні	19	0,0022	0,1	0,05	1,1	0,0002

Продовження таблиці 4.3

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$	K_H	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-6}$
Конденсатори електролітичні	2	0,173	0,52	1	1,1	0,1994
Мікросхеми	8	0,025	1	1	1,1	0,22
Перемикачі	10	0,16	1	1	1,1	1,76
Світлодіоди	194	0,034	0,042	1	1,1	0,3023
Резистори	20	0,044	0,03	0,1	1,1	0,0029
Роз'єми	7	0,0041	1	1	1,1	0,0316
Пайка виводу	717	0,0013	1	1	1,1	1,0253
Друкована плата	2	0,1	1	1	1,1	0,22
Перехідні отвори	313	0,000017	1	1	1,1	0,0059

Результуюча інтенсивність відмов елементів i -го типу (тобто, одного й того ж самого типу), з урахуванням впливів, може бути представлена наступним чином:

$$\lambda_{ei} = N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_H \cdot a_t \cdot a_e, \quad (4.23)$$

де N – кількість елементів даного типу.

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів i -го типу:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{ei} = 3.8 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1})$$

Середній час напрацювання на відмову:

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						81
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{3.8 \cdot 10^{-6}} = 263341 \text{ (год)}$$

Ймовірність безвідмовної роботи друкованого вузлу P та ймовірність відмови Q протягом часу t визначається наступним чином:

$$P(t) = e^{-\lambda_p \cdot t} \quad (4.24)$$

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (4.25)$$

Розрахуємо значення відповідних ймовірностей для значення часу, рівного одному року:

$$t = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ (год)}$$

$$P(t) = e^{-3.8 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0.97$$

$$Q(t) = 1 - 0.97 = 0.03$$

Використовуючи наведені вище формули, обчислимо також значення $P(t)$ та $Q(t)$ для значень часу від 10 до 10000000 годин, та побудуємо відповідні графіки.

Таблиця 4.4 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови від часу t

t, год	P(t)	Q(t)
10	0,99996	0,00004
100	0,99962	0,00038
1000	0,99621	0,00379
10000	0,96274	0,03726
100000	0,68404	0,31596
1000000	0,02243	0,97757
10000000	3,2E-17	1

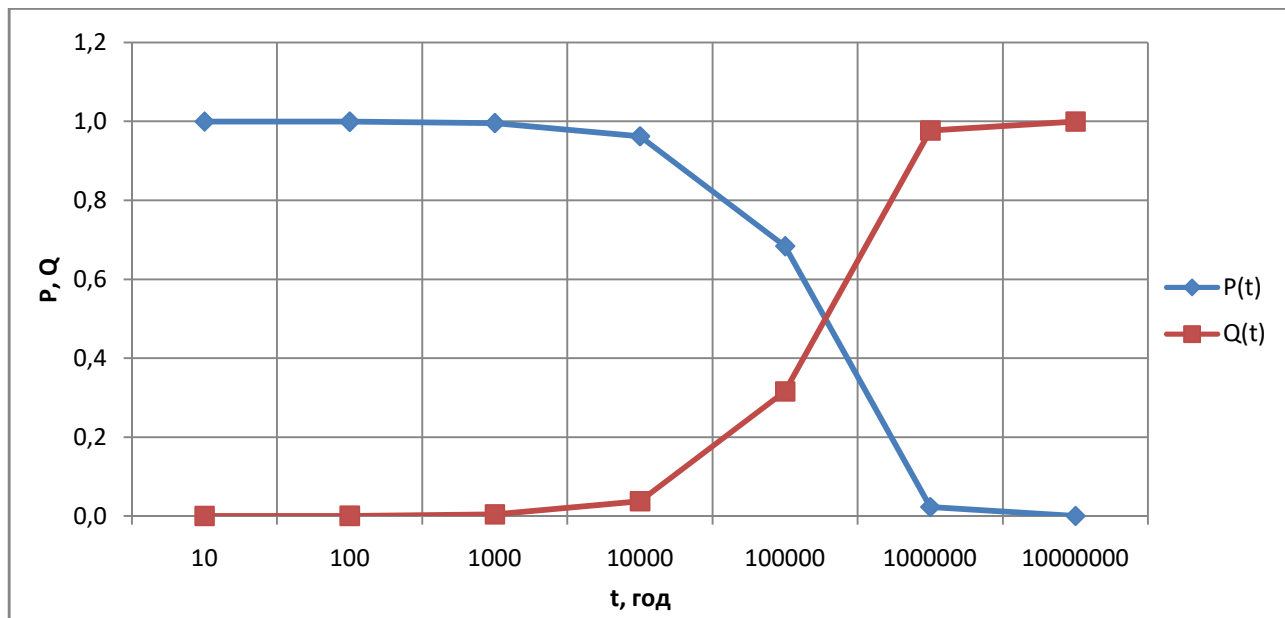


Рисунок 4.1 – Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови від часу t

4.4. Розрахунок віброміцності друкованого вузла

Друкована плата в складі пристрою, котрий розглядається в рамках даного проекту, призначена для роботи в стаціонарних умовах, що, враховуючи суть та призначення пристрою, котрий являє собою настільний годинник, та, очікувано, не має піддаватись значним механічним впливам, означає практично повну відсутність таких впливів в процесі його експлуатації.

Матеріалом друкованої плати є FR-4, значення його основних параметрів:

- густина $\rho = 1850 \text{ кг/м}^3$;
- модуль Юнга $E = 2.4 \cdot 10^{10} \text{ Па}$;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0.136$.

Маса друкованої плати може бути розрахована за наступною формулою:

$$m_{\text{ДП}} = \rho \cdot V = \rho \cdot a \cdot b \cdot h, \quad (4.26)$$

де ρ – густина матеріалу, з якого виготовлена плата, кг/м^3 ;

a – довжина плати, $a = 0.18 \text{ м}$;

b – ширина плати, $b = 0.18$ м;

h – товщина плати, $h = 0.0015$ м.

Таким чином:

$$m_{\text{дп}} = 1850 \cdot 0.18 \cdot 0.18 \cdot 0.0015 = 0.08991 \text{ (кг)}$$

Маси елементів друкованої плати наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Маси елементів друкованої плати

Компонент	Кількість	Маса, г	Сумарна маса, г
C-0603	2	0,0063	0,0126
C-1206	17	0,027	0,459
C-Type A	1	0,027	0,027
C-Type B	1	0,1	0,1
R-1206	20	0,016	0,32
JE2835AWT	194	0,059	11,47
MAX7219CWG	3	0,735	2,20
MAX44009	1	0,006	0,006
BME280	1	0,055	0,055
BU2032SM-JJ-GTR	1	3,65	3,65
NCP1117DT33G	1	0,35	0,35
GPTS203211B	1	2,4	2,4
61300611021	1	0,41	0,41
61300211021	2	0,13	0,26
QPC02SXGN-RC	2	0,072	0,144
PTS820J25MPSMTRLFS	3	0,272	0,816
EVQ-PUL02K	6	0,141	0,846
ABS25-32.768KHZ-6-T	1	0,18	0,18
STM32F401RET6	1	0,343	0,343
ESP-12E	1	30	30
1734035-3	1	0,7	0,7
0466.750NRHF	1	0,0095	0,0095
Загальна маса компонентів, г			54,763

Сумарна маса елементів, згідно зі значеннями, наведеними в таблиці 4.5, становить:

$$m_{\text{ел}} = 0.054763 \text{ (кг)}$$

Таким чином, сумарна маса друкованої плати та елементів:

$$m_{\text{ДП-ел}} = m_{\text{ДП}} + m_{\text{ел}} = 0.08991 + 0.054763 = 0.144673 \text{ (кг)}$$

Серед способів закріплення друкованого вузла можна виділити: закріплення по чотирьом, п'яти, шести точкам, жорстке закріплення, поєднання точок та сторін.

Тип закріплення друкованого вузла пристрою – кріплення в 4 точках, зображене на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Точкове кріплення плати, в 4 точках

Таким чином, в такому випадку, друкований вузол розглядається як тонка пластина, розміри довжини та ширини котрої значно переважають розмір товщини, з рівномірним розподілом маси.

Частота власних коливань f_0 пластини з 4 точками кріплення, згідно з [29], може бути розрахована наступним чином:

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{D}{M} \cdot a \cdot b}, \quad (4.27)$$

де a – довжина пластини, $a = 0.18 \text{ м}$;

b – ширина пластини, $b = 0.18 \text{ м}$;

D – циліндрична жорсткість, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

M – маса пластини з електронними компонентами, $M = m_{\text{ДП-ел}} = 0.144673 \text{ кг}$.

Циліндрична жорсткість розраховується за формулою:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}, \quad (4.28)$$

де E – модуль пружності для матеріалу друкованої плати, $E = 2.4 \cdot 10^{10}$ Па;

h – товщина пластини, $h = 0.0015$ м;

μ – коефіцієнт Пуассона, $\mu = 0.136$.

Обчислимо значення циліндричної жорсткості:

$$D = \frac{2.4 \cdot 10^{10} \cdot 0.0015^3}{12 \cdot (1 - 0.136^2)} = 6.877 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Розрахуємо частоту власних коливань друкованої плати:

$$f_0 = \frac{3.1415}{2 \cdot 0.18^2} \cdot \left(1 + \frac{0.18^2}{0.18^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{6.877}{0.144673} \cdot 0.18 \cdot 0.18} = 120.33 \text{ (Гц)}$$

4.5. Розрахунок теплового режиму стабілізатора напруги

Даний розрахунок здійснюється з метою перевірки, чи не перевищуватиме робоча температура напівпровідникового кристалу мікросхеми максимально допустимі значення у процесі експлуатації.

Лінійний стабілізатор напруги NCP1117DT33G, використаний у схемі пристрою, має наступні характеристики, згідно з відповідною документацією:

- корпус DPAK;
- максимально допустима робоча температура кристалу $T_{\text{крис.макс.}} = 150$ °C;
- тепловий опір кристал-середовище, за використання контактного майданчика мінімальних розмірів для контакту тепловідводу

$$R_{\text{крис-серед}} = 67 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Під мінімальними розмірами контактного майданчика для контакту тепловідводу корпусу компонента, згідно з документацією, маються на увазі розміри 4.5x4.5 мм. При проектуванні друкованого вузла пристрою, розміри цього КМ були збільшені до 10x10 мм, що, таким чином, має забезпечити зменшення значення теплового опору кристал-середовище для даного

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						86
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

компонента. Втім, при розрахунках буде використано значення $R_{\text{крист-серед}}$ для КМ мінімальних розмірів, щоб розглянути, у який спосіб, випадок найменш сприятливих умов експлуатації.

Значення температури напівпровідникового кристалу мікросхеми може бути розрахованим за наступною формулою:

$$T_{\text{крист}} = P_{\text{розс}} \cdot R_{\text{крист-серед}} + T_{\text{серед}}, \quad (4.29)$$

де $P_{\text{розс}}$ – потужність розсіювання мікросхеми, Вт;

$R_{\text{крист-серед}}$ – тепловий опір кристал-середовище мікросхеми, в даному випадку $R_{\text{крист-серед}} = 67 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$;

$T_{\text{серед}}$ – температура навколишнього середовища при експлуатації мікросхеми, в даному випадку, згідно з передбаченою кліматичним виконанням пристрою максимальною межевою температурою експлуатації пристрою, вибір котрої для розрахунків дозволить врахувати випадок найменш сприятливих робочих умов, $T_{\text{серед}} = 40^{\circ}\text{C}$.

Потужність розсіювання мікросхеми стабілізатора розраховується за наступною формулою:

$$P_{\text{розс}} = (I_{\text{спок}} \cdot U_{\text{вх}}) + (I_{\text{спож}} \cdot (U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}})), \quad (4.30)$$

де $I_{\text{спок}}$ – струм спокою стабілізатора, згідно з документацією, $I_{\text{спок}} = 0.01 \text{ А}$;

$U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга стабілізатора, $U_{\text{вх}} = 5 \text{ В}$;

$I_{\text{спож}}$ – струм споживання навантаженням стабілізатора, $I_{\text{спож}} = 0.1325 \text{ А}$;

$U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга стабілізатора, $U_{\text{вих}} = 3.3 \text{ В}$.

Таким чином, маємо:

$$P_{\text{розс}} = (0.01 \cdot 5) + (0.1325 \cdot (5 - 3.3)) = 0.275 \text{ (Вт)}$$

$$T_{\text{крист}} = 0.275 \cdot 67 + 40 = 58.4 (^{\circ}\text{C})$$

Висновки до розділу

В даному розділі були проведені необхідні конструкторсько-технологічні розрахунки, котрі підтвердили правильність прийнятих конструкторських рішень та можливість технологічного виконання спроектованого друкованого вузлу, виходячи, наприклад, з гранично допустимих параметрів друкованого монтажу.

Обидва розраховані значення падіння напруги на найдовших провідниках, рівні 0.026 В та 0.059 В, не перевищують значення 5% від напруги живлення, що таким чином, дозволяє стверджувати, що ширина провідників обрана вірно.

Потужність діелектричних втрат для частоти 1 Гц рівна 670 мкВт, тобто даним параметром можна знехтувати, так як він не вплине на роботу схеми.

Значення, отримані при розрахунку ємності та індуктивності між двома сусідніми провідниками склали 144.6 пФ та 0.16 нГн відповідно, що є досить малими величинами, і, таким чином, ними можна знехтувати.

Отримане значення середнього часу напрацювання на відмову рівне 263341 год, що задовольняє вимоги, поставлені в технічному завданні.

Підсумовуючи виконані розрахунки, що стосуються віброміцності ДВ, можна стверджувати, що конструкція друкованого вузлу пристрою не увійде в резонанс під дією вібраційних впливів, якщо його частота власних коливань не входить в діапазон частот зовнішніх механічних впливів.

Таким чином, виходячи з отриманого значення частоти власних коливань друкованого вузла пристрою, що становить 120.33 Гц, враховуючи, що у загальному випадку, згідно з [30], умови експлуатації та транспортування стаціонарної радіоелектронної апаратури характеризуються вібрацією до 120 Гц, а також беручи до уваги те, що в даному випадку, втім, з наведених вище, в відповідному розділі, причин, очікувані механічні впливи на пристрій є

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						88
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

незначними, можна стверджувати, що отримані результати відповідають вимогам, поставленим в технічному завданні.

Варто також зазначити, що, у загальному випадку, вивести частоту власних коливань друкованого вузлу за межі частот зовнішніх вібраційних впливів можна шляхом зміни відношення його сторін, товщини, маси, способу закріплення. Зокрема, наприклад, підвищення значення товщини матеріалу друкованої плати пристрою з 1.5 мм до 2.0 мм, має забезпечити підвищення частоти власних коливань друкованого вузлу пристрою до значення, рівного 162.62 Гц.

Результати проведеного теплового розрахунку для лінійного стабілізатора напруги свідчать про те, що при найменш сприятливих умовах експлуатації, температура нагріву напівпровідникового кристалу використаної у схемі мікросхеми лінійного стабілізатора напруги становитиме 58.4 °С, що в 2.6 разу менше за максимально допустиме значення. Враховуючи той факт, що розглянута при розрахунках температура навколишнього середовища бралась із запасом, і реальна відповідна температура буде меншою, а також збільшені при проектуванні друкованого вузлу розміри контактної майданчика для контакту тепловідводу корпусу мікросхеми, можна зробити висновок, що в використанні радіатора для відведення зайвого тепла немає необхідності.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						89
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АПРОБАЦІЯ ПРИЙНЯТИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

В даному розділі буде наведений опис загального алгоритму та логіки роботи пристрою, розглянуті принципи проектування програмного забезпечення пристрою, виконання котрих має забезпечити його функціонування згідно передбачених технічним завданням вимог, а також наведені результати апробації прийнятих технічних рішень.

5.1 Основні моменти конфігурації роботи мікроконтролера блоку керування та обробки даних, робота з датчиками температури, вологості, тиску та освітленості, з модулем Wi-Fi, з мікросхемами MAX7219

При конфігурації роботи МК STM32F401RET6, необхідно налаштувати тактування від вбудованого високочастотного генератора, а також увімкнути «підтяжку» до живлення контактів PC0-PC5, до котрих під'єднані перемикачі блоку введення даних, а також відповідним чином налаштувати модуль зовнішніх переривань, увімкнувши зовнішні переривання по спадаючому фронту для даних входів. Модуль годинника реального часу необхідно налаштувати на тактування від зовнішнього низькочастотного генератору. Також необхідно налаштувати периферійний модуль USART1 даного МК, для зв'язку з модулем Wi-Fi, сконфігурувавши його, наприклад, для роботи на швидкості передачі 115200 біт в секунду, з 8 бітами в кадрі, 1 стоп-бітом, без бітів паритету.

При розробці ПЗ, для роботи з датчиком температури, вологості та тиску, а також з датчиком освітленості, рекомендується обрати готове рішення у вигляді бібліотек, котрі міститимуть розроблені функції, котрі здійснюватимуть початкову конфігурацію роботи мікроконтролера блоку керування та обробки даних пристрою, а також функції, котрі повертатимуть отримані від датчиків відповідні значення поточної температури, вологості, тиску, освітленості. Для

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						90
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

зв'язку з мікросхемами BME280 та MAX44009 передбачається використання периферійних модулів I2C1 та I2C2 МК STM32F401RET6, відповідно.

Для роботи з Wi-Fi модулем рекомендується робота в середовищі Arduino та використання готових бібліотек для зв'язку з NTP-сервером, котрі забезпечуватимуть наявність функцій, що повертатимуть, в результаті виконання, отримані та готові до подальшої відправки числові значення поточного часу.

При розробці функцій для роботи з мікросхемами MAX7219, варто дотримуватись принципу «ієрархії рівнів абстракцій» – перш за все реалізувати найбільш низькорівневі функції налаштування периферійного модуля SPI1 МК STM32F401RET6 та функції відправки байту даних за допомогою інтерфейсу SPI. Далі – реалізувати функції відправки команд на дані мікросхеми, відповідно до передбачених документацією формату комунікації та набору команд. Далі – необхідно реалізувати функцію виведення-«відмалювання» горизонтальних та вертикальних ліній з заданими координатами на дисплеї, котрі являтимуть собою послідовності «активованих» світлодіодів. Після цього потрібно зберегти певним чином, у вигляді змінних, координати початку та кінця горизонтальних ліній, котрі використовуватимуться попередньо реалізованою функцією відображення на дисплеї горизонтальних ліній як вхідні координати-аргументи. І, таким чином, за рахунок відображення на дисплеї горизонтальних послідовностей «активних» світлодіодів з заданими та збереженими в змінних координатами, що відповідають початкам та кінцям певних слів на дисплеї, відбуватиметься індикація-виділення-підсвітка потрібної комбінації літер на фронтальній панелі, котра сформує необхідне для відображення в певний момент словесне значення часу.

Варто також зазначити, що при у подальшому в даному розділі під терміном «дисплей» мається на увазі світлодіодний матричний дисплей сумарної розмірності 12x16, котрий, фактично, є сформованим розміщеними у вигляді рядків та стовпчиків на верхньому шарі друкованої плати пристрою 192

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						91
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

світлодіодами, керування котрими здійснюється за допомогою 3 мікросхем-драйверів світлодіодних матриць, кожна з яких, в свою чергу, керує 64 світлодіодами, відповідно до представленого на схемі електричній принциповій з'єднання.

5.2 Режими роботи пристрою

Відповідно до технічного завдання на проектування, необхідно передбачити наявність наступних режимів роботи пристрою:

- відображення значень поточного часу;
- ручне налаштування значення поточного часу;
- налаштування значення поточного часу шляхом синхронізації з NTP-сервером;
- виведення поточних значень температури, тиску та вологості в приміщенні, де експлуатується пристрій;
- налаштування яскравості індикації;

Також має бути забезпечена можливість перегляду значень температури, тиску та вологості в приміщенні, де експлуатується пристрій, а також віддалена конфігурація роботи пристрою, на веб-сторінці керування пристроєм.

Для реалізації переходів між режимами рекомендується використати при реалізації програмного забезпечення пристрою принцип так званої «машини станів» [31], котра матиме декілька станів, котрі відповідають наведеним вище функціям, і матиме одну функцію, в котрій, залежно від поточного стану кінцевого автомату, виконуватимуться передбачені кожним з режимів дії – таким чином, дана функція реалізуватиме, свого роду, «логіку виходу». Дана функція може бути поміщена в цикл `while(1)` `main`-функції програми, і, таким чином, буде постійно повторювати своє виконання.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						92
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

«Логіка переходів», тобто зміна поточного стану кінцевого автомату, може відбуватись, наприклад, в перериваннях модуля ЕХТІ мікроконтролера блоку керування та обробки даних, тобто, при виникненні переривань по натисканню перемикачів, котрі призначені для вибору режиму та конфігурації роботи пристрою, або ж в перериваннях інших периферійних модулів даного мікроконтролера.

Далі буде стисло розглянута логіка роботи пристрою в кожному з даних режимів.

5.3 Робота пристрою в режимі відображення значень поточного часу

Даний режим є основним режимом роботи пристрою, і виконання алгоритму роботи інших режимів має закінчуватись переходом в даний режим. Шляхом використання певних змінних-«прапорців», можна реалізувати повторюваність виконання наведених нижче дій з періодичністю в 1 секунду, а відлік таких інтервалів часу забезпечити шляхом використання режиму будильника (Alarm) модуля RTC, котрий може бути налаштований на спрацювання раз в 1 секунду та на генерування відповідного переривання, в відповідному обробнику якого буде здійснюватись зміна значення такої змінної-«прапорця», котре буде згодом інтерпретуватись як дозвіл виконання послідовності дій, передбаченої для даного режиму роботи, в функції, котра реалізовуватиме логіку виходу програми.

При функціонуванні пристрою в даному режимі, має відбуватись послідовне виконання наступних дій:

- Відбувається отримання значень поточного часу, що знаходяться в відповідних регістрах модуля RTC;
- Отримані значення поточного часу передаються в функцію їх відображення в словесному форматі, при цьому відбувається оновлення значень часу, котрі виводяться на дисплей;

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						93
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- Відбувається зміна активованого світлодіоду, котрий забезпечує індикацію відліку секунд;

5.4 Робота пристрою в режимі ручного налаштування значення поточного часу

- Вхід пристрою в даний режим роботи відбувається після натискання користувачем на перемикач SB7;
- За допомогою перемикачів SB8 та SB9 користувач вибирає потрібне значення годин, при цьому натискання на перемикач SB8 призводить до збільшення поточного значення годин на 5, а натискання на перемикач SB9 – до збільшення поточного значення годин на 1, що відображається на дисплеї, при цьому також має бути передбачена обробка ситуації переходу через максимальне значення годин, для 12-годинного формату;
- Чекаємо повторного натискання на перемикач SB7;
- За допомогою перемикачів SB8 та SB9 користувач вибирає потрібне значення хвилин, при цьому натискання на перемикач SB8 призводить до збільшення поточного значення хвилин на 5, а натискання на перемикач SB9 – до збільшення поточного значення хвилин на 1, при цьому також має бути передбачена обробка ситуації переходу через максимальне значення хвилин, рівне 59;
- Чекаємо повторного натискання на перемикач SB7;
- Налаштовані користувачем значення часу та дати вносяться до відповідних регістрів модуля RTC;
- Виконується перехід до режиму відображення значень поточного часу;

5.5 Робота пристрою в режимі налаштування значень поточного часу шляхом синхронізації з NTP-сервером

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						94
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вхід пристрою в даний режим роботи відбувається після натискання користувачем на перемикач SB6;
- Відбувається надсилання пакету певної структури за допомогою передбачених функцій для роботи з модулем UART мікроконтролера STM32F401RET6 модулю ESP-12E, котрий міститиме передбачену набір команд для комунікації з даним модулем команду, котра буде інтерпретована модулем ESP-12E як вказівка здійснити запит значення поточного часу в NTP-серверу;
- Модуль ESP-12E здійснює запит значення поточного часу в NTP-сервера, та повертає його, наприклад, в Unix-форматі, надсилаючи пакет певної структури за допомогою передбачених функцій для роботи з модулем UART, мікроконтролеру STM32F401RET6;
- Мікроконтролер STM32F401RET6 отримує надіслане значення поточного часу та вносить його в відповідні регістри модуля RTC, котрі зберігають значення поточного часу;
- Відбувається отримання значень поточного часу, що знаходяться в відповідних регістрах модуля RTC;
- Отримані значення поточного часу передаються в функцію їх відображення в словесному форматі, при цьому відбувається оновлення значень часу, котрі виводяться на дисплей;
- Виконується перехід до основного режиму відображення значень поточного часу;

5.6 Робота пристрою в режимі виведення поточних значень температури, тиску та вологості в приміщенні, де експлуатується пристрій

- Вхід пристрою в даний режим роботи відбувається після натискання користувачем на перемикач SB4, а також, шляхом налаштування функції

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						95
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

будильника (Alarm) модуля RTC мікроконтролера STM32F401RET6 – автоматично, з певним періодом, наприклад, рівним 10 хвилинам;

- Використовуючи передбачені функції зв'язку з датчиком BME280, відбувається запит поточних значень температури, тиску та вологості, результатом чого має стати отримання за допомогою інтерфейсу I²C пакету певної структури з трьома відповідними значеннями;
- Отримані значення надсилаються модулю ESP-12E, котрий зберігає їх у вигляді, наприклад, глобальних змінних, для подальшого відображення на веб-сторінці керування пристроєм;
- Відбувається відображення протягом певного проміжку часу, наприклад, 10 секунд, отриманих значень температури, вологості та тиску на дисплеї, наприклад, шляхом формування біжучого рядка, та користуючись принципом формування символів-цифр шляхом «активації» потрібних світлодіодів світлодіодної матриці розмірності 12x16, котру являє собою блок індикації пристрою, приклад якого зображений на рисунку 5.1;

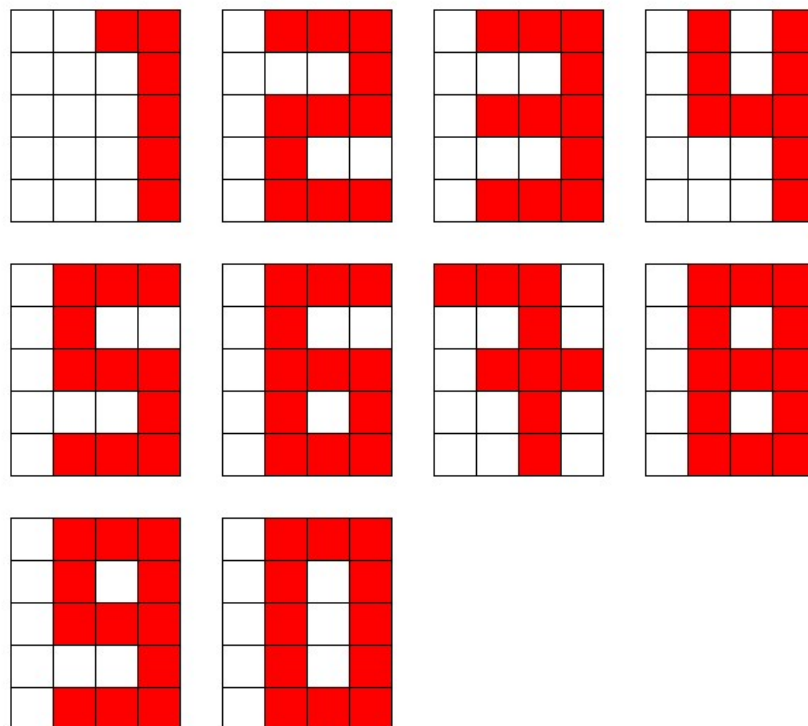


Рисунок 5.1 – Приклад формування символів-цифр за допомогою
«активації» певних світлодіодів світлодіодної матриці блоку індикації
пристрою

- Виконується перехід до основного режиму відображення значень поточного часу;

Також, використовуючи наведений на рисунку 5.1 принцип формування символів-цифр, можна реалізувати відображення значень дати в режимі відображення поточного часу, або ж шляхом активації даної функції за допомогою одного з перемикачів блоку введення, що передбачено вимогами технічного завдання.

5.7 Робота пристрою в режимі налаштування яскравості індикації

- Вхід пристрою в даний режим роботи відбувається після натискання користувачем на перемикач SB5;
- Виконується функція зміни яскравості індикації дисплею, котра встановлює значення яскравості індикації рівним певному значенню, враховуючи, що мікросхема MAX7219 передбачає 32 доступні значення яскравості індикації, від 1/32 до 31/32 – таким чином, на даному етапі може бути встановленим значення, рівне найнижчому доступному рівню яскравості. При цьому, якщо на даній стадії буде зафіксовано натискання на перемикач SB7, налаштування яскравості закінчиться, і з вибраним значенням відбудеться перехід до основного режиму відображення значень поточного часу;
- Чекаємо повторного натискання на перемикач SB5;
- Виконується функція зміни яскравості індикації дисплею, котра встановлює значення яскравості індикації рівним половині від максимального. При цьому, якщо на даній стадії буде зафіксовано

натискання на перемикач SB7, налаштування яскравості закінчиться, і з вибраним значенням відбудеться перехід до основного режиму відображення значень поточного часу;

- Чекаємо повторного натискання на перемикач SB5;
- Виконується функція зміни яскравості індикації дисплею, котра встановлює значення яскравості індикації рівним максимальному значенню яскравості індикації. При цьому, якщо на даній стадії буде зафіксовано натискання на перемикач SB7, налаштування яскравості закінчиться, і з вибраним значенням відбудеться перехід до основного режиму відображення значень поточного часу;
- Чекаємо повторного натискання на перемикач SB5;
- Відбувається вибір режиму автоматичного підлаштування яскравості індикації. Передбачається, що в датчика освітленості є певний діапазон вимірюємих значень освітленості. Таким чином, необхідно передбачити відповідність доступних у мікросхеми MAX7219 рівнів яскравості індикації, виміряним значенням освітленості, розбивши їх певним чином на діапазони, котрі відповідатимуть кожному із значень налаштувань яскравості. При цьому, логіка автоматичного підлаштування яскравості полягає у здійсненні періодичного опитування датчика освітленості, отримання поточних значень освітленості та здійсненні, після цього, зміни налаштування яскравості індикації дисплею, відповідно до того, якому із рівнів яскравості, доступних для вибору, відповідатиме отримане значення освітленості;
- Виконується перехід до основного режиму відображення значень поточного часу;

5.8 Забезпечення можливості перегляду значень температури, тиску та вологості в приміщенні, де експлуатується пристрій, а також віддалена конфігурація роботи пристрою, на веб-сторінці керування пристроєм

Даний функціонал має бути забезпеченим за рахунок підтримки можливості модулем Wi-Fi ініціалізувати веб-сервер, що може опрацьовувати такі HTTP запити, як POST та GET, котрий, у відповідь на GET-запит, наприклад, браузера, повертатиме веб-сторінку керування пристроєм, котра може бути розроблена, наприклад, за допомогою мови розмітки HTML, а також за рахунок забезпеченого зв'язку з мікроконтролером STM32F401RET6 за допомогою послідовного інтерфейсу UART, шляхом використання якого можна передавати конфігураційні команди даному мікроконтролеру, а також отримувати від нього поточні значення температури, вологості та тиску, котрі, в свою чергу, будуть включатись в HTML-код сторінки керування при її видачі у відповідь на GET-запит.

Параметри Wi-Fi мережі – SSID та пароль, необхідні модулю Wi-Fi для здійснення підключення до NTP-сервера, можна, наприклад, задавати у вигляді глобальних змінних при завантаженні програмного завантаження даного модуля.

Віддалена конфігурація пристрою може бути реалізована шляхом забезпечення наявності на веб-сторінці керування пристроєм таких елементів розмітки, як кнопки, натискання на які формуватиме POST-запит, котрий згодом буде зафіксований програмним забезпеченням модулю Wi-Fi, і у відповідь на котрий даним модулем може формуватись відповідний пакет з певними командами та аргументами в своєму складі, котрий, за допомогою послідовного інтерфейсу UART, передаватиметься мікроконтролеру STM32F401RET6, де він буде відповідним чином інтерпретований та використаний як певного роду вказівки для конфігурації налаштувань роботи, або ж для переходу в інший режим функціонування.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						99
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Потрібно також передбачити збереження та надсилання на МК STM32F401RET6 локальної IP-адреси, що призначатиметься модулю Wi-Fi після підключення до точки доступу Wi-Fi згідно з заданими SSID та паролем, використовуючи котру, користувач зможе отримати доступ до веб-сторінки керування пристроєм – після відповідного вдалого підключення до точки доступу, необхідно забезпечити відображення даної адреси на дисплеї пристрою протягом, наприклад, декількох секунд, а також забезпечити можливість переглянути її і пізніше, наприклад, шляхом тривалого утримання перемикача SB6 протягом певного проміжку часу. Відображення на дисплеї числових значень IP-адреси можна реалізувати, використовуючи наведений на рисунку 5.1 принцип формування символів-чисел шляхом «активації» світлодіодів матриці у певному порядку.

5.9 Робота з модулем RTC мікроконтролера STM32F401RET6

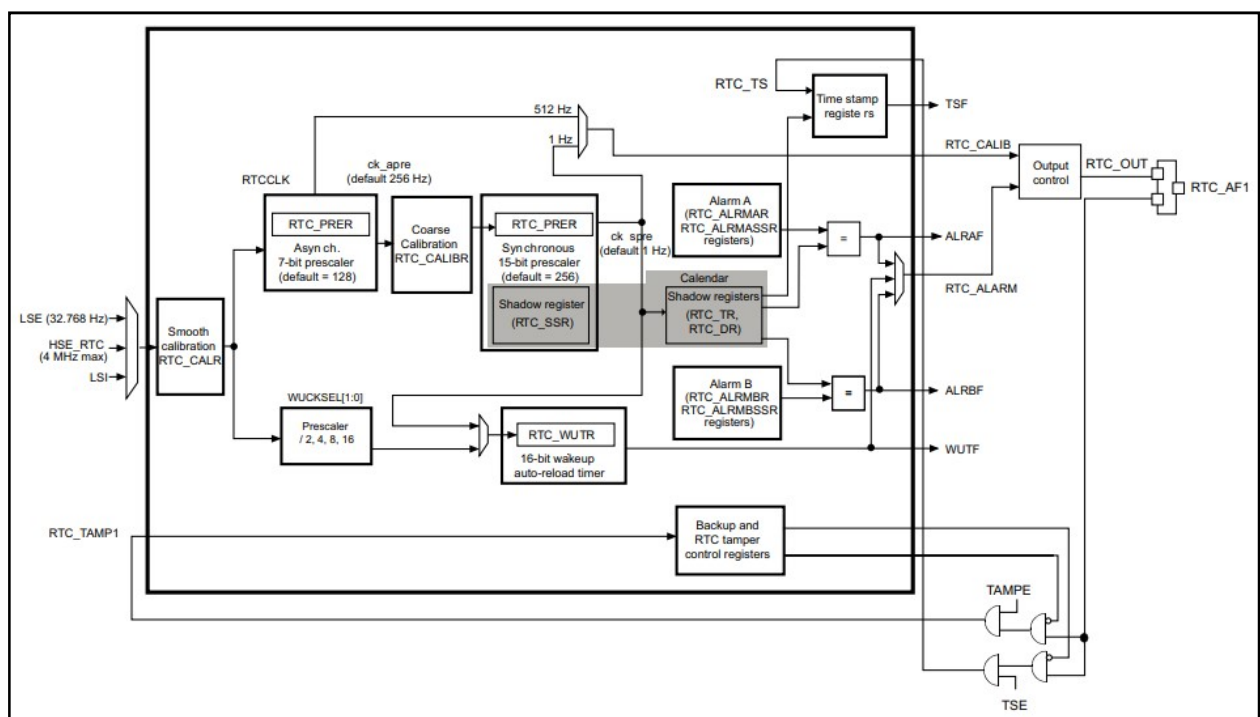


Рисунок 5.2 – Структурна схема модуля RTC в мікроконтролерах STM32 серії F4

Figure 1. RTC calendar fields

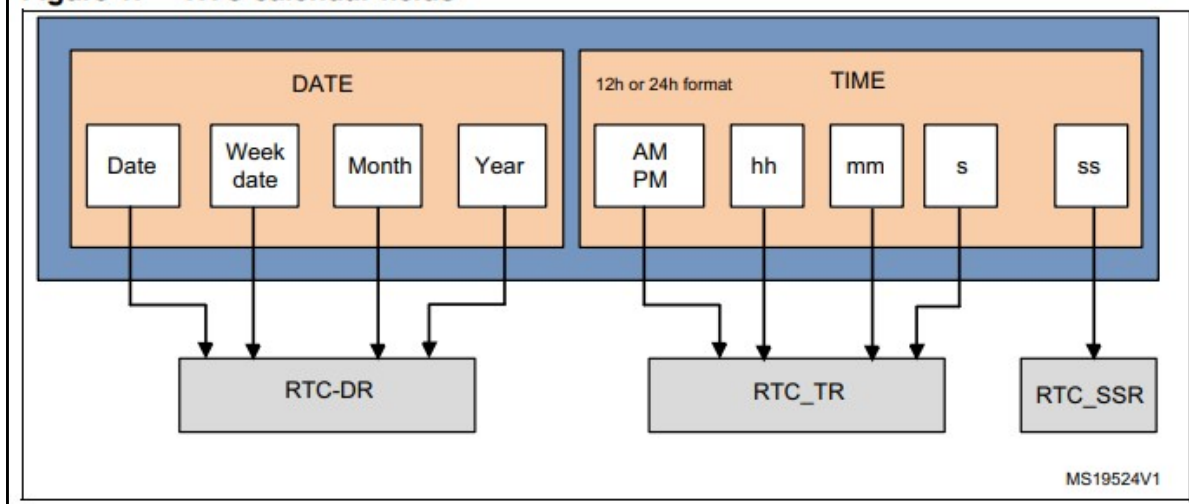


Рисунок 5.3 – Регістри дати та часу

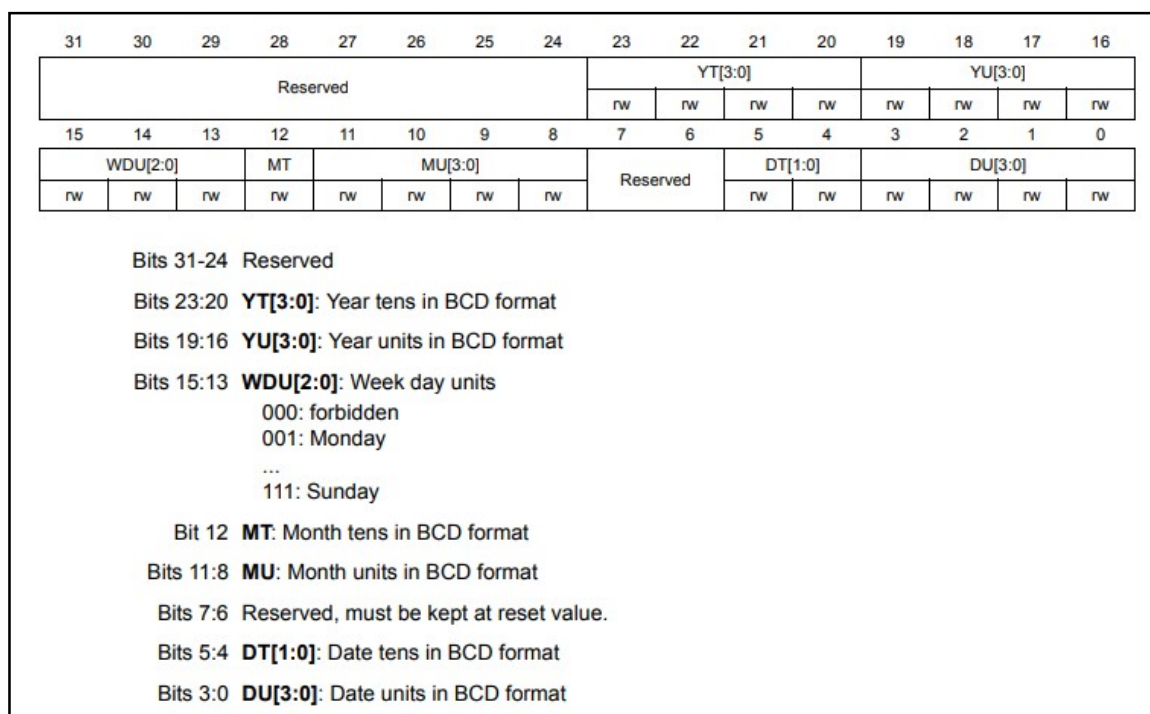


Рисунок 5.4 – Структура регістру дати RTC_DR

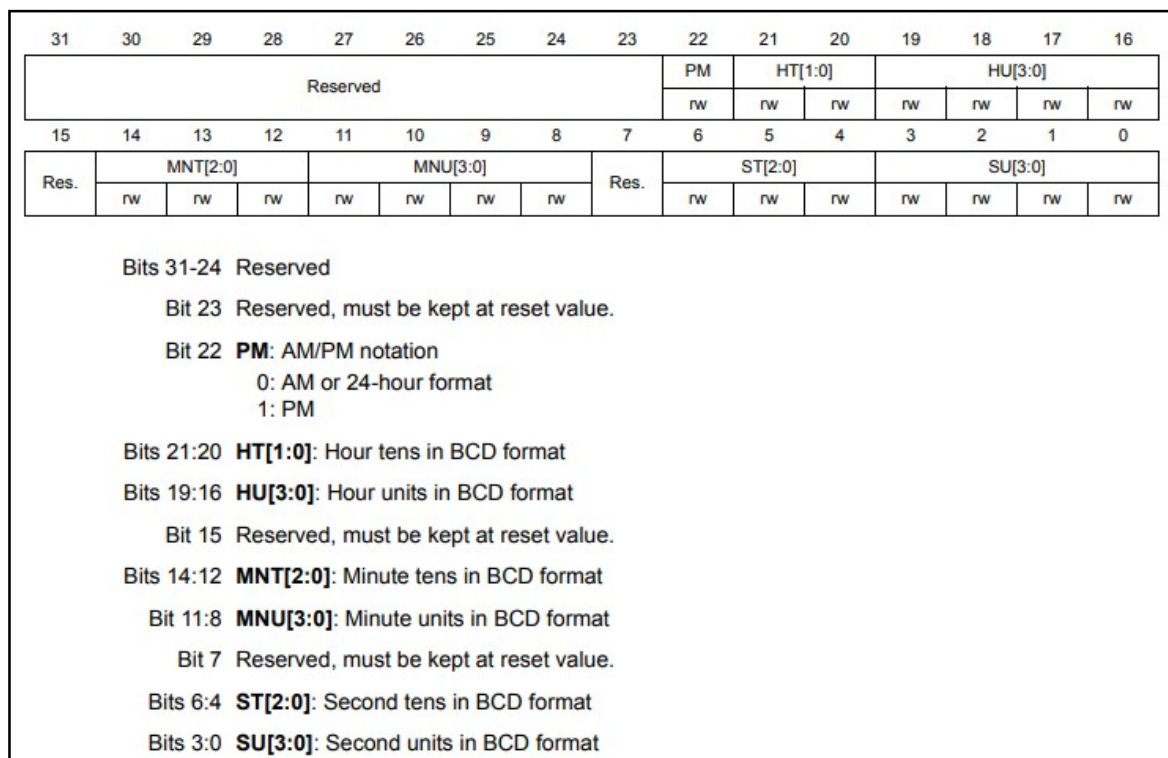


Рисунок 5.5 – Структура регістру часу RTC_TR

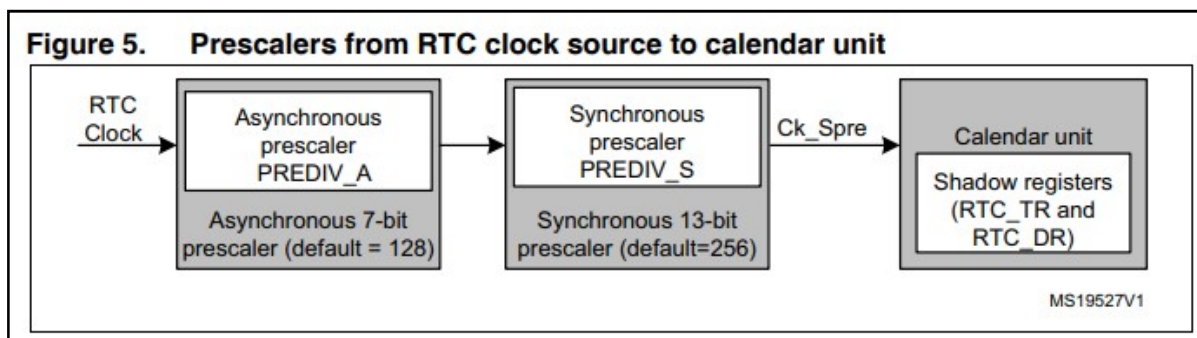


Рисунок 5.6 – Передільники сигналу тактування модуля RTC

The formula to calculate ck_spre is:

$$ck_spre = \frac{RTCCLK}{(PREDIV_A + 1) \times (PREDIV_S + 1)}$$

where:

- RTCCLK can be any clock source: HSE_RTC, LSE or LSI
- PREDIV_A can be 1,2,3,..., or 127
- PREDIV_S can be 0,1,2,..., or 8191

Table 3 shows several ways to obtain the calendar clock (ck_spre) = 1 Hz.

Table 3. Calendar clock equal to 1 Hz with different clock sources

RTCCLK Clock source	Prescalers		ck_spre
	PREDIV_A[6:0]	PREDIV_S[12:0]	
HSE_RTC = 1MHz	124 (div125)	7999 (div8000)	1 Hz
LSE = 32.768 kHz	127 (div128)	255 (div256)	1 Hz
LSI = 32 kHz ⁽¹⁾	127 (div128)	249 (div250)	1 Hz
LSI = 37 kHz ⁽²⁾	124 (div125)	295 (div296)	1 Hz

Рисунок 5.7 – Розрахунок значення частоти сигналу, котрий буде тактувати основний лічильник модуля RTC, після проходження через синхронний та асинхронний переддільники

Вихідний код на мові програмування C, котрий містить функції, що дозволяють здійснити початкову конфігурацію модуля RTC в мікроконтролері STM32F401RET6, котрий виступає основним елементом блоку обробки даних та керування блоку керування пристрою, а також необхідні коментарі, наведений в додатку Б, і включає в себе такі частини програмного забезпечення, як:

- Необхідні для початку роботи структури даних;
- Функції для роботи з структурами даних, котрі зберігають значення дати та часу;
- Початкова ініціалізація-запуск роботи модуля RTC;
- Конфігурація роботи модуля RTC, налаштування формату відображення часу;

- Налаштування-оновлення поточних значень дати та часу;
- Запит та отримання значень поточних дати та часу;
- Початкова ініціалізація роботи режиму будильника (Alarm);
- Налаштування-оновлення значень дати та часу спрацювання сигналу будильника;
- Деактивація запланованого сигналу будильника;
- Обробка переривань, що генеруються при спрацюванні сигналу будильника;
- Запит та отримання значень дати та часу спрацювання сигналу будильника;
- Налаштування wakeur-режиму роботи модуля RTC;
- Обробка переривань, що генеруються в wakeur-режимі роботи модуля RTC.

Дані функції можуть бути взятими за основу при розробці програмного забезпечення для керування розробленим в рамках даного проекту пристроєм.

5.10 Апробація прийнятих в рамках проектування технічних рішень

Для апробації прийнятих технічних рішень та перевірки реалізуємості та працездатності функціоналу пристрою був створений прототип пристрою на основі відлагоджувальної плати GL-SK [32] та світлодіодних матриць розмірності 8x8, зображений на наведених нижче рисунках.



Рисунок 5.8 – Відлагоджувальна плата GL-SK та створений прототип

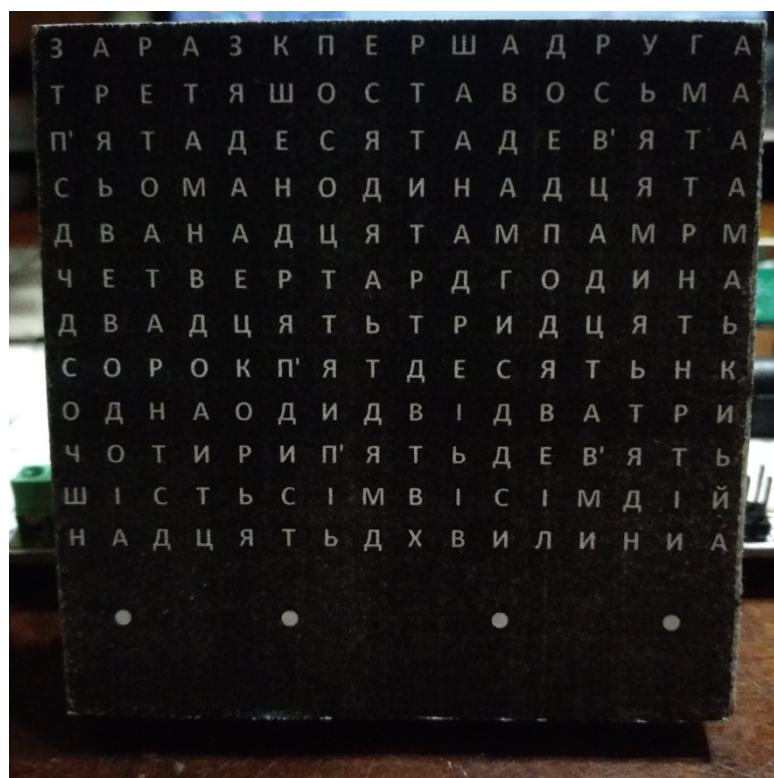


Рисунок 5.9 – Вигляд створеного прототипу пристрою

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ДК61.403272.001 ПЗ

Аркуш

105

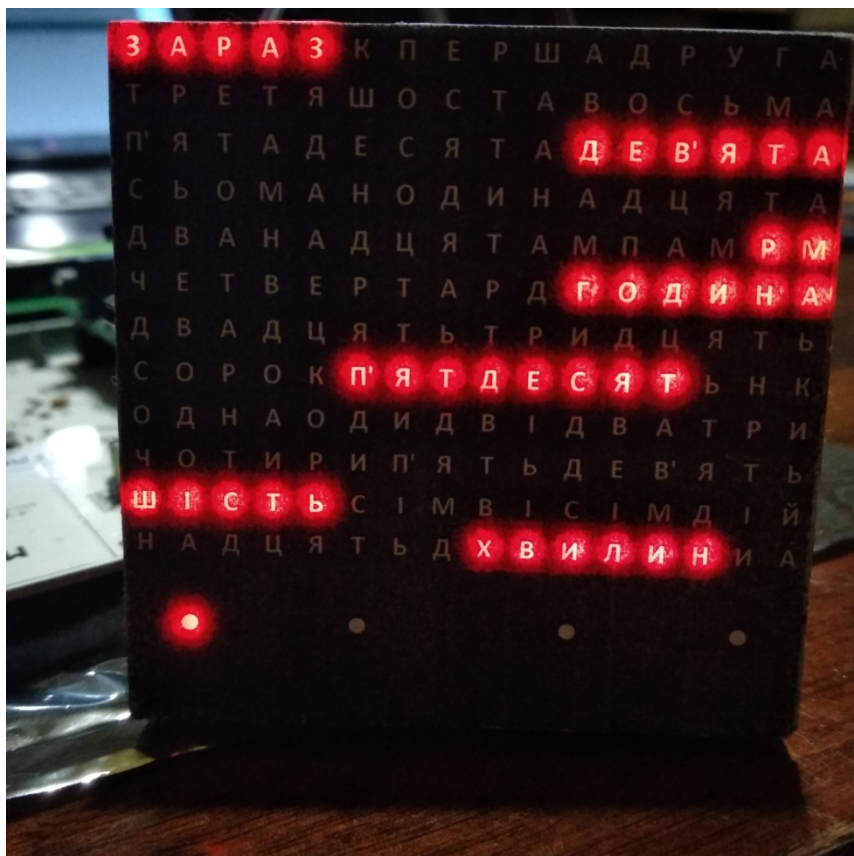


Рисунок 5.10 – Демонстрація роботи та приклад відображення значення часу в словесному форматі

Конструкція даного прототипу частково повторює конструкцію, описану в рамках даного проекту – наявним є блок індикації, представлений світлодіодними матрицями, для керування котрими використовуються драйвери світлодіодних матриць MAX7219, лінії зв'язку котрих з'єднані послідовно та підключені до ліній інтерфейсу SPI мікроконтролера STM32F407VGT6, котрий міститься на платі GL-SK у складі відлагоджувальної плати STM32F4-DISCO, та є аналогом мікроконтролера, що лежить в основі блоку обробки даних та керування, наведеного на структурній схемі розробленого пристрою.

Фронтальна панель пристрою, котра має виготовлятися з фольгованого склотекстоліту і містить матрицю літер-отворів у фользі, в даному випадку представлена листом паперу з нанесеною шляхом друку на лазерному принтері відповідною матрицею літер. При цьому, аналогом отворів у фользі в даному

випадку виступають вільні від тонеру області паперу, котрі, як і передбачено конструкцією розробленого пристрою, при підсвітці знизу, формують добре помітні літери.

Кількість використаних модулів світлодіодних матриць та, відповідно, драйверів MAX7219, в даному випадку рівна 4. Спроектowana в рамках даного проекту схема пристрою, втім, є більш оптимальною, та передбачає використання 3 драйверів світлодіодних матриць, за рахунок розподілу нижніх рядів світлодіодів блоку індикації для керування одним драйвером MAX7219 та їх відповідного розміщення потрібним чином в просторі друкованої плати при її проектуванні. Проте такі відмінності не є критичними, і полягають лише в незначній різниці в програмному забезпеченні.

Таким чином, створений прототип, зображений на наведених вище рисунках, демонструє функціонування розглянутого в даному проекті принципу відображення значень часу в словесній формі, а також підтверджує можливість реалізації такого функціоналу при використанні в якості елементів блоку індикації світлодіодів, котрі в даному випадку являють собою заводські світлодіодні збірки, а також драйверів MAX7219 та мікроконтролера серії F4 сімейства STM32, котрі є частиною схеми розробленого в рамках даного проекту пристрою. Крім цього, здійснена апробація підтверджує також працездатність принципу виконання матриці літер, що має розміщуватись на зовнішній панелі, у вигляді отворів в формі відповідних літер в суцільному непрозорому покритті даної панелі, а також демонструє українську локалізацію значення часу, що відображається.

Висновки до розділу

У даному розділі було наведено принципи проектування ПЗ пристрою, виконання котрих має забезпечити його функціонування згідно вимог, передбачених ТЗ, наведено стислий словесний опис алгоритму та логіки функціонування пристрою в наведених передбачених доступних режимах

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						107
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи, наведено вихідний код, котрий може бути використаний в якості «ядра» програмного забезпечення пристрою при його розробці, а також продемонстровано результат апробації прийнятих в результаті проектування рішень.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						108
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті було розроблено пристрій відображення поточного часу з додатковими функціями відповідно до вимог, наведених у технічному завданні. В ході виконання проєкту для пристрою було розроблено структурну схему конструкції та описано її основні елементи, серед яких, зокрема, друкований вузол, проєктуванню котрого присвячена основна частина даного проєкту. Також було розроблено схему електричну принципову пристрою, спроектовано друкований вузол, проведено проєктування програмного забезпечення пристрою. За результатами проєктування було виготовлено друковану плату пристрою на виробництві, а також виготовлено діючий прототип пристрою на основі відлагоджувальної плати GL-SK.

У першому розділі було розглянуто короткі теоретичні відомості про пристрій, що розробляється, а також проведено патентний пошук та виділено, на основі аналізу ринку, перелік функціональних вимог, котрим має відповідати пристрій для забезпечення конкурентоздатності в плані функціоналу.

У другому розділі була розроблена структурна схема конструкції пристрою, котра складається з таких елементів, як фронтальна панель, шар-«решето», друкований вузол, шар-«рамка», задня кришка, а також структурна схема друкованої плати пристрою, наведено опис елементів конструкції пристрою, а також опис елементів структури ДП, опис принципу відображення часу в словесному форматі та принципи його конструктивного втілення в контексті передбаченої структури пристрою. Розробка відповідних структурних схем дала можливість здійснити, з наведенням відповідних обґрунтувань, вибір елементної бази, необхідної для реалізації основних елементів структури пристрою, зокрема, блоку комутації та стабілізації живлення, блоку введення даних, блоку індикації, блоку обробки даних та керування, датчиків температури, вологості, тиску, освітленості, модуля Wi-Fi, розробити схему електричну принципову пристрою та провести необхідні схемотехнічні розрахунки.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						109
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

У третьому розділі було здійснено проектування друкованого вузла пристрою, що включає, зокрема, вибір матеріалу, класу точності та способу виготовлення ДП. В результаті аналізу та порівняння доступних варіантів, було обрано матеріал FR4-2-35-1,5, 4 клас точності та комбінований позитивний метод виготовлення друкованого вузла. Також в даному розділі було наведено результат виготовлення спроектованого друкованого вузла на китайському виробництві JLCPCB.

У четвертому розділі було проведено необхідні конструкторсько-технологічні та електричні розрахунки, що підтверджують технологічну можливість виготовлення друкованого вузлу на обладнанні, що відповідає обраному класу точності, а також підтверджують відсутність критичних для роботи пристрою значень паразитних параметрів. Розраховані значення падіння напруги на найдовших провідниках рівні 0.026 В та 0.059 В. Потужність діелектричних втрат для частоти 1 Гц рівна 670 мкВт. Значення, отримані при розрахунку ємності та індуктивності між двома сусідніми провідниками склали 144.6 пФ та 0.16 нГн відповідно. Отримане значення середнього часу напруцювання на відмову рівне 263341 год. Розраховане значення частоти власних коливань друкованого вузла пристрою становить 120.33 Гц. Результати проведеного теплового розрахунку для лінійного стабілізатора напруги свідчать про те, що при найменш сприятливих умовах експлуатації, температура нагріву напівпровідникового кристалу використаної у схемі мікросхеми лінійного стабілізатора напруги становитиме 58.4 °С. Отримані результати розрахунків відповідають вимогам, поставленим у технічному завданні.

У п'ятому розділі було наведено принципи проектування ПЗ пристрою, виконання котрих має забезпечити його функціонування згідно вимог, передбачених ТЗ, наведено стислий словесний опис алгоритму та логіки функціонування пристрою в передбачених наведених доступних режимах роботи, наведено вихідний код, котрий може бути використаний в якості «ядра» програмного забезпечення пристрою при його розробці, а також

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						110
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

продемонстровано результат апробації прийнятих в результаті проектування рішень.

В ході виконання даного дипломного проекту була розроблена необхідна конструкторська документація для пристрою.

Також була підготовлена стаття для наукової конференції, котра стосується розробки даного пристрою.

Результати даного проекту, зокрема, матеріал з програмування блоку RTC мікроконтролерів STM32, використані в навчальному процесі при проведенні лабораторного практикуму та виконанні розрахунково-графічної роботи дисципліни «Обчислювальні та мікропроцесорні засоби в радіоелектронній апаратурі» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» освітньо-професійної програми «Інформаційно-обчислювальні засоби електронних систем» на кафедрі КЕОА факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського, що засвідчено відповідним актом.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						111
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Электронные часы [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Электронные_часы.
2. Ковалев В.Г., Лебедев О.Н. Электронные часы на микросхемах – М.: Радио и связь, 1985. – 72 с.
3. Rozetka [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rozetka.com.ua/>
4. Allo [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://allo.ua/>
5. Amazon [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.amazon.com>
6. Caixing CX-2159 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://bt.rozetka.com.ua/207542929/p207542929/>
7. KD-3810N [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://bt.rozetka.com.ua/201205939/p201205939/>
8. M-Tac Black [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://prom.ua/p1161091327-chasy-takticheskie-kompasom.html>
9. Smart Watch Q50 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://cutt.ly/VnR8Lg4>
10. Le T Manufacture «Київ» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://bt.rozetka.com.ua/94108940/p94108940/>
11. Cigovd [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://cutt.ly/5nR8NS8>
12. Anelace «Powers of 2» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://cutt.ly/LnR82YT>
13. QLOCKTWO Classic [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://qlocktwo.com/eu/qlocktwo-classic?__from_store=us
14. USD744862S1 – «Matrix clock» [14] USD744862S1 «Matrix clock». Marco Biegert, Andreas Funk, 2009. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/USD744862S1>

- 15.US9041632B2 «Device for displaying a text message». Marco Biegert, Andreas Funk, 2010. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://patents.google.com/patent/US9041632B2>
- 16.Nucleo-F401RE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f401re.html>
- 17.NCP1117DT33G [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/ncp1117-d.pdf>
- 18.STM32F401RE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f401re.pdf>
- 19.BME280 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf>
- 20.MAX44009 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX44009.pdf>
- 21.ESP-12E [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://components101.com/asset/sites/default/files/component_datasheet/ESP12E%20Datasheet.pdf
- 22.NodeMCU [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://github.com/nodemcu/nodemcu-devkit-v1.0>
- 23.ESP8266 Flash Download Tool [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.espressif.com/en/support/download/other-tools?keys=&field_type_tid%5B%5D=14
- 24.MAX7219 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX7219-MAX7221.pdf>
- 25.JE2835AWT [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://cree-led.com/media/documents/data-sheet-JSeries-2835-3v-standard.pdf>
- 26.JLCPCB [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://jlcpcb.com/>

- 27.С. М. Боровиков. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.
- 28.Савельев А. Я., Овчинников В. А.. Конструирование ЭВМ и систем: Учебник для техн. вузов по спец. «Электрон. выч. маш.» – М.: Высш. шк., 1984. – 248 с.
- 29.Парфенов Е. М. и др. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
- 30.Ольшесвський О. В. КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ: Конспект лекцій за курсом – Київ, 2014.
- 31.«Машина станів» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://themagicsmoke.ru/courses/stm32/state_machine.html
- 32.GL-SK-BSP [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/GlobalLogicEdu/GL-SK-BSP>

ГОСТ 12.2.007-75 Система стандартов безопасности труда ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ Общие требования безопасности

ГОСТ 15150-69 МАШИНЫ, ПРИБОРЫ И ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 23571-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции

ГОСТ 23752-79 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Общие технические условия

ГОСТ 27.002-83 Надежность в технике. Термины и определения

ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення

ГОСТ 28884-90 РЯДЫ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		114

ГОСТ 29137-91 ФОРМОВКА ВЫВОДОВ И УСТАНОВКА ИЗДЕЛИЙ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ Общие требования и
нормы конструирования

ГОСТ Р 50621-93 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ ОДНО- И ДВУСТОРОННИЕ С
НЕМЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ Общие технические
требования

ДСТУ 3008:2015 ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ Структура та правила
оформлювання

ДСТУ 2646-94 ПЛАТИ ДРУКОВАНІ Терміни та визначення

ОСТ 4.010.022 – 85 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Методы конструирования и расчёта

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						115
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічне завдання на проектування

1. Найменування та галузь використання

Пристрій відображення поточного часу з додатковими функціями.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно з наказом № 1196-с від 25.05.2020 року

3. Мета і призначення розробки

Метою є розробка пристрою, котрий належить до стаціонарної РЕА, основною функцією котрого є відображення значення поточного часу, з набором додаткових функцій та характеристик.

4. Джерела розробки.

Джерелами розробки є технічна документація до елементної бази, котра використана в схемі електричній принциповій пристрою.

5. Технічні вимоги

5.1. Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється

Пристрій складається з друкованого вузла та елементів конструкції, з'єднаних між собою.

5.2. Показники призначення

Пристрій повинен забезпечувати:

- наявність функції відображення значення поточного часу в словесному форматі;
- наявність функції календаря та відображення значення поточної дати;
- наявність можливості ручного налаштування поточних значень дати та часу;

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						116
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- наявність функції вимірювання та відображення поточних значень температури, вологості та тиску;
- наявність функції автоматичного підлаштування яскравості індикації, залежно від рівня освітленості в приміщенні;
- наявність функції автоматичної періодичної синхронізації часу з NTP-сервером по Wi-Fi;
- наявність можливості відображення поточних показів датчиків температури, вологості та тиску на веб-сторінці керування пристроєм;
- наявність можливості здійснення віддаленого конфігурування параметрів роботи пристрою на веб-сторінці керування пристроєм;

5.3. Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову повинен бути не менше 10000 год.

5.4. Вимоги до технологічності

Орієнтовані на використання сучасної компонентної бази.

5.5. Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне застосування стандартних, уніфікованих деталей та виробів.

5.6. Вимоги безпеки обслуговування

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

5.7. Вимоги до складальних частин виробу, сировини, вихідних й експлуатаційних матеріалів

Для виробництва пристрою використовують матеріали імпортного виробництва.

5.8. Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						117
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Пристрій належить до стаціонарної РЕА.

5.9. Вимоги до транспортування і зберігання

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря $+5 \dots +40$ °С, відносна вологість повітря 60% при 20 °С (середньорічне значення), атмосферний тиск 84 ... 106 кПа.

Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

5.10. Додаткові технічні вимоги

Технічні характеристики:

Габаритні розміри	180x180 мм
Маса	Не більше 800 г
Живлення	5 В, 1 А

6. Результати роботи

5.1. Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його налагодження й подальшого впровадження в серійне виробництво.

5.2. Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

6. Робота повинна містити в собі документи:

- Пояснювальну записку (формату А4, до 200 аркушів)
- Схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А4 відповідно)

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						118
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- Складальне креслення та специфікацію (формату А0, А4 відповідно)
- Креслення друкованої плати (формату А0)
- Додатки (формату А4)

8. Економічні показники

В умовах даного проекту не розглядаються.

					ДК61.403272.001 ПЗ	Аркуш
						119
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б

1. Необхідні для початку роботи з модулем RTC структури даних.

Для зручної роботи з модулем годинника реального часу, було вирішено створити структури даних, поля яких міститимуть значення дати та часу.

```
typedef struct s_RTC_struct_full {
    uint8_t year_tens;        // 20[1]9
    uint8_t year_units;       // 20[1]9
    uint8_t week_day;         // 001 for Monday, 111 for Sunday
    uint8_t month_tens;       // [1]2
    uint8_t month_units;      // 1[2]
    uint8_t date_tens;        // [2]5
    uint8_t date_units;       // 2[5]
    uint8_t hour_tens;        // [0]0
    uint8_t hour_units;       // 0[0]
    uint8_t minute_tens;      // [0]3
    uint8_t minute_units;     // 0[3]
    uint8_t second_tens;      // [1]5
    uint8_t second_units;     // 1[5]
} RTC_struct_full;
```

```
typedef struct s_RTC_struct_brief {
    uint8_t years;            // 2019
    uint8_t week_day;        // 001 for Monday, 111 for Sunday
    uint8_t months;          // 12
    uint8_t date;            // 25
    uint8_t hours;           // 0
    uint8_t minutes;         // 03
    uint8_t seconds;         // 15
} RTC_struct_brief;
```

Структура `RTC_struct_full` призначена для зберігання значень дати та часу в «розширеному» форматі — десятки — окремо, одиниці — окремо. Таке рішення впливає з того, що саме в такому, подібному, форматі — в двійково-десятковому коді — значення дати та часу зберігаються в регістрах модуля RTC.

Структура `RTC_struct_brief` призначена для зберігання значень дати та часу в «стислому» форматі — фактично, мається на увазі звичайний десятковий формат.

При записі значень дати та часу в регістри модуля RTC, використовується «повна» структура. При введенні значень дати та часу за допомогою пристроїв введення, для їх збереження використовується «стисла» структура — значення

з якої згодом, за потреби, переносяться в «повну» структуру, шляхом розділення їх за допомогою арифметичних операцій, на одиниці та десятки.

1. Функції для роботи з структурами даних, котрі зберігають значення дати та часу.

Для роботи з структурами даних `RTC_struct_full` та `RTC_struct_brief`, котрі зберігають значення дати та часу, використовуються функції: `fill_struct_default`, `btn_fill_date_fields`, `fill_RTC_struct_full`.

1.1. Функція `fill_struct_default`.

```
void fill_struct_default(RTC_struct_brief volatile *br_data,
                        RTC_struct_full volatile *f_data)
{
    // default date: FRI 27.12.19 04:49:00
    f_data->year_tens = 0x1;
    f_data->year_units = 0x9;
    f_data->week_day = 0x5;
    f_data->month_tens = 0x1;
    f_data->month_units = 0x2;
    f_data->date_tens = 0x2;
    f_data->date_units = 0x7;
    f_data->hour_tens = 0x0;
    f_data->hour_units = 0x4;
    f_data->minute_tens = 0x4;
    f_data->minute_units = 0x9;
    f_data->second_tens = 0x0;
    f_data->second_units = 0x0;

    br_data->years = 0x19;
    br_data->week_day = 0x5;
    br_data->months = 0x12;
    br_data->date = 0x27;
    br_data->hours = 0x04;
    br_data->minutes = 0x49;
    br_data->seconds = 0x00;
}
```

Як видно, дана функція реалізує заповнення відповідних полів структур `RTC_struct_brief` та `RTC_struct_full` значеннями, що являють початкові значення часу «за замовчуванням». Як можна бачити, поля «повної» структури заповнюються окремо одиницями та десятками значень часу.

1.2. Функція btn_fill_date_fields.

```
void btn_fill_date_fields(RTC_struct_brief volatile *br_data, uint32_t field_cnt,
int32_t add_sub, uint32_t is_alarm_cfg, uint32_t is_clock_cfg)
{
    if (is_alarm_cfg)
    {
        switch(field_cnt)
        {
            case 0:
                br_data->date = (br_data->date >= 1 && br_data->date <= 30) ?
(br_data->date + add_sub) : 1;
                break;
            case 1:
                br_data->hours = (br_data->hours <= 22) ? (br_data->hours +
add_sub) : 0;
                break;
            case 2:
                br_data->minutes = (br_data->minutes <= 58) ? (br_data-
>minutes + add_sub) : 0;
                break;
            default:
                br_data->date = br_data->date;
                br_data->hours = br_data->hours;
                br_data->minutes = br_data->minutes;
        }
    }
    else if (is_clock_cfg)
    {
        switch(field)          // switch(field_cnt) – варіант для окремого
                                // використання
                                // даної функції – в даному випадку такий варіант
                                // працює,
                                // так як field – це глобальна змінна, що передається в
                                // програмі в якості аргумента field_cnt
        {
            case 0:
                br_data->week_day = (br_data->week_day >= 1 && br_data-
>week_day <= 6) ? (br_data->week_day + add_sub) : 1;
                break;
            case 1:
                br_data->hours = (br_data->hours <= 22) ? (br_data->hours +
add_sub) : 0;
                break;
            case 2:
                br_data->minutes = (br_data->minutes <= 58) ? (br_data-
>minutes + add_sub) : 0;
                break;
            case 3:
                br_data->seconds = (br_data->seconds <= 58) ? (br_data-
>seconds + add_sub) : 0;
                break;
            case 4:
                br_data->date = (br_data->date >= 1 && br_data->date <= 30) ?
(br_data->date + add_sub) : 1;
                break;
        }
    }
}
```

```

        break;
    case 5:
        br_data->months = (br_data->months >= 1 && br_data->months <=
11) ? (br_data->months + add_sub) : 1;
        break;
    case 6:
        br_data->years = (br_data->years <= 98) ? (br_data->years +
add_sub) : 0;
        break;

    default:
        br_data->week_day = br_data->week_day;
        br_data->hours = br_data->hours;
        br_data->minutes = br_data->minutes;
        br_data->seconds = br_data->seconds;
        br_data->date = br_data->date;
        br_data->months = br_data->months;
        br_data->years = br_data->years;
    }
}
}

```

Ця функція необхідна для «проходу» по полях структури типу `RTC_struct_brief`, щоб заповнити їх значеннями, котрі користувач вводить за допомогою кнопки, з перевіркою введених значень на допустимі діапазони значень часу.

Аргумент функції `field_cnt` являє собою змінну-лічильник, що збільшується на 1 після налаштування значення кожного з полів дати та часу, `add_sub` — аргумент, котрий визначає те, відбуватиметься інкремент чи декремент поточного значення поля дати та часу — `add_sub` має приймати значення «1» або «-1» при передачі в дану функцію. Аргумент `is_alarm_cfg` встановлюється рівним «1», коли відбувається введення користувачем тільки тих значень дати та часу, котрі необхідні для налаштування часу спрацювання будильника — це, в даному випадку, значення дати, годин та хвилин. Аргумент `is_clock_cfg` встановлюється рівним «1», коли потрібно заповнити відповідну структуру значеннями усіх полів регістрів дати та часу — вводячи, за допомогою пристроїв введення, послідовно значення років, місяців, дати, дня тижня, годин, хвилин та секунд.

Всі значення вводяться в звичайному десятковому форматі, і згодом, за допомогою відповідної функції — `fill_RTC_struct_full` — розбиваються, за

потреби, на значення одиниць та десятків відповідних полів дати та часу, щоб в такому вигляді внести їх в реєстри модуля RTC.

1.3. Функція fill_RTC_struct_full.

```
void fill_RTC_struct_full(RTC_struct_brief volatile *br_data, RTC_struct_full volatile
*f_data, uint32_t is_clock_cfg_mode)
{
    // get brief data format --> fill full data format
    // is_clock_cfg_mode == 0 --> alarm_cfg mode --> need only date, hour and minute
    tens/units

    f_data->year_tens = (is_clock_cfg_mode) ? (br_data->years / 10) : (f_data-
>year_tens);
    f_data->year_units = (is_clock_cfg_mode) ? (br_data->years - (f_data->year_tens *
10)) : (f_data->year_units);

    f_data->week_day = (is_clock_cfg_mode) ? br_data->week_day : (f_data->week_day);

    f_data->month_tens = (is_clock_cfg_mode) ? (br_data->months / 10) : (f_data-
>month_tens);
    f_data->month_units = (is_clock_cfg_mode) ? (br_data->months - (f_data-
>month_tens * 10)) : (f_data->month_units);

    f_data->date_tens = br_data->date / 10;
    f_data->date_units = (br_data->date - (f_data->date_tens * 10));

    f_data->hour_tens = br_data->hours / 10;
    f_data->hour_units = (br_data->hours - (f_data->hour_tens * 10));

    f_data->minute_tens = br_data->minutes / 10;
    f_data->minute_units = (br_data->minutes - (f_data->minute_tens * 10));

    f_data->second_tens = (is_clock_cfg_mode) ? (br_data->seconds / 10) : (f_data-
>second_tens);
    f_data->second_units = (is_clock_cfg_mode) ? (br_data->seconds - (f_data-
>second_tens * 10)) : (f_data->second_units);
}
```

Дана функція необхідна для того, щоб заповнити поля структури типу fill_RTC_struct_full значеннями дати та часу, котрі беруться зі структури типу RTC_struct_brief, за принципом, що залежить від значення вхідного аргументу is_clock_cfg_mode. Загалом, дана структура типу fill_RTC_struct_full містить значення дати та часу, які згодом зберігаються в реєстрах дати та часу модуля RTC при налаштуванні значень поточного часу, або ж при налаштуванні значень дати та часу спрацювання сигналу будильника (Alarm A, в даному випадку). При цьому, за рахунок того, що при налаштуванні роботи режиму

Alarm A, було налаштовано маскування певних можливих полів дати та часу, значення яких ігноруватиметься при порівнянні налаштованого значення та поточного значення лічильника для режиму Alarm A, в підсумку — для налаштування дати та часу спрацювання будильника, необхідно вказати тільки значення десятків дати, одиниць дати, десятків годин, одиниць годин, десятків хвилин, одиниць хвилин. Відповідно, немає потреби в виконанні зайвих перетворень, тому в такому випадку, значення «зайвих» полів просто перезаписується старим значенням.

2. Початкова ініціалізація-запуск роботи модуля RTC.

```
void RTC_init(void)
{
    // Перш за все, перевіряємо прапорець INITS в регістрі RTC_ISR,
    // щоб переконатись в тому, що модуль не є уже налаштованим,
    // і що дійсно є сенс проводити процедуру ініціалізації його роботи
    if (RTC->ISR & RTC_ISR_INITS)
    {
        return;
    }

    // дозвіл тактування модуля PWR
    RCC->APB1ENR |= RCC_APB1ENR_PWREN;

    // дозвіл доступу і запису в область backup-регістрів RTC,
    // які є захищеними від запису
    PWR->CR |= PWR_CR_DBP;

    // виконається тільки при першій ініціалізації – скидання значень
    // в backup-регістрах при першому запуску модуля
    if (!(RCC->BDCR & RCC_BDCR_RTCEN))
    {
        // скидання значень в backup-регістрах
        RCC->BDCR |= RCC_BDCR_BDRST;
        RCC->BDCR &= ~RCC_BDCR_BDRST;
    }

    // запуск LSE – зовнішнє низькочастотне джерело тактування
    RCC->BDCR |= RCC_BDCR_LSEON;

    // чекаємо, поки LSE запуститься, про що сповістить прапорцем «READY»
    while (!(RCC->BDCR & RCC_BDCR_LSERDY));

    // вибираємо LSE в якості джерела тактування для модуля RTC
    RCC->BDCR |= RCC_BDCR_RTCSEL_0;
    RCC->BDCR &= ~RCC_BDCR_RTCSEL_1;

    // вмикаємо модуль RTC
```

```

RCC->BDCR |= RCC_BDCR_RTCEN;

// функція для налаштування wakeur-режиму
RTC_auto_wakeup_enable();
// функція для налаштування Alarm-режиму
RTC_alarm_init();
// функція для початкового налаштування
// регістрів дати та часу (вибір формату 12/24 і т.п.)
RTC_data_init();
}

```

3. Конфігурація роботи модуля RTC, налаштування формату відображення часу.

```

void RTC_data_init(void)
{
    // знімаємо захист від запису в регістри модуля RTC шляхом послідовного
    // запису даних значень в регістр RTC_WPR
    RTC->WPR = 0xCA;
    RTC->WPR = 0x53;

    // входимо в режим ініціалізації – лічильник модуля RTC при цьому зупиняється,
    // і ми можемо оновити значення дати та часу вручну
    RTC->ISR |= RTC_ISR_INIT;

    // поллінг (опитування) прапорця INITF,
    // котрий сигналізує про активацію режиму ініціалізації
    while (!(RTC->ISR & RTC_ISR_INITF));

    // налаштування значення синхронного переддільника
    RTC->PRER |= 0xFF; // 255

    // налаштування значення асинхронного переддільника,
    // окремою інструкцією запису – з ціллю отримати сигнал
    // з частотою 1 Гц з вхідного сигналу тактування модуля RTC – загалом,
    // ці значення є табличними і наводяться в документації
    RTC->PRER |= (0x7F << 16); // 127

    // очистимо регістри дати та часу
    RTC->TR = 0x00000000;
    RTC->DR = 0x00000000;

    // вибір 24-годинного формату – біт FMT == 0 в регістрі RTC_CR
    RTC->CR &= ~RTC_CR_FMT;

    // виходимо з режиму ініціалізації, при цьому регістри дати та часу оновлюються
    // відповідно до заданих вище значень
    RTC->ISR &= ~RTC_ISR_INIT;

    // активуємо захист регістрів модуля RTC від запису, шляхом запису в регістр WPR
    // значення, що відмінне від «0xCA» та «0x53»
    RTC->WPR = 0xFF;
}

```

Фактично, замість значення 0xFF, котре записується в регістр WPR, для активації захисту регістрів модуля RTC від запису, можна використати будь-яке інше значення — воно має бути відмінним від значень, котрі використовуються для зняття даного блокування — так як запис будь-якого відмінного від цих значень, значення, призводить до активації цього захисту.

4. Налаштування-оновлення поточних значень дати та часу.

```
void RTC_data_update(RTC_struct_full volatile *f_data)
{
    // змінні, що зберігатимуть значення часу та дати
    uint32_t time_value, date_value;
    // очищуємо ці змінні
    // (фактично, можна було б і просто прирівняти їх до нуля
    // (ініціалізувати нулем), наприклад)
    time_value = time_value ^ time_value;
    date_value = date_value ^ date_value;

    // знімаємо захист від запису в регістри модуля RTC, шляхом послідовного
    // запису в регістр WPR наступних значень
    RTC->WPR = 0xCA;
    RTC->WPR = 0x53;

    // входимо в режим ініціалізації, що зупиняє лічильник модуля RTC
    RTC->ISR |= RTC_ISR_INIT;

    // чекаємо активації режиму ініціалізації
    while (!(RTC->ISR & RTC_ISR_INITF));

    // налаштування значення синхронного переддільника вхідного тактового сигналу,
    // згідно документації
    RTC->PRER |= 0xFF; // 255

    // налаштування значення асинхронного переддільника вхідного тактового сигналу,
    // згідно документації
    RTC->PRER |= (0x7F << 16); // 127
    // очищуємо значення в регістрі часу
    RTC->TR = 0x00000000;

    // вносимо потрібні значення в змінну, що зберігає значення часу,
    // за допомогою зсуву на необхідну
    // позицію в цій змінній
    // значення часу беруться з структури типу RTC_struct_full
    time_value |= ((f_data->hour_tens << RTC_TR_HT_Pos) | (f_data->hour_units <<
    RTC_TR_HU_Pos) | (f_data->minute_tens << RTC_TR_MNT_Pos) | (f_data->minute_units <<
    RTC_TR_MNU_Pos));
    time_value |= ((f_data->second_tens << RTC_TR_ST_Pos) | (f_data->second_units <<
    RTC_TR_SU_Pos));

    // записуємо значення зі змінної, що зберігає значення часу, в регістр часу
```

```

RTC->TR = time_value;

// очищуємо значення в регістрі дати
RTC->DR = 0x00000000;

// вносимо потрібні значення в змінну, що зберігає значення дати,
// за допомогою зсуву на необхідну
// позицію в цій змінній
// значення часу беруться з структури типу RTC_struct_full
date_value |= ((f_data->year_tens << RTC_DR_YT_Pos) | (f_data->year_units <<
RTC_DR_YU_Pos) | (f_data->week_day << RTC_DR_WDU_Pos) | (f_data->month_tens <<
RTC_DR_MT_Pos) | (f_data->month_units << RTC_DR_MU_Pos) | (f_data->date_tens <<
RTC_DR_DT_Pos) | (f_data->date_units << RTC_DR_DU_Pos));

// записуємо значення зі змінної, що зберігає значення дати, в регістр дати
RTC->DR = date_value;

// вибір 24-годинного формату часу
RTC->CR &= ~RTC_CR_FMT;

// вихід з режиму ініціалізації
RTC->ISR &= ~RTC_ISR_INIT;

// активуємо захист запису в регістри модуля RTC
RTC->WPR = 0xFF;
}

```

5. Запит та отримання значень поточних дати та часу.

```

void RTC_get_time(RTC_struct_brief volatile *br_data)
{
    // загалом, модуль влаштований таким чином, що регістри дати, часу
    // та subsecond-регістр, що містить частини секунд – RTC_DR, RTC_TR та RTC_SSR –
    // це так звані «тіньові регістри», що дублюють регістри основного лічильника
    // модуля
    // відповідно, кожні два такти частоти тактування модуля RTC відбувається
    // операція копіювання значень з регістрів лічильника в ці тіньові регістри
    // за допомогою даної операції відбувається перевірка того, чи вдало пройшло
    // копіювання значень дати та часу в тіньові регістри, і чи актуальні там
    // значення (чи синхронізованими є ці значення)
    while (!(RTC->ISR & RTC_ISR_RSF));    // Calendar shadow registers synchronized

    // буферні змінні під значення дати та часу
    uint32_t TR_buf = 0, DR_buf = 0;

    // заносимо в буферну змінну значення з регістру часу
    TR_buf = (RTC->TR);

    // значення в регістрі часу та дати зберігаються в BCD-форматі,
    // де одиниці і десятки числа зберігаються окремо, відповідно,
    // спершу необхідно очистити зайві біти в регістрі, шляхом застосування
    // операції (RTC->DR & RTC_DR_DT) (для Data Tens – десятків значення дати)
    // (побітове і), і тоді,
    // за допомогою зсувів можна виокремити десятки та одиниці числа,

```

```

// помножити число «десятки» на 10, додати до числа «одиниці»,
// і, таким чином, перейти до звичного десяткового запису значення дати та часу

// заповнюємо поля структури-приймача типу RTC_struct_brief отриманими
// в результаті арифметичних перетворень значеннями, в звичайному
// десятковому вигляді
br_data->hours = (((TR_buf & RTC_TR_HT) >> RTC_TR_HT_Pos) * 10) + ((TR_buf &
RTC_TR_HU) >> RTC_TR_HU_Pos));
br_data->minutes = (((TR_buf & RTC_TR_MNT) >> RTC_TR_MNT_Pos) * 10) + ((TR_buf &
RTC_TR_MNU) >> RTC_TR_MNU_Pos));
br_data->seconds = (((TR_buf & RTC_TR_ST) >> RTC_TR_ST_Pos) * 10) + ((TR_buf &
RTC_TR_SU) >> RTC_TR_SU_Pos));

// заносимо в буферну змінну значення дати
DR_buf = (RTC->DR);

// аналогічно, конвертуємо значення дати в десятковий вигляд, і заносимо
// їх в поля відповідної структури
br_data->years = (((DR_buf & RTC_DR_YT) >> RTC_DR_YT_Pos) * 10) + ((DR_buf &
RTC_DR_YU) >> RTC_DR_YU_Pos));
br_data->months = (((DR_buf & RTC_DR_MT) >> RTC_DR_MT_Pos) * 10) + ((DR_buf &
RTC_DR_MU) >> RTC_DR_MU_Pos));
br_data->date = (((DR_buf & RTC_DR_DT) >> RTC_DR_DT_Pos) * 10) + ((DR_buf &
RTC_DR_DU) >> RTC_DR_DU_Pos));
br_data->week_day = ((DR_buf & RTC_DR_WDU) >> RTC_DR_WDU_Pos);

// сигналізуємо про успішну операцію отримання значень дати та часу
time_get_done = 1;
}

```

Варто також відмітити те, що при зчитуванні значень в регістрів дати та часу, необхідно послідовно зчитувати значення **обох** регістрів.

6. Початкова ініціалізація роботи режиму будильника (Alarm).

```

void RTC_alarm_init(void)
{
    // знімаємо захист регістрів модуля RTC від запису
    RTC->WPR = 0xCA;
    RTC->WPR = 0x53;

    // вимикаємо Alarm A
    RTC->CR &= ~RTC_CR_ALRAE;

    // чекаємо, поки встановиться прапорець дозволу запису в регістр RTC_ALRMAR
    while (!(RTC->ISR & RTC_ISR_ALRAWF));

    // маскуємо поля дати, годин, хвилин, секунд, котрі не будуть
    // враховуватись при порівнянні з заданими значеннями дати та часу
    // спрацювання сигналу Alarm A
    // задаємо потребу співпадіння дати
    RTC->ALRMAR &= ~RTC_ALRMAR_MSK4; // 0: Alarm A set if the date/day match
}

```

```

// задаємо потребу співпадіння годин
RTC->ALRMAR &= ~RTC_ALRMAR_MSK3; // 0: Alarm A set if the hours match
// задаємо потребу співпадіння хвилин
RTC->ALRMAR &= ~RTC_ALRMAR_MSK2; // 0: Alarm A set if the minutes match
// задаємо відсутність потреби співпадіння секунд
RTC->ALRMAR |= RTC_ALRMAR_MSK1; // 1: Seconds don't care in Alarm A comparison

// поле DU[3:0] в регістрі RTC_ALRMAR буде вказувати на дату (WDSEL == 0),
// а не на день тижня (WDSEL == 1)
RTC->ALRMAR &= ~RTC_ALRMAR_WDSEL; // DU[3:0] field represents the date units
// вибір 24-годинного формату
RTC->ALRMAR &= ~RTC_ALRMAR_PM; // 0: AM or 24-hour format

// дозвіл генерації переривання RTC Alarm interrupt на лінії EXTI Line 17
// дозвіл тактування системного контролера SYSCFG
// (System configuration controller) через шину APB2
if (!(RCC->APB2ENR & RCC_APB2ENR_SYSCFGEN))
{
    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SYSCFGEN;
}
// знімаємо маску переривання з лінії 17
EXTI->IMR |= EXTI_IMR_IM17; // interrupt request mask - IM17 is not masked
now
// спрацювання переривання по передньому фронту на лінії 17
EXTI->RTSR |= EXTI_RTSTR_TR17; // rising edge trigger enabled for EXTI line 17

// дозвіл генерування переривання по спрацюванню сигналу Alarm A в NVIC
NVIC_EnableIRQ(RTC_Alarm_IRQn); // enable the RTC_Alarm IRQ channel in the NVIC
// очищуємо pending flag переривання Alarm A
NVIC_ClearPendingIRQ(RTC_Alarm_IRQn);
// найвищий пріоритет
NVIC_SetPriority(RTC_Alarm_IRQn, 0); // highest priority

// активуємо переривання по спрацюванню сигналу Alarm A
RTC->CR |= RTC_CR_ALRAIE;

// активуємо захист від запису регістрів модуля RTC
RTC->WPR = 0xFF;

// глобальний дозвіл переривань
__enable_irq(); // global interrupts enable
}

```

7. Налаштування-оновлення значень дати та часу спрацювання сигналу будильника.

```

void RTC_alarm_update(RTC_struct_full volatile *f_data)
{
    // знімаємо захист від запису регістрів модуля RTC
    RTC->WPR = 0xCA;
    RTC->WPR = 0x53;

    // деактивуємо спрацювання сигналу Alarm A
    RTC->CR &= ~RTC_CR_ALRAE;
}

```

```

// чекаємо, поки встановиться прапорець дозволу запису в регістр RTC_ALRMAR
while (!(RTC->ISR & RTC_ISR_ALRAWF));

// вносимо необхідні значення десятків дати в регістр дати та часу
// спрацювання сигналу Alarm A
RTC->ALRMAR |= (f_data->date_tens << RTC_ALRMAR_DT_Pos); // Bits 29:28 DT[1:0]:
Date tens in BCD format
// вносимо необхідні значення одиниць дати в регістр дати та часу
// спрацювання сигналу Alarm A
RTC->ALRMAR |= (f_data->date_units << RTC_ALRMAR_DU_Pos); // Bits 27:24 DU[3:0]:
Date units or day in BCD format.
// вносимо необхідні значення десятків годин в регістр дати та часу
// спрацювання сигналу Alarm A
RTC->ALRMAR |= (f_data->hour_tens << RTC_ALRMAR_HT_Pos); // Bits 21:20 HT[1:0]:
Hour tens in BCD format
// вносимо необхідні значення одиниць годин в регістр дати та часу
// спрацювання сигналу Alarm A
RTC->ALRMAR |= (f_data->hour_units << RTC_ALRMAR_HU_Pos); // Bits 19:16 HU[3:0]:
Hour units in BCD format.
// вносимо необхідні значення десятків хвилин в регістр дати та часу
// спрацювання сигналу Alarm A
RTC->ALRMAR |= (f_data->minute_tens << RTC_ALRMAR_MNT_Pos); // Bits 14:12
MNT[2:0]: Minute tens in BCD format.
// вносимо необхідні значення одиниць хвилин в регістр дати та часу
// спрацювання сигналу Alarm A
RTC->ALRMAR |= (f_data->minute_units << RTC_ALRMAR_MNU_Pos); // Bits 11:8
MNU[3:0]: Minute units in BCD format.

// активуємо спрацювання сигналу Alarm A
RTC->CR |= RTC_CR_ALRAE;

// дозвіл генерації переривання RTC Alarm interrupt на лінії EXTI Line 17
// дозвіл тактування системного контролера SYSCFG
// (System configuration controller) через шину APB2
if (!(RCC->APB2ENR & RCC_APB2ENR_SYSCFGEN))
{
    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SYSCFGEN;
}
// знімаємо маску переривання з лінії 17
EXTI->IMR |= EXTI_IMR_IM17; // interrupt request mask - IM17 is not masked
now
// спрацювання переривання по передньому фронту на лінії 17
EXTI->RTSR |= EXTI_RTSTR_TR17; // rising edge trigger enabled for EXTI line 17

// дозвіл генерування переривання по спрацюванню сигналу Alarm A в NVIC
NVIC_EnableIRQ(RTC_Alarm_IRQn); // enable the RTC_Alarm IRQ channel in the NVIC
// очищуємо pending flag переривання Alarm A
NVIC_ClearPendingIRQ(RTC_Alarm_IRQn);
// найвищий пріоритет
NVIC_SetPriority(RTC_Alarm_IRQn, 0); // highest priority

// активуємо переривання по спрацюванню сигналу Alarm A
RTC->CR |= RTC_CR_ALRAIE;

```

```

// активуємо захист від запису регістрів модуля RTC
RTC->WPR = 0xFF;

// глобальний дозвіл переривань
__enable_irq();    // global interrupts enable
}

```

8. Деактивація запланованого сигналу будильника.

```

void RTC_alarm_disable(void)
{
    // прирівнюємо до нуля значення, що міститься в глобальній змінній
    // котра сигналізує про активність сигналу Alarm A
    alarm_enable = 0;    // clear enable flag

    // знімаємо захист від запису регістрів модуля RTC
    RTC->WPR = 0xCA;
    RTC->WPR = 0x53;

    // вимикаємо Alarm A
    RTC->CR &= ~RTC_CR_ALRAE;

    // чекаємо, поки встановиться прапорець дозволу запису в регістр RTC_ALRMAR
    while (!(RTC->ISR & RTC_ISR_ALRAWF));

    // за допомогою XOR очищуємо поля регістру RTC_ALRMAR,
    // котрі містять значення дати та часу спрацювання сигналу Alarm A
    RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_DU ^ RTC_ALRMAR_DU);    // Bits 27:24 DU[3:0]: Date
units or day in BCD format.
    RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_HT ^ RTC_ALRMAR_HT);    // Bits 21:20 HT[1:0]: Hour
tens in BCD format
    RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_HU ^ RTC_ALRMAR_HU);    // Bits 19:16 HU[3:0]: Hour
units in BCD format.
    RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_MNT ^ RTC_ALRMAR_MNT);    // Bits 14:12 MNT[2:0]:
Minute tens in BCD format.
    RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_MNU ^ RTC_ALRMAR_MNU);    // Bits 11:8 MNU[3:0]: Minute
units in BCD format.

    // активуємо захист від запису регістрів модуля RTC
    RTC->WPR = 0xFF;
}

```

11. Обробка переривань, що генеруються при спрацюванні сигналу будильника.

```

void RTC_Alarm_IRQHandler(void)
{
    // глобальна змінна-прапорець, що сигналізує про спрацювання сигналу Alarm A
    is_alarm = 1;    // display

    // знімаємо захист від запису регістрів модуля RTC
    RTC->WPR = 0xCA;
    RTC->WPR = 0x53;
}

```

```

// вимикаємо Alarm A
RTC->CR &= ~RTC_CR_ALRAE;
// прирівнюємо до нуля значення, що міститься в глобальній змінній
// котра сигналізує про активність сигналу Alarm A
alarm_enable = 0;

// чекаємо, поки встановиться прапорець дозволу запису в регістр RTC_ALRMAR
while (!(RTC->ISR & RTC_ISR_ALRAWF));

// за допомогою XOR очищуємо поля регістру RTC_ALRMAR,
// котрі містять значення дати та часу спрацювання сигналу Alarm A
RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_DU ^ RTC_ALRMAR_DU);    // Bits 27:24 DU[3:0]: Date
units or day in BCD format.
RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_HT ^ RTC_ALRMAR_HT);    // Bits 21:20 HT[1:0]: Hour
tens in BCD format.
RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_HU ^ RTC_ALRMAR_HU);    // Bits 19:16 HU[3:0]: Hour
units in BCD format.
RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_MNT ^ RTC_ALRMAR_MNT);  // Bits 14:12 MNT[2:0]:
Minute tens in BCD format.
RTC->ALRMAR &= (RTC_ALRMAR_MNU ^ RTC_ALRMAR_MNU);  // Bits 11:8 MNU[3:0]: Minute
units in BCD format.

// активуємо захист від запису регістрів модуля RTC
RTC->WPR = 0xFF;

// очищуємо прапорець, котрий встановився в «1» при спрацюванні сигналу
// Alarm A
RTC->ISR &= ~RTC_ISR_ALRAF;    // flag is cleared by software by writing 0
// очищуємо pending flag
EXTI->PR |= EXTI_PR_PR17; // clear pending flag
}

```

12. Запит та отримання значень дати та часу спрацювання сигналу будильника.

```

void RTC_get_alarm(RTC_struct_brief volatile *br_data)
{
    // як і при отриманні поточних значень дати та часу, потрібно перевести
    // значення дати та часу спрацювання будильника, в десятковий вигляд
    // здійснюємо арифметичні операції, приводячи значення дати та часу до
    // десяткового вигляду, і вносимо отримані значення в поля структури
    // типу RTC_struct_brief
    br_data->date = (((RTC->ALRMAR & RTC_ALRMAR_DT) >> RTC_ALRMAR_DT_Pos) * 10) +
    ((RTC->ALRMAR & RTC_ALRMAR_DU) >> RTC_ALRMAR_DU_Pos));
    br_data->hours = (((RTC->ALRMAR & RTC_ALRMAR_HT) >> RTC_ALRMAR_HT_Pos) * 10) +
    ((RTC->ALRMAR & RTC_ALRMAR_HU) >> RTC_ALRMAR_HU_Pos));
    br_data->minutes = (((RTC->ALRMAR & RTC_ALRMAR_MNT) >> RTC_ALRMAR_MNT_Pos) * 10)
    + ((RTC->ALRMAR & RTC_ALRMAR_MNU) >> RTC_ALRMAR_MNU_Pos));

    // сигналізуємо про успішну операцію отримання значень дати та часу
    // спрацювання будильника
    alarm_get_done = 1;
}

```

13. Налаштування wakeup-режиму роботи модуля RTC.

```
void RTC_auto_wakeup_enable(void)
{
    // знімаємо захист від запису регістрів модуля RTC
    RTC->WPR = 0xCA;
    RTC->WPR = 0x53;

    // вмикаємо Wakeup-таймер
    RTC->CR &= ~RTC_CR_WUTE;

    // виконуємо опитування, поки не отримаємо підтвердження дозволу на запис в
    // регістр лічильника з автоматичним
    // перезавантаженням та зміну значення бітів WUCKSEL[2:0]
    while (!(RTC->ISR & RTC_ISR_WUTWF));

    // задаємо значення для Wakeup-лічильника –
    // період спрацювання = 1 Гц – прапорець готовності буде встановлюватись
    // кожен такт сигналу тактування регістрів модуля RTC, котра рівна 1 Гц
    RTC->WUTR &= ~RTC_WUTR_WUT;    // the WUTF flag is set every (WUT[15:0] + 1) =
    (0 + 1) = (1) ck_wut cycles

    // вибираємо джерело тактування для режиму Wakeup
    // вибираємо тактування від сигналу, котрий тактує основний лічильник модуля
    // RTC (сигнал тактування модуля RTC, котрий пройшов через всі переддільники)
    // (зазвичай, це сигнал з частотою 1 Гц)
    RTC->CR &= ~RTC_CR_WUCKSEL_1;    // 10x: ck_spre (usually 1 Hz) clock is selected
    RTC->CR |= RTC_CR_WUCKSEL_2;

    // дозвіл генерації переривання RTC Wakeup – використовується лінія EXTI Line 22
    if (!(RCC->APB2ENR & RCC_APB2ENR_SYSCFGEN))
    {
        RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SYSCFGEN;
    }

    // знімаємо маску переривання на лінії EXTI 22
    EXTI->IMR |= EXTI_IMR_IM22;    // interrupt request mask - IM22 is not masked
now
    // спрацювання по передньому фронту
    EXTI->RTSR |= EXTI_RTSR_TR22;    // rising edge trigger enabled for EXTI line 17

    // дозвіл генерування переривання по спрацюванню сигналу Alarm A в NVIC
    NVIC_EnableIRQ(RTC_WKUP_IRQn);    // enable the RTC_WKUP IRQ channel in the NVIC
    // очищуємо pending flag
    NVIC_ClearPendingIRQ(RTC_WKUP_IRQn);
    // найвищий пріоритет
    NVIC_SetPriority(RTC_WKUP_IRQn, 0);    // highest priority

    // активуємо генерування Wakeup-переривання
    RTC->CR |= RTC_CR_WUTIE;

    // активуємо Wakeup-лічильник
    RTC->CR |= RTC_CR_WUTE;
```

```

    // активуємо захист від запису регістрів модуля RTC
    RTC->WPR = 0xFF;

    // глобальний дозвіл переривань
    __enable_irq();    // global interrupts enable
}

```

14. Обробка переривань, що генеруються в wakeur-режимі роботи модуля RTC.

```

void RTC_WKUP_IRQHandler(void)
{
    // чекаємо, поки pending flag встановиться в «1»
    if(EXTI->PR & EXTI_PR_PR22)
    {
        // чекаємо, коли прапорець WUTF встановиться в «1», що свідчить про
        // те, що Wakeup-лічильник досяг заданого значення спрацювання
        // Wakeup-сигналу
        if(RTC->ISR & RTC_ISR_WUTF)
        {
            // програмно очищуємо прапорець WUTF
            RTC->ISR &= ~RTC_ISR_WUTF;

            // перевірка, чи активований в поточний момент часу
            // режим відображення поточного часу

            // Wakeup-режим в рамках проекту використовується для того, щоб
            // кожен 1 секунду оновлювати значення, котре виводиться
            // на дисплей
            if (clock_show_mode)
            {
                // дана змінна встановлюється в «1» з частотою 1 Гц,
                // що необхідно для періодичного оновлення даних на дисплеї
                clk_1hz = 1;
                // сигналізуємо про готовність виводу даних на дисплей –
                // таким чином, періодично оновлюємо дані на дисплеї
                LCD_show_ready = 1;
            }

            // очищуємо pending flag переривання, що свідчить про те
            // що вся необхідна робота в обробнику переривань була виконана
            EXTI->PR |= EXTI_PR_PR22; // clear pending flag
        }
    }
}

```

для реалізації цього процесу необхідно докласти чимало зусиль. Починаючи від створення технічного завдання на створення топографічної основи до виїздів на місцевість, шифрування, перевірки комунікацій та до здачі у Департамент містобудування та архітектури. У результаті якісно проведеної роботи ми отримаємо топографічну основу, що передається проектантам, які зможуть розпочати роботу над реконструкцією паркових зон.

Список використаних джерел:

1. Білокриницький, С.М. З ІСТОРІЇ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРИТОРІЇ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ. Географія, (633-634), 97–100.
2. Сисак, В.О., & Баршамина, Л.М. (2013). ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ПАРКОВОЇ СИСТЕМИ В УКРАЇНІ. Архітектурний вісник КНУБА. Вилучено з: https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/9540/1/avk_2013_1_31.pdf.
3. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» (Закон України). № 353-XIV. (2013). Вилучено з: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14/ed20130727>.
4. ІНФОРМАЦІЯ ЩОДО ПРИЙНЯТТЯ ТА ЗАНЕСЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ДО МІСТОБУДІВНОГО КАДАСТРУ м.КИЄВА. Вилучено з: <https://kga.gov.ua/inoformatsiya-shchodo-prijnyattya-ta-zanesennya-rezultativ-topografo-geodezichnikh-vishukuvan-do-mistobudivnogo-kadastru-m-kieva>.
5. Даценко, Л.М. & Гончаренко, О.С. (2019). Навчальний посібник ТОПОГРАФІЧНЕ КАРТОГРАФУВАННЯ. Вилучено з: http://www.geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/Topokart_Dazenko.pdf

DOI 10.36074/22.05.2020.v2.05

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ВІДОБРАЖЕННЯ ПОТОЧНОГО ЧАСУ З ДОДАТКОВИМИ ФУНКЦІЯМИ

Сільчук Віталій Іванович

ORCID ID: 0000-0002-7822-9054

здобувач вищої освіти факультету електроніки

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

Вступ. В стрімкому та насиченому подіями сучасному світі дуже важливою навичкою для людини є вміння грамотно планувати, розподіляти та ефективно використовувати свій час — тайм-менеджмент. При цьому, для точної синхронізації власних планів з іншими членами соціуму, можна прив'язати таке планування до значень всесвітнього часу, який є стандартним й однаковим для усього людства. Відповідно, в такому випадку, постає необхідність у пристрої, що буде виконувати функцію постійного ведення відліку цього часу та відображення його значення у поточний момент — котрим являється годинник.

Метою даної розробки є створення пристрою, основною функцією якого є відображення значення поточного часу, з набором додаткових функцій та характеристик, виділених шляхом аналізу функціоналу представлених на ринку пристроїв аналогічного призначення, котрі будуть актуальними та корисними для користувача; який відрізнятиметься компактністю, зручністю в користуванні, і буде розроблений з використанням сучасної елементної бази.

Аналіз ринку та формування вимог до функціоналу пристрою. Говорячи про класифікацію та різноманітність годинників, представлених на ринку, виходячи

з таких характеристик, як розмір та портативність, серед них можна виділити, зокрема, наручні, настільні та настінні годинники. Пристрій, що розробляється, належить до категорії електронних годинників, призначений для використання в побуті, і може використовуватись як в настільному, так і в настінному варіанті розміщення.

Електронний годинник — це годинник, функціональні вузли якого виконані на електронних елементах, в якому для відліку часу використовуються періодичні коливання електронного генератора, перетворені в дискретні сигнали, що повторюються через, наприклад, 1 секунду, і виводяться на цифрове табло, що відображає поточний час, а в деяких моделях — також і поточну дату. Елементна база таких пристроїв представлена інтегральними цифровими мікросхемами та електровакуумними, напівпровідниковими або рідкокристалічними індикаторами. Перші електронні годинники з'явилися в 1970-х роках, завдяки розвитку технологій та мікроелектроніки, ставши результатом покращення електронно-механічних конструкцій [1, 2]. Розвиток даної сфери продовжується і в наш час — звичні конструкції покращуються, а їх функціонал значно розширюється наявністю різноманітних датчиків (температури, тиску, вологості тощо), підтримкою технологій Wi-Fi та Bluetooth.

Вимоги до функціоналу розробки можуть бути сформовані шляхом аналізу сучасного стану ринку на предмет наявності пристроїв аналогічного призначення, та виокремленні, на основі отриманої вибірки, мінімального списку функцій, які для них характерні, та додаткових функцій, котрі є актуальними на даний час, і мають бути включеними до функціоналу об'єкту проектування для виділення його серед подібних та забезпечення гарної конкурентоспроможності.

В результаті аналізу асортименту аналогів, представленого на таких інтернет-ресурсах, як Rozetka, Allo, Amazon, можна зробити висновок, що до основних — мінімальних — функціональних можливостей, які зустрічаються в електронних годинниках, і які мають бути передбаченими в розроблюваному пристрої, можна віднести:

- відображення значення поточного часу;
- функція календаря та відображення значення поточної дати;
- функція будильника;
- можливість ручного налаштування поточних значень дати та часу;

Окрім цього, доволі поширеною серед аналогів функцією є вимірювання та відображення таких даних, як поточна температура та вологість у приміщенні.

Аналіз аналогів може бути здійсненим також за шляхом безпосередньої реалізації їх функціоналу — зокрема, способу відображення інформації, реалізації функції автоматичної синхронізації часу, реалізації ведення відліку часу.

Так, аналізуючи способи реалізації індикації інформації, котрі зустрічаються в представлених на ринку пристроях в наш час, можна виділити серед них наступні:

- використання семисегментних світлодіодних індикаторів — недоліком такого типу індикації є те, що тип та кількість інформації, що відображається, є обмеженими, перевагами — контрастність відображення інформації, широкий діапазон робочих температур та низька вартість;

- використання дисплеїв — рідкокристалічних, OLED. До переваг рідкокристалічних дисплеїв можна віднести малу споживану потужність та великий термін служби, до недоліків — потреба в зовнішньому джерелі світла та вузький діапазон робочих температур (0°C — +50°C). Перевагами OLED-дисплеїв є невисоке енергоспоживання, недоліки — відносно висока ціна та «вигоряння» пікселів;

- використання газорозрядних індикаторів — індикатори такого типу характеризуються високою надійністю, гарною контрастністю та яскравістю зображення, а також відносно великими розмірами символів. Недолік використання газорозрядних індикаторів полягає в необхідності забезпечення наявності джерела відносно високої напруги для їх живлення (в складній пускорегулюючій апаратурі), а також в їх високій вартості, низькій стійкості до фізичних впливів;

- використання світлодіодних матриць — перевагами такого способу є велика кількість символів, що можуть бути відображені, а також широка їх різноманітність, що залежить від роздільної здатності таких індикаторів (розмірів матриці), недоліки — складність керування, висока ціна, менша надійність за рахунок великої кількості елементів;

Синхронізація часу в досліджених пристроях реалізовується наступним чином:

- використання GPS-модулів для періодичної синхронізації значення часу — даний спосіб має такі недоліки, як високе енергоспоживання відповідних модулів, можливі проблеми з якістю роботи в приміщеннях, потреба корегування отриманих значень часу згідно зміни літнього/зимового часу, а також згідно поточного часового поясу, в якому знаходиться користувач;

- використання радіомодуля DCF77 для періодичної синхронізації значення часу — передбачається прийом сигналів точного часу по радіозв'язку від передатчика DCF77, котрий знаходиться в Німеччині. До переваг такого способу можна віднести низьке енергоспоживання, до недоліків — залежність якості прийому сигналу від чутливості приймача, типу антени, що використовується, а також від наявності завад в точці прийому;

- використання мережевої синхронізації значення часу — синхронізація поточного значення часу з NTP-сервером за допомогою Wi-Fi модуля;

Ведення відліку часу в розглянутих пристроях реалізовується наступним чином:

- використання програмованих таймерів-лічильників всередині мікроконтролера — характеризується низькою точністю, так як такі таймери-лічильники являють собою RC-генератори, частота сигналу яких визначається значеннями параметрів резисторів та конденсаторів, котрі змінюються залежно від температури;

- використання RTC (Real-time clock) модулів — модулів годинника реального часу. Серед RTC-мікросхем, котрі найбільш широко використовуються, зокрема, в любительських проектах, можна виділити DS1307 (характеризується відносно невисокою точністю ведення відліку часу), а також DS3231 (є значно більш точним, ніж DS1302 та DS1307). Варто зазначити, що деякі серії мікроконтролерів, зокрема, сімейства STM32, містять в своєму складі апаратно реалізований модуль RTC, котрий позбавляє від необхідності використання сторонніх мікросхем для реалізації ведення відліку поточного часу — таким чином, вибір даного способу є найбільш оптимальним рішенням, так як дозволяє мінімізувати кількість компонентів пристрою і забезпечити гарну точність ведення відліку часу. Окрім цього, у модуля RTC в складі мікроконтролерів STM32 є наявною апаратна реалізація функцій будильника та календаря;

Також представлені на ринку пристрої можна розділити за форматом відображення часу:

- десятковий;
- двійково-десятковий (BCD);
- двійковий;
- словесний формат;

В умовах заповненості ринку електронними годинниками, котрі мають, загалом, фактично, незначні відмінності — схожі й одноманітні конструкцію, спосіб відображення інформації, параметри та набір функцій — гарним рішенням, яке забезпечить високу відмінність розроблюваного пристрою від наявних на ринку аналогів, буде вибрати досить непоширений та незвичний для загалу спосіб відображення часу. Таке рішення є доволі ґрунтовним, адже годинник, безумовно, окрім функції ведення відліку часу, являє собою також і елемент інтер'єру, тому його зовнішній вигляд — ергономічно-естетичні параметри — є важливим моментом та важливим фактором при здійсненні вибору для користувача.

Таким чином, для закладення в даному пристрої переваги в естетичному плані, є сенс реалізувати відображення значення поточного часу в словесному форматі, а не в звичному числовому. Даний формат відображення часу реалізований, наприклад, в годиннику QLOCKTWO Classic, зображеному на Рис. 1.



Рис.1 Годинник QLOCKTWO Classic з можливістю відображення значення часу в словесному форматі

Конструкція даного годинника складається, загалом, з трьох частин — зовнішньої та внутрішньої панелей, а також друкованої плати. Зовнішня панель містить в своїй структурі отвори у формі символів, на внутрішній панелі розміщуються джерела світла, живлення котрих забезпечується шляхом приєднання друкованої плати. Таким чином, запалюючи в потрібний момент часу потрібні світлодіоди — джерела світла, котрі розміщені на внутрішній панелі, над якою розміщена зовнішня панель, можна формувати певні слова — в даному випадку — значення часу в словесній формі, в чому і полягає принцип індикації інформації в даному пристрої.

Також, окрім наведених вище основних функцій, вирішено було передбачити в пристрої, що розробляється, наявність таких додаткових функцій, котрі наявні в деяких моделях подібних пристроїв, як:

- вимірювання та відображення поточних значень температури, вологості та тиску — шляхом використання відповідних спеціалізованих датчиків;

- автоматичне підлаштування яскравості індикації, залежно від рівня освітленості в приміщенні — шляхом використання відповідного спеціалізованого датчика освітленості;

- можливість автоматичної періодичної синхронізації часу з NTP-сервером по Wi-Fi — шляхом використання Wi-Fi модуля;

Використання в даному проекті Wi-Fi модуля дозволить, окрім реалізації функції автоматичної періодичної синхронізації часу з NTP-сервером по Wi-Fi, забезпечити також можливість відображення поточних показів датчиків температури, вологості та тиску на веб-сторінці керування, та можливість здійснення віддаленого конфігурування параметрів роботи пристрою на веб-сторінці керування пристроєм, котра зберігатиметься на веб-сервері, створеному на базі даного Wi-Fi модуля.

Опис реалізації. Розроблена структурна схема пристрою у пропонованому варіанті його реалізації наведена на Рис.2.

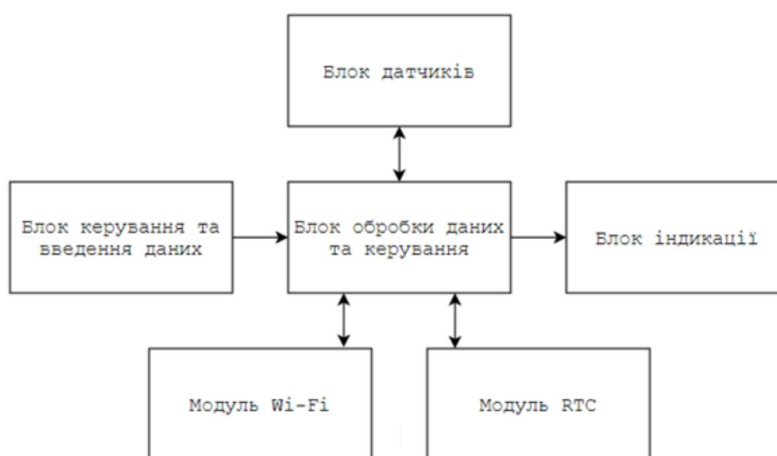


Рис.2 Структурна схема пристрою

Блок керування та введення даних реалізує функції ручного конфігурування роботи пристрою користувачем: налаштування поточних значень дати та часу, налаштування та активації/деактивації спрацювання сигналу будильника, вибору режиму роботи пристрою, налаштування яскравості, налаштування роботи модуля Wi-Fi. Даний блок представлений тактовими кнопками з самоповерненням, а також клавішними перемикачами.

Блок обробки даних та керування виконує обробку даних, що надходять від блоку керування та введення даних, обробку інформації з датчиків, обробку та перетворення значень поточного часу, отриманих від модуля RTC, а також від Wi-Fi модуля, і забезпечує виконання алгоритму роботи пристрою та відображення відповідної інформації за допомогою блоку індикації. В основу даного блоку можна покласти, наприклад, мікроконтролер (МК), програмовану користувачем вентиляну матрицю (FPGA), або ж одноплатний комп'ютер. Загалом, в рамках поставленого завдання, використання FPGA та одноплатних комп'ютерів не є виправданим, через їх високу ціну та загальну невідповідність їх сфер застосування застосуванню в даному пристрої. Тому вдалим рішенням в даному випадку буде використання мікроконтролера. При виборі МК, гарним рішенням є використання в даному проекті представників сімейства STM32, котрі є високопродуктивними, популярними й

поширеними на ринку та в проектах користувачів, недорогими та добре задокументованими, й котрі мають реалізований апаратно модуль годинника реального часу (RTC) — зокрема, серії F0, F2, F3, F4 та L1.

Блок індикації представлений світлодіодною матрицею та п'єзодинаміком, а також драйверами світлодіодної матриці та необхідною «обв'язкою», зокрема, для динаміка. Вибір використання світлодіодних матриць в якості засобів індикації впливає, в даному випадку, з влаштування передбаченої конструкції пристрою, котра була описана вище.

Блок датчиків представлений датчиками температури, вологості, тиску та освітлення. В результаті аналізу представлених на ринку рішень з точки зору співвідношення ціни, характеристик та популярності й поширеності у проектах користувачів, було вирішено задіяти в даному проекті модуль BME280, котрий являє собою датчик температури, вологості та тиску, і характеризується високою точністю вимірювань, надмалим енергоспоживанням, високою швидкістю інтерфейсу, а також, при цьому, використовує послідовний інтерфейс I2C (Inter-Integrated Circuit) в якості інтерфейсу підключення. Датчик освітленості необхідний для реалізації функції автоматичного підлаштування яскравості світлодіодної індикації в залежності від рівня освітленості в приміщенні, де розміщений розроблюваний пристрій, для забезпечення комфортності його використання користувачем. Найбільш оптимальним для вирішення поставленого завдання є цифровий датчик освітленості BH1750, котрий призначений для вимірювання фонованого освітлення, використовує інтерфейс I2C, та забезпечує виведення цифрових даних безпосередньо в люксах, здійснюючи всі необхідні перетворення за рахунок внутрішньої логіки.

Використання в даному проекті Wi-Fi модуля дозволяє, як згадувалось вище, окрім реалізації функції автоматичної періодичної синхронізації часу з NTP-сервером по Wi-Fi, забезпечити також можливість відображення поточних показів датчиків температури, вологості та тиску на веб-сторінці керування та можливість здійснення віддаленого конфігурування роботи пристрою на веб-сторінці керування пристроєм, котра зберігатиметься на веб-сервері. Серед Wi-Fi модулів великою популярністю користуються модулі на базі мікроконтролера ESP8266 китайського виробника Espressif Systems, які характеризуються високою потужністю, низькою ціною та широким функціоналом, котрі являються гарним рішенням для використання в рамках даного проекту.

Висновок. Таким чином, на основі аналізу представлених на ринку рішень пристроїв аналогічного призначення, було сформовано передбачений функціонал пристрою відображення поточного часу з додатковими функціями, розробка якого покладена в основу даної роботи, і запропоновано варіант його реалізації, котрий являє собою огляд структури пристрою та вибір елементної бази, прийнятної для виконання цього завдання.

Список використаних джерел:

1. *Электронные часы*. Вилучено з https://ru.wikipedia.org/wiki/Электронные_часы.
2. Ковалев В.Г., Лебедев О.Н. (1985). *Электронные часы на микросхемах*. М.: Радио и связь.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету електроніки

КПІ ім. Ігоря Сікорського

В.Я. Жуйков

(підпис)

2021 р.

А К Т

**про використання результатів дипломного проекту студента групи ДК-61
кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури (КЕОА)**

факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського

Сільчука Віталія Івановича

**на тему «Пристрій відображення поточного часу з додатковими
функціями»**

в навчальному процесі

Даний акт складено про те, що результати дипломного проекту на тему **«Пристрій відображення поточного часу з додатковими функціями»** студента групи ДК-61 кафедри КЕОА факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського **Сільчука Віталія Івановича** (матеріал з програмування блоку RTC мікроконтролерів STM32) використані при проведенні лабораторного практикуму та виконанні розрахунково-графічної роботи дисципліни «Обчислювальні та мікропроцесорні засоби в радіоелектронній апаратурі» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» освітньо-професійної програми «Інформаційно-обчислювальні засоби електронних систем» на кафедрі КЕОА факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Завідувач кафедри КЕОА

(підпис)

О. М. Лисенко

Секретар кафедри КЕОА

(підпис)

Д.Ю. Лебедев