

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ

(повна назва інституту/факультету)

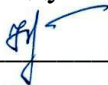
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ

АППАРАТУРИ

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

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

“18” червня 2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 172 " Телекомунікації та радіотехніка "

(код та назва спеціальності)

на тему: Цифровий метео-хронометр

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-92

(шифр групи)

Загереба Арсеній Ярославович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник доцент, к.т.н. Лебедев Д.Ю.

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



(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

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

(підпис)

Рецензент доц. каф. АМЕС, к.н.т., доц. Олександр ДРОЗДЕНКО

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



(підпис)

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

Студент 
(підпис)

Київ – 2023 року

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

Інститут/факультет _____ електроніки _____


Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури _____

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

« 03 » квітня 2023р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Загребі Арсенію Ярославовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Цифровий метео-хронометр

керівник проєкту (роботи) Лебедев Денис Юрійович, доцент,

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

затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. №2063

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 6 червня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Пристрій має виводити на екран атмосферний тиск, температуру, час. Час має синхронізуватися з NTP серверами. Має бути функція емуляції комбінації "Ctrl+S", для збереження файлів на ПК. Кліматичне виконання УХЛІ 3.1 згідно з ГОСТ 15150-69.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)

- розробка структурної схеми;
- вибір і обґрунтування елементної бази;
- розробка схеми електричної принципової;
- проектування друкованого вузла;
- конструкторсько-технологічні розрахунки;
- проектування програмного забезпечення;
- висновки.

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

- схема електрична принципова А3;
- друкована плата А3;
- складальне креслення друкованої плати – А3
- перелік елементів - А4

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*


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

7. Дата видачі завдання 03.04.2023р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Розробка функціональної схеми	15.04.23-19.04.23	виконано
2	Схемотехнічне проектування	17.04.23-19.04.23	виконано
3	Виконання креслень схеми електричної принципової	26.04.23-3.05.23	виконано
4	Розробка програмного забезпечення	3.05.23-10.05.23	виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	10.05.23-12.05.23	виконано
6	Проектування у Altium Designer	12.05.23-15.05.23	виконано
7	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	15.05.23-20.05.23	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	20.05.23-05.05.23	виконано

Студент

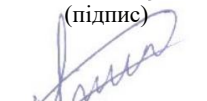


(підпис)

Загребя А.Я.

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

Лебедев Д.Ю.

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект викладено на 93 сторінках, він містить 6 розділів, 33 ілюстрації, 2 таблиці, 15 джерел у переліку посилань та 3 креслення.

Дипломний проект присвячений розробці цифрового метеорометра, який забезпечує синхронізацію з сервісом точного часу в мережі Інтернет для отримання точного часу та вимірює температуру та атмосферний тиск.

Основною відмінністю даного пристрою є функція збереження даних на ПК, що дозволяє користувачу уникнути втрати результатів своєї роботи при відключенні живлення.

Дипломний проект включає докладний аналіз структурної схеми та принципу роботи пристрою, розгляд електричної схеми, розробку програмного забезпечення та створення друкованої плати. В процесі розробки було проведено розрахунки, що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень, і перевірено коректність роботи прототипу. Даний проект має значний потенціал для подальшого розширення функціоналу та може бути запущений у серійне виробництво.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОГОДА, STM32, ТЕМПЕРАТУРА, ІНТЕРНЕТ, РОЗУМНИЙ ДІМ, ESP8266, LCD12864B, ВИМКНЕННЯ СВІТЛА, РОЗУМНИЙ ГОДИННИК, ХРОНОМЕТР, МЕТЕОСТАНЦІЯ.

ABSTRACT

The diploma project consists of 93 pages, including 6 chapters, 35 illustrations, 15 references in the bibliography, and 3 drawings.

The diploma project is dedicated to the development of a digital weather chronometer that provides internet synchronization for obtaining accurate time and measures temperature and atmospheric pressure. The main feature of this device is the data storage function on a personal computer, which allows the user to avoid losing their work results in case of power failure.

The diploma project includes a detailed analysis of the structural scheme and the principle of operation of the device, consideration of the electrical circuit, development of software, and creation of a printed circuit board. Calculations were performed during the development process to confirm the correctness of the design decisions and the prototype's functionality was tested. This project has significant potential for further expansion of functionality and can be launched into mass production.

KEYWORDS: WEATHER, STM32, TEMPERATURE, INTERNET, SMART HOME, ESP8266, LCD12864B, LIGHT SWITCHING, SMART CLOCK, CHRONOMETER, WEATHER STATION.

Поянювальна записка
до дипломного проекту
на тему: **Цифровий метео-хронометр**

Київ – 2023 року

Зміст

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
Вступ.....	5
1 Опис пристрою та аналіз існуючих рішень	7
1.1 Аналіз існуючих рішень	7
1.2 Блок-схема пристрою	9
1.3 Спосіб синхронізації з сервісом точного часу в мережі Інтернет	11
1.4 Принцип введення інформації	12
Висновок до першого розділу.....	12
2 Розробка схеми електричної принципової пристрою.....	14
2.1 Вибір та обґрунтування елементної бази	14
2.1.1 Вибір мікроконтролера.....	14
2.1.2 Вибір дисплею	14
2.1.3 Вибір контролерів DC-DC перетворювачів	16
2.2 Підключення дисплея	17
2.3 Підключення ESP8266	18
2.4 Підключення BMP280	19
2.5 Підключення енкодера та кнопок.....	20
2.6 Підключення зумера	21
2.7 Підключення STM32.....	22
2.8 Опис схеми електричної.....	22
Висновок до другого розділу	23
3 Програма керування пристроєм.....	25
3.1 Початкова генерація коду	25
3.2 Опис використаних бібліотек	26
3.3 Опис алгоритму роботи програми.....	27

					ДК92.4 76661.001ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Цифровий метео-хронометр Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Загребда А.Я.		10.06.23		0		1	72
Перевір.		Лебедев Д.Ю.		12.06.23					
Реценз.									
Н. Контр.		Лисенко О.І.		13.06.23					
Затверд.		Лебедев Д.Ю.		12.06.23				КПІ ім.І.Сікорського, ФЕЛ, КЕОА, ДК-92	

3.4	Функція disp_update	28
3.5	Функція reconnect.....	31
3.6	Функція Internet_UPDATE	32
3.7	Функції Reboot_Alarm та HAL_RTC_AlarmAEventCallback.....	34
3.8	Функція збереження даних на ПК.....	34
	Висновок до третього розділу.....	35
4	Проектування друкованого вузлу.....	37
4.1	Вибір і обґрунтування типу друкованої плати.....	37
4.2	Вибір і обґрунтування матеріалу ДП	38
4.3	Вибір і обґрунтування класу точності ДП.....	38
4.4	Трасування плати у середовищі Altium Designer	41
4.5	Вибір і обґрунтування інших параметрів при оформленні замовлення на JLCPCB	45
4.6	Вибір і обґрунтування корпусу і кріплення ДП.....	50
	Висновок до четвертого розділу.....	53
5	Розрахунки що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень	55
5.1	Розрахунок мінімальної ширини провідника при постійному струмі для ланцюга живлення.....	55
5.2	Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому	56
5.3	Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику	57
5.4	Розрахунок імпедансу для інформаційних провідників протоколу USB	58
	Висновок до п'ятого розділу.....	60
6	Інструкція користувача.....	61
	Висновок до шостого розділу	64
	Висновок	65

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 68

ДОДАТОК А Технічне завдання

ДОДАТОК Б Блок-схема

ДОДАТОК Г Специфікація

ДОДАТОК Д Стаття «Розробка схемотехнічного рішення
цифрового метео-хронометра»

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						3
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЗ – програмне забезпечення
ПК – персональний комп'ютер
АКБ – акумуляторна батарея
SPI – serial peripheral interface
PPI – parallel peripheral interface
HID – human interface device
GPIO – general-purpose input/output
NTP – network time protocol
MQTT – message queuing telemetry transport
RTC – real-time clock
ДП – друкована плата
BGA – ball grid array
ЛУТ – лазерно “утюжна” технологія
RoHS – restriction of hazardous substances directive
УГП – умовно графічне позначення
ІМ – інтегральна мікросхема
ТЗ – технічне завдання
МК – мікроконтролер
ПК - персональний комп'ютер

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Вступ

Годинник це пристрій який дозволяє дізнатися актуальний час, та дає можливість планувати та контролювати діяльність. Мінусом багатьох готових виробів є залежність від живлення, оскільки при його втраті втрачається можливість контролю часу, зазвичай для запобігання цьому використовуються резервні джерела живлення, але вони також не вічні. При відновленні живлення потрібно заново налаштувати час, зазвичай для цього потрібен інший годинник або пристрій з доступом до інтернету.

Для уникнення вище перерахованих недоліків, було прийнято рішення зв'язати проєктований пристрій з сервісом точного часу в мережі Інтернет. Завдяки цьому при відновленні живлення пристрій сам дізнається актуальний час, не буде потребувати незручного налаштування, сам буде переходити на літній, або зимовий час одночасно з усіма іншими пристроями.

Отже, метою даної роботи є розробка годинника з додатковим функціоналом - цифрового метео-хронометра.

Які додаткові функції практичного призначення можна виділити у проєктованому пристрої. Оскільки зараз постійно присутня можливість непередбачуваного вимкнення світла, що веде до несподіваного вимикання живлення ПК – доводиться часто зберігати напрацьовані файли. На жаль не все ПЗ має функцію автоматичного збереження. І насправді, навіть якщо має, то воно не завжди коректно працює. Тому до годинника було додано функцію емуляції натискання "Ctrl+S" (комбінація збереження змін). Таким чином, якщо вносяться зміни до якоїсь роботи достатньо підключити цифровий метео-хронометр до ПК і вже можна не хвилюватися за втрату даних. Пристрій сам, с зазначеним періодом буде зберігати дані на вашому ПК.

Через вимкнення світла, в деяких будівлях, може значно падати температура в зимовий період, для контролю температури в приміщенні було додано барометр BMP280 який дає можливість слідкувати за атмосферним тиском та температурою.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також проект передбачає розширення функціоналу, таке як, введення даних через ПК та відправлення їх на цифровий метео-хронометр, автоматична зміна яскравості дисплею, вимкнення підсвітки за розкладом, вибір періоду синхронізації з сервісом точного часу в мережі Інтернет, виведення відсотків заряду АКБ (акумуляторної батареї), отримання прогноза погоди з інтернету, будильник та інше. Також можна зробити з данного пристрою інтерфейс введення даних від користувача для інших пристроїв, таких як елементи розумного дому, або блоки клімат контролю, або джерела резервного живлення та інше. Для розширення функціоналу можна використати ESP8266 та MQTT сервер, або радіомодуль, який потрібно буде підключити до виведених на передню панель контактів.

Було опубліковано статтю у фаховому виданні категорії Б:

Загреба А.Я., Лебедев Д.Ю. Розробка схемотехнічного рішення цифрового метео-хронометра // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, Серія: Технічні науки. Томі 34 (73) № 2, 2023.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Опис пристрою та аналіз існуючих рішень

1.1 Аналіз існуючих рішень

Через війну в Україні часто стало зникати електропостачання у житлових будинках, а великий попит на джерела безперебійного, або резервного живлення призвели до того що не всі можуть їх придбати.

У сучасному світі майже кожен працює за комп'ютером (далі ПК) та непередбачувані відключення електропостачання призводять до втрати даних та як наслідок, багатьох годин роботи людини. Крім того, через необхідність зменшення навантаження на мережу доводиться вимикати системи енергозабезпечення.

Постає необхідність в автоматизованій системі контролю часу, яка б не залежала від не запланованих відключень електромережі.

Для вирішення цих проблем було прийнято рішення розробити цифровий хронометр, який міг би заряджатися від ПК коли є живлення та допомагати орієнтуватися у часі коли живлення відсутнє. Крім того, при підключенні до комп'ютера цифровий засіб повинен з заданою періодичністю емулювати натискання комбінації “Ctrl+S” для збереження відкритого файлу, що має значно зменшити втрати при раптовому вимиканні світла.

Також для контролю за температурою у приміщенні буде використовуватись барометр BMP280, який дозволить досить точно вимірювати температуру оточуючого середовища та атмосферний тиск.

Найближчі аналоги даного хронометра – це Losso GT (Рис 1.1.1) та DS-3625L (Рис 1.1.2).

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1.1 – Цифровий годинник Losso GT



Рисунок 1.1.2 – Цифровий годинник DS-3625L

Настільний годинник DS-3625L має дзеркальний дисплей, підсвічування цифр і вбудований будильник. Живлення від роз'єму USB, Часовий формат: 12/24 години.

Настільний годинник Losso Premium GT LONG має LED дисплей, регульовану яскравість, два будильники, вміє показувати температуру і дату, має дзеркальну поверхню, працює від мережі за допомогою вбудованого адаптера, а також має вбудовану батарею, що забезпечує автономну роботу в разі відключення від джерела живлення.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Порівняння між цифровим метео-хронометром та дзеркальними настільними годинниками Losso GT та DS-3625L можна провести за допомогою декількох параметрів.

По-перше, годинник який є темою даного проекту має вбудовану синхронізацію з NTP серверами, що дозволяє точно синхронізувати час зі світовими стандартами. У порівнянні з цим, дзеркальні настільні годинники Losso GT та DS-3625L мають менш точну синхронізацію, оскільки їх часові механізми базуються на механічних елементах, які з часом вносять похибку.

По-друге, цифровий метео-хронометр має вбудований термометр і барометр, що дозволяє вимірювати температуру та атмосферний тиск. Ці параметри можуть бути корисними для тих, хто цікавиться метеорологією, або для тих, хто працює в спеціалізованих умовах (наприклад, у лабораторії). Дзеркальний настільний годинник Losso GT має лише термометр, а DS-3625L немає вбудованого термометра та барометра.

По-третє, усі годинники мають можливість увімкнути будинники. Losso GT – підтримує до двох будильників, на DS- 3625L можна ввімкнути лише один будильник, до цифровий метео-хронометра можна додати до 13.

Отже, цифровий метео-хронометр має ряд переваг над дзеркальними настільними годинниками Losso GT та DS-3625L, зокрема, більш точну синхронізацію, вбудований термометр та барометр, функцію збереження даних на ПК. Ці переваги можуть вплинути на вибір користувачив на користь данного годинника.

1.2 Блок-схема пристрою

Цифровий метео-хронометр складається з дев'яти основних блоків (рис. 1.2.1).

- Мікроконтролер STM32F103 – це основний елемент в схемі, саме він виконує всі розрахунки, ініціалізує обмін даними між блоками та керує ними;
- USB порт – це зовнішній блок необхідний для підключення до ПК та живлення метео-хронометра;

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ESP8266 – в даному проекті, цей елемент виступає у якості Wi-Fi модема, необхідний для виходу у інтернет для отримання інформації про реальний час, в майбутньому можна буде отримувати також і прогноз погоди;

- Дисплей 1602 або LCD12864B – це основний спосіб передачі даних користувачу, на дисплей виводиться час, стан Wi-Fi, температури та атмосферного тиску. Дисплей 1602 використовує протокол 4 wire PPI, LCD12864B – SPI. Обидва ці дисплеї підтримують 8 wire PPI, але цей протокол займає багато GPIO виводів;

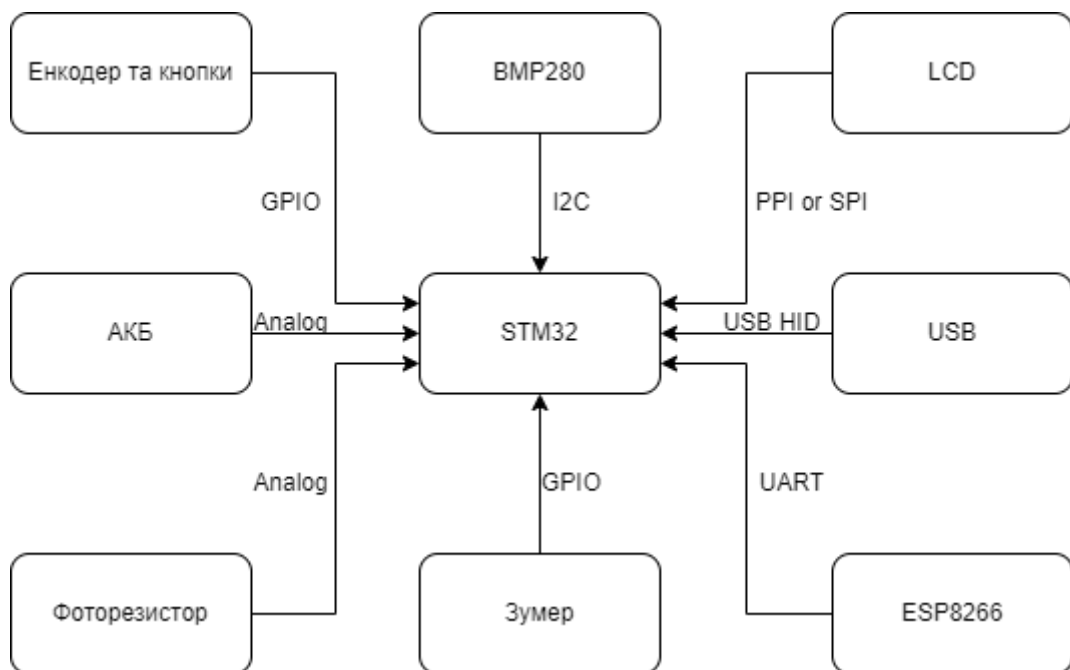


Рисунок 1.2.1 - Блок-схема цифрового метео-хронометра з додатковим функціоналом

- Фоторезистор – завдяки цьому блоку мікроконтролер буде оцінювати ступінь освітлення у приміщенні та регулювати яскравість дисплея;

- Зумер – цей блок буде використовуватися, якщо користувач ввімкне будильник;

- АКБ – напруга від цього джерела живлення, через подільник напруги, буде вимірюватися контролером для надання цієї інформації користувачу;

- BMP280 – барометр для вимірювання тиску та температури, обмін даними здійснюється по протоколу I2C;

- Енкодер та кнопки – це основні блоки вводу інформації від оператора. Необхідні для налаштування будильника, гортання меню, керування та налаштування функцій, тощо.

1.3 Спосіб синхронізації з сервісом точного часу в мережі Інтернет

Для отримання можливості підключитися до глобальної мережі, у проект було додано модем ESP8266.

У модем було завантажено ПЗ від виробника, яке дозволяє керувати ним з використанням AT команд [1], які використовуються в багатьох подібних виробках.

Спілкування з модемом відбувається по протоколу обміну даними UART.

Для роботи модема виконується така послідовність команд з ESP8266:

Спочатку відправляється команда “AT+RST”, вона перезавантажує модем. Потрібно на випадок зависання чи неправильного завантаження модуля.

Після чого надсилається команда “AT+CWMODE_CUR=1”, це перемикає ESP8266 у режим Wi-Fi клієнта.

Як тільки попередні операції завершуються, надсилається команда підключення до Wi-Fi “AT+CWJAP_DEF=“WiFi_login”,“WiFi_password””. Ця команда змушує модуль підключитися до Wi-Fi точки доступу з назвою “WiFi_login” та паролем “WiFi_password”.

Наступною командою надходить “AT+CIPSNTPCFG=1,3,“ntp.time.in.ua””, це є запитом на підключення до NTP (Network Time Protocol) серверу “0.asia.pool.ntp.org”, з часовим поясом UTC+3.

Після завершення налаштувань два рази на годину надсилається запит на сервер з питанням “Котра година?”. За це відповідає команда “AT+CIPSNTPTIME?”. У разі втрати зв’язку з інтернетом ESP8266 повертає час який сама нарахувала, якщо зв’язок буде відновлено вона передасть значення яке повернув NTP сервер.

На випадок втрати зв’язку з WI-FI використовується команда “AT-CWJAP?”. У відповідь буде отримано статус з’єднання з WIFI маршрутизатором.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.4 Принцип введення інформації

Для введення інформації від користувача передбачено один енкодер та дві тактові кнопки. Такий набір елементів введення інформації дозволяє реалізувати зручне пересування по меню, вибір та зміну необхідних параметрів. Від використання енкодера з вбудованою кнопкою було прийнято рішення відмовитися через незручність використання такої конфігурації, а також малу її надійність.

Одна тактова кнопка використовується для вмикання та вимикання функції збереження даних на ПК, при натисканні на неї в будь якій вкладці маню стан буде змінено.

Друга кнопка використовується для взаємодії з елементами меню.

Переміщення по меню та зміна значень виконується за допомогою енкодера.

Висновок до першого розділу

В даному розділі було проаналізовано існуючі рішення та розглянуто блочну структуру цифрового метео-хронометра, проведено детальний аналіз наявних блоків, описано їх взаємозв'язок, пояснено задачу кожного.

Завдяки наявності блочної системи розробка ПЗ для пристрою значно спрощується, через можливість активувати блоки послідовно. Це дає можливість відлагоджувати роботу одного блоку, наприклад екрану, після чого переходити до іншого, спираючись на попередній блок, наприклад виводити показання барометра безпосередньо на екран, а не у вікно відладки.

Також у даному розділі було розглянуто спосіб отримання актуального часу з NTP серверів. Даний метод було перевірено у терміналі, за допомогою відлагуваджуваної плати, після чого викладено в даному розділі. Цей принцип потім стане в основі програмного забезпечення для цифрового метео-хронометра, оскільки однією з головних відмінностей від покупних виробів є синхронізація з NTP серверами, що дозволяє не вводити по новій актуальний час після кожного вимкнення світла.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для “спілкування” з користувачем використовуються кнопки, енкодер та дисплей. Також, їх взаємодію було поверхнево розглянуто в цьому розділі. Більш детальний опис роботи буде в розділі 3 з описанням програмного коду.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>13</i>

2 Розробка схеми електричної принципової пристрою

2.1 Вибір та обґрунтування елементної бази

2.1.1 Вибір мікроконтролера

Для реалізації цього проекту було обрано контролер серії STM32F103.

STM32F103, незважаючи на те що цей МК вже знято з виробництва, через його розповсюдженість, все ще є велика кількість наявних на складах, також я маю декілька таких у своїх запасах. Також ця серія є дешевою та доступною.

STM32F103 має USB HID (Human Interface Device) протокол, UART, I2C шини та достатню кількість виводів GPIO для реалізації всіх закладених функцій.

Альтернативним варіантом розглядався мікроконтролер серії STM32F407. Але було прийнято рішення відмовитися від його використання, через значно вищу ціну, а переваги, які надає ця серія мікроконтролерів, такі як більша кількість контактів, більша кількість пам'яті та інтерфейсів обміну даними, у даному проекті не використовуються.

2.1.2 Вибір дисплею

Для даного проекту був потрібен дисплей на який одночасно можна вивести багато інформації. Тому було прийнято рішення відразу відмовитися від LED індикаторів і обирати серед LCD дисплеїв, даний вид є досить енергоефективним, особливо, якщо вимкнути підсвітку – це є перевагою, так як пристрій буде деякий час працювати від АКБ. Також дані дисплеї мають досить велику площу для виведення інформації, при, відносно, невеликій ціні.

З наявних у місцевому магазині я обрав LCD12864B (Рис.2.1.2.1), як основний – це графічний дисплей, який може працювати в режимі 20x4. Тобто на нього можна вивести 4 строки по 20 символів. У графічному режимі дисплей має роздільну здатність 128x64 точки. Для даної версії хронографа було використано саме його. Цей дисплей є графічним, що відкриває великі можливості для покращення дизайну циферблату, а також має достатньо місця для виведення різних даних, таких як атмосферний тиск, температура, стан Wi-Fi, затримка емуляції “Ctrl+S” та інше. На друкованій платі закладено перемички для вибору LCD12864B або 1602

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зادля можливості встановити той дисплей який буде в наявності, або необхідний в даній версії.

Альтернативним варіантом, якщо основний зникне з продажу, або в якійсь версії годинника не потрібен буде такий великий дисплей, було обрано дуже популярний 1602 (Рис.2.1.2.2). Перевагами даного дисплея є велика популярність, простий протокол обміну даними та низька ціна.

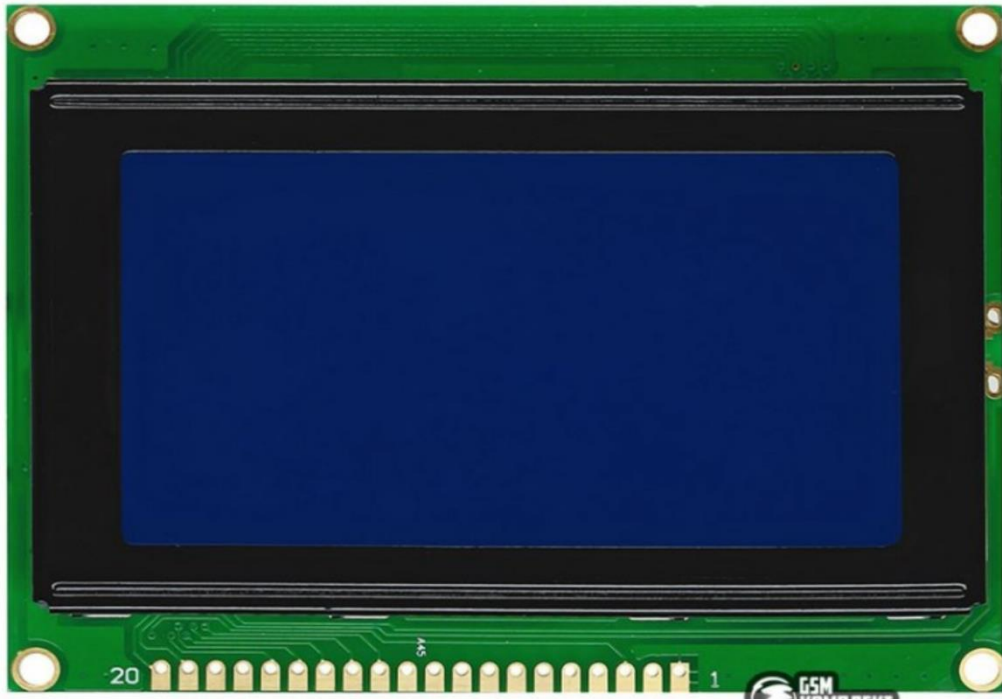


Рисунок 2.1.2.1 – Дисплей LCD12864В

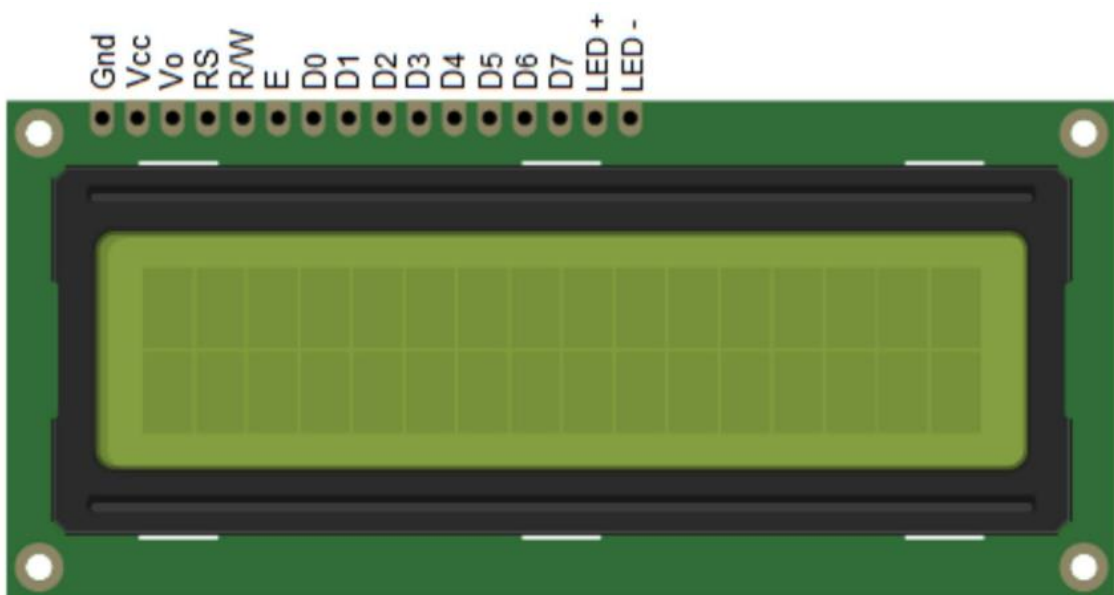


Рисунок 2.1.2.2 – Дисплей 1602

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2.1.3 Вибір контролерів DC-DC перетворювачів

Для роботи STM32 потрібно 3,3В, для дисплея потрібно 5В. 5 вольт можна отримати від USB, але передбачається живлення від батареї, тому потрібно передбачити як пониження до 3,3 так и підвищення до 5 вольт.

Понижуючий перетворювач було створено на базі ST13470, це компактний та дешевий контролер понижуючого DC-DC перетворювача. Його перевагами є низька ціна та наявність в магазинах мого міста.

Даний перетворювач підтримує напругу в 0.6В на контакті FB, оскільки потрібно отримати 3.3В буду використовувати подільник напруги. Виробник рекомендує використовувати в одному з плечів резистор опором 51кОм.

Розрахую опір другого плеча:

$$R2=R1/(V_{out}/V_{fb}-1)=51000/(3.3/0.6-1)=51000/4.5=11333(\text{Ом})=11.3(\text{кОм})$$

Отримане значення збігається з запропонованим виробником (Таблиця 2.1.3.1) та є стандартним значенням з ряду E96, одже можна обійтися одним резистором. Схема понижуючого DC-DC перетворювача наведена на рис.2.1.3.1.

Таблиця 2.1.3.1 – Таблиця опорів для ST13470

Vout	R1(KΩ)	R2(KΩ)
5.1V	51	6.8
3.3V	51	11.3
1.8V	51	25.5
1.55V	51	33
1.25V	51	47
1.20V	51	51
1.05V	33	47

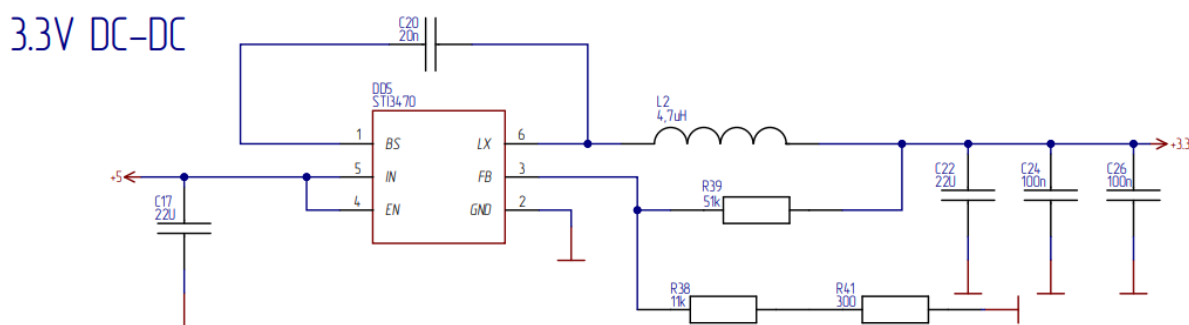


Рисунок 2.1.3.1 – Схема DC-DC перетворювача в 3.3В

Контролером підвищуючого DC-DC інвертора було обрано MT3608. Цю мікросхему було обрано, тому що вона дуже поширена, а я маю великий досвід роботи з цими контроллерами. А також маю деякий запас цих мікросхем, завдяки чому відсутня залежність від наявності їх у магазинах.

Даний перетворювач, так само як і ST13470, підтримує напругу в 0.6В на контакті FB. Оскільки потрібно отримати 5В буду використовувати подільник напруги. Виробник не надає ніяких рекомендацій щодо опору резисторів. Тому для зручності опір резистора R1 візьму 10кОм.

Розрахую опір резистора R2:

$$R2=R1*(V_{out}/V_{fb}-1)=10000*(5/0.6-1)=10000*7.3=73000(\text{Ом})=73(\text{кОм})$$

Отримане значення не є стандартним значенням з ряду E96. Найближчими є 73.2кОм та 75кОм, розрахую напругу при цих значеннях.

$$V_{out}=\left(\frac{R2}{R1}+1\right)*V_{fb}=\left(\frac{75}{10}+1\right)*0.6=5.1(\text{В})$$

$$V_{out}=\left(\frac{R2}{R1}+1\right)*V_{fb}=\left(\frac{73.2}{10}+1\right)*0.6=4.99(\text{В})$$

Обидва результати вкладаються в погрішність 5%, але оскільки резистор з опором 75кОм входить до більш розповсюдженого ряду E48 обираємо його. Схема підвищуючого DC-DC перетворювача наведена на рис.2.1.3.2.

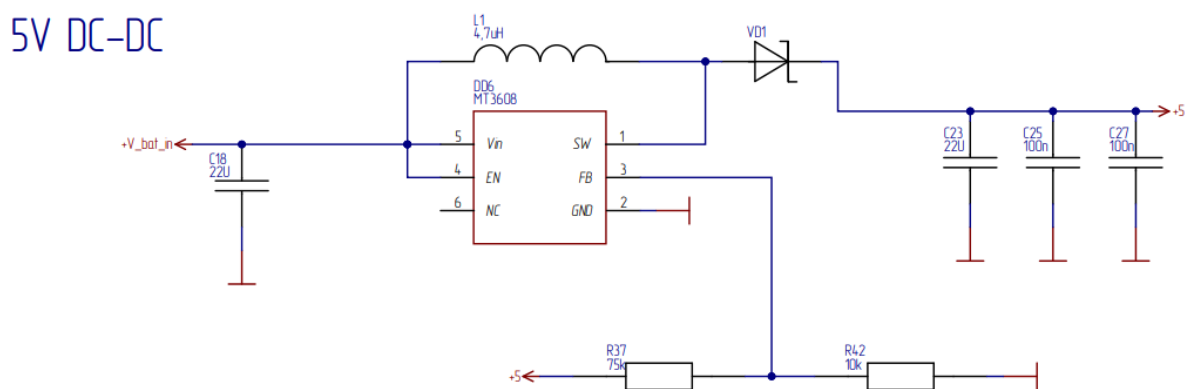


Рисунок 2.1.3.2. – Схема DC-DC перетворювача в 5В

2.2 Підключення дисплея

Дисплеї підключаються за 4 проводним PPI або SPI. Для цього у схемі передбачено декілька перемичок для забезпечення сумісності з 1602 та LCD12864В. Схема підключення подана на Рис.2.2.1.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

На схемі присутній транзистор для керування підсвіткою. Також передбачено резистори для узгодження логічних рівнів, так як дисплей розраховано на 5В, а STM32 працює з 3,3. Тому завдяки open drain режиму GPIO та підтяжки до 5 вольт через резистори можна організувати 5-вольтову логіку.

1602/LCD12864B

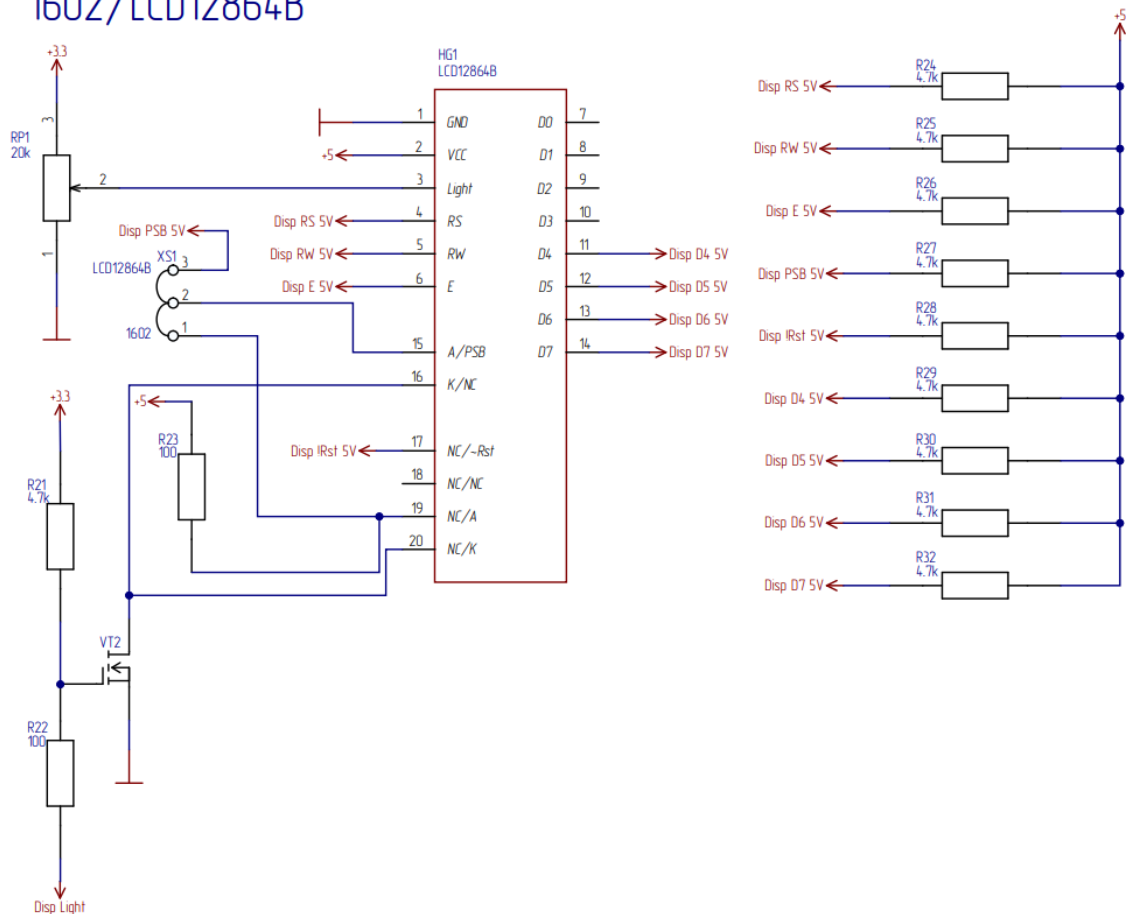


Рисунок 2.2.1 – Схема підключення дисплея

2.3 Підключення ESP8266

На рис.2.3.1. наведено схему підключення ESP8266. Входи enable та RST підключені до STM32 для реалізації повного контролю над ESP8266 зі сторони головного контролера.

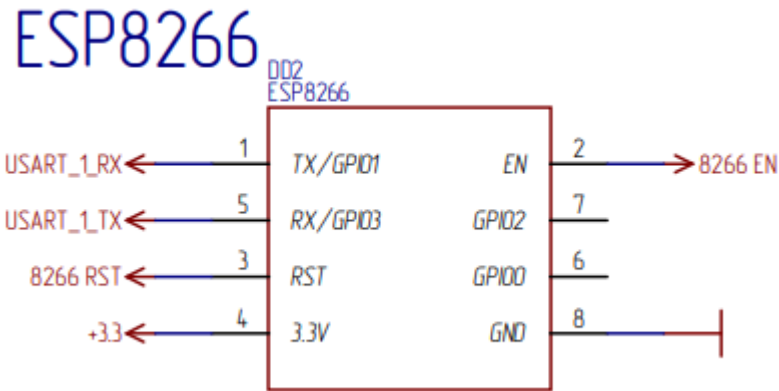


Рисунок 2.3.1 – Схема підключення ESP8266

2.4 Підключення BMP280

На рис.2.4.1. наведено схему підключення BMP280. За допомогою перемички XS2 можна обрати адресу по якій можна буде зв'язатися з BMP280 по шині I2C. Якщо перемичка буде замкнена на землю адреса буде – 1110110b, якщо на 3,3В – адреса буде – 1110111b.

Можливість вибору адреси дозволяє підключити ще якийсь пристрій по шині I2C і не викликати конфліктів пристроїв.

Конденсатори C10 та C11 додано для зменшення пульсацій живлення та більш стабільної роботи мікросхеми.

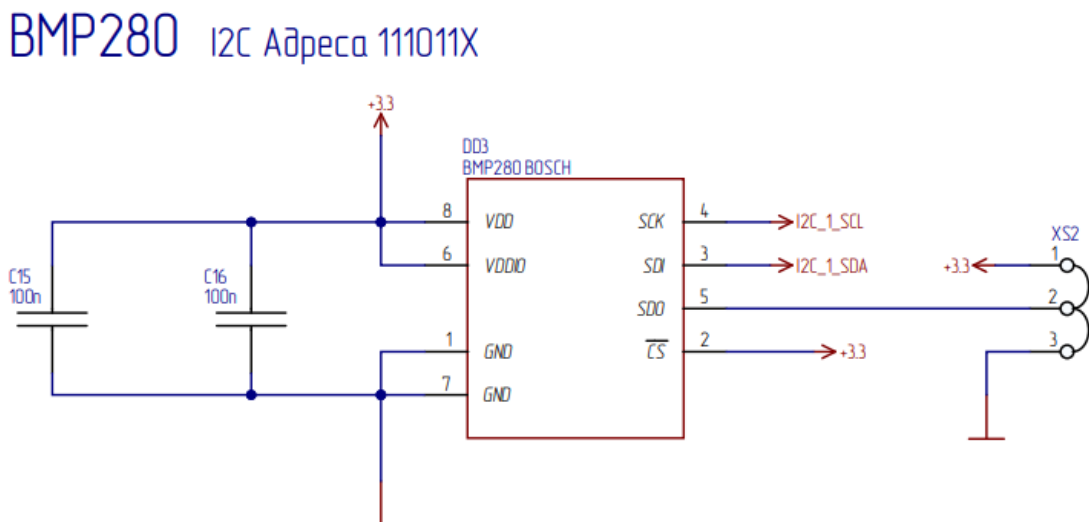


Рисунок 2.4.1 – Схема підключення BMP280

2.5 Підключення енкодера та кнопок

На рис.2.5.1. наведено схему підключення енкодера та кнопок керування. На рис.2.5.2. наведено схему підключення кнопки перезавантаження STM32.

Резистори потрібні для підтяжки до 3,3В, щоб коли кнопка не натиснута була логічна 1, а коли натиснута, вона замикає лінію на землю, тобто логічний 0. Конденсатор потрібен для запобігання ефекту брязкоту контактів кнопок та енкодера.

Пристрої вводу

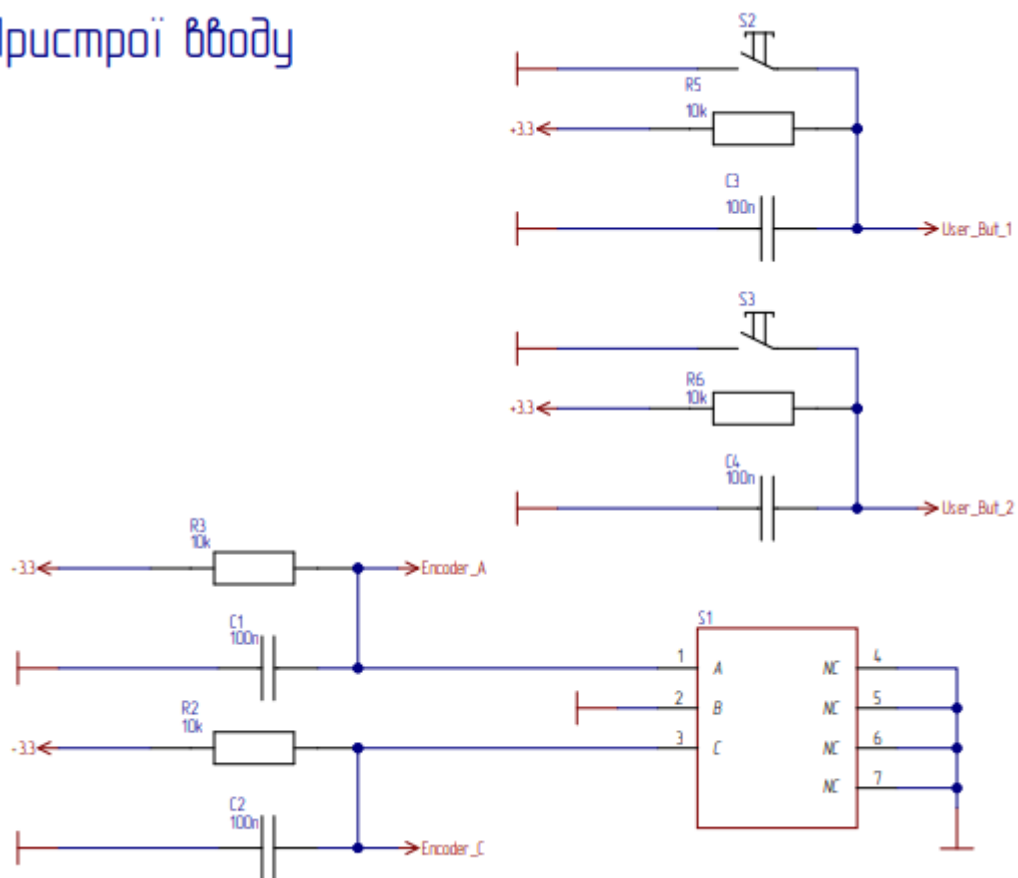


Рисунок 2.5.1 – Схема підключення енкодера та кнопок

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК92.6767641.001ПЗ

Арк.

20

Кнопка перезапуску

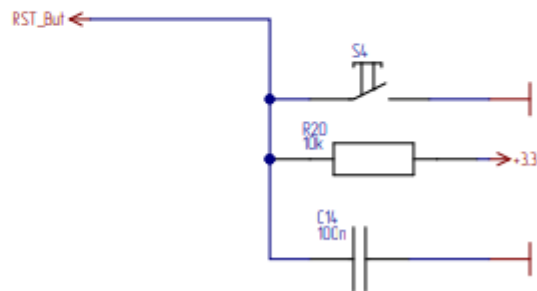


Рисунок 2.5.2– Схема підключення кнопки перезавантаження

2.6 Підключення зумера

На рис.2.6.1. наведено схему підключення зумера.

Резистор R12 потрібен для розряджання затвору мосфет-транзистора VT1, для більш надійного «запирання».

Випромінювач звуку

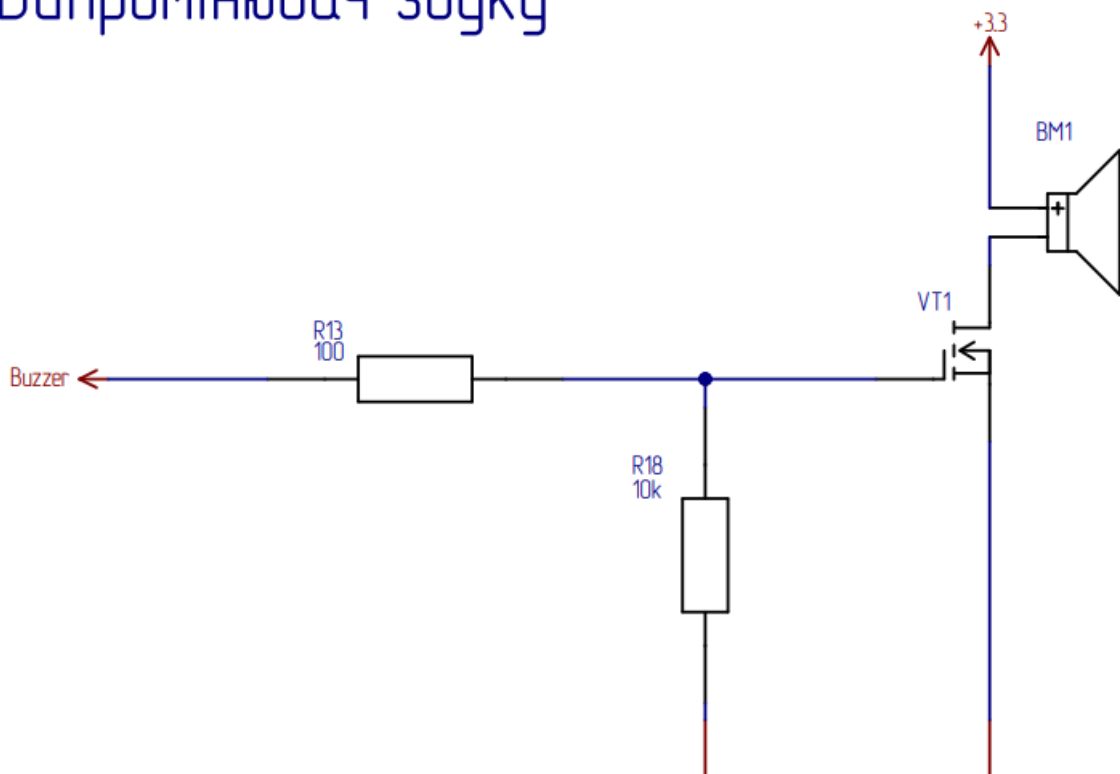


Рисунок 2.6.1 – Схема підключення зумера

					ДК92.676764.1.001ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Підключення STM32

На рис.2.7.1. наведено схему підключення STM32[2][3][4], на цій схемі наведено назви всіх ліній що підключаються до МК.

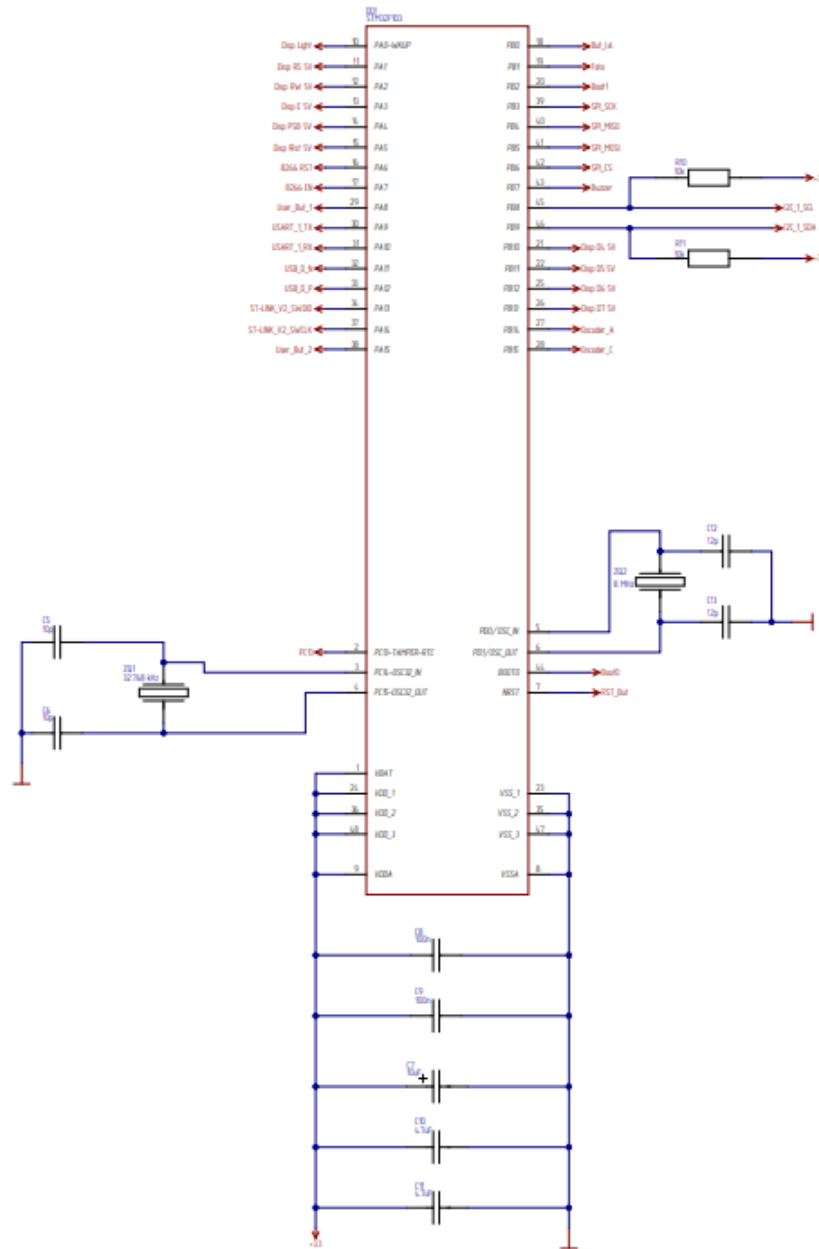


Рисунок 2.7.1 – Схема підключення STM32

2.8 Опис схеми електричної

На схемі до STM32 підключено дисплей, ESP8266, BMP280, кнопки, енкодер, зумер, світлодіод який сигналізує про наявність живлення, фоторезистор, перемикачі для вибору режиму завантаження програми, TR4056 для заряджання

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

АКБ який може бути вбудований в годинник, DW01A для захисту АКБ від перерозряду, ST13470 для зниження напруги до 3,3В, МТ3608 для підвищення напруги до 5В при живленні від АКБ, USB порт для підключення до ПК та живлення пристрою.

Оскільки STM32 за високий логічний рівень примає 3.3В, а дисплеї 5В, всі керуючі виходи STM32 були підтягнуті до 5В і мають бути сконфігуровані в режимі open drain, тобто вони будуть або підтягуватися до землі, або відпускати сигнальну лінію, а вона, через резистори, буде підтягувати до 5В.

При підключенні кнопок та енкодера резистор потрібен для підтягування до 3,3В, щоб коли кнопка не натиснута була логічна 1, а коли натиснута, вона замикає лінію на землю, тобто логічний 0. Конденсатор потрібен для запобігання ефекту брязкоту контактів.

У барометра BMP280 можна обрати найнижчий біт адреси I2C за допомогою перемички XS2.

Схема зроблена так, щоб TP4056[5] можна було замінити на CN3063. Для цього передбачено перемичку XS3 та резистор R31.

Лінію I2C підтягнуто до 3,3В, для коректної роботи цього протоколу. За необхідності STM32 та BMP280 будуть підтягувати цю лінію до землі, таким чином обмінюватися даними.

Висновок до другого розділу

В даному розділі було обрано компоненти для створення цифрового метеорометра. Оскільки всі компоненти довелося обирати з наявних у місцевому магазині, їх вибір виявився досить скрутним.

При роботі над даним розділом було описано аналіз та вибір дисплеїв та МК. Було прийнято рішення зупинити вибір на дисплеях LCD12864В та 1602. А “серцем” пристрою обрав контролер від компанії STM 103ї серії, а саме STM32f103c8t6.

Також в даному розділі було розраховано резистори в обв'язці DC-DC перетворювачів, для встановлення відповідної напруги на виході.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						23
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Більшу частину даного розділу присвячено опису схеми електричної принципової. Було розглянуто схему кожного блоку схеми та описано його основні особливості.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

3 Програма керування пристроєм

3.1 Початкова генерація коду

Перед початком написання програми для роботи годинника було здійснено початкові налаштування за допомогою програмного забезпечення STM32CubeMX. На рис.3.1.1. зображено налаштування портів вводу та виводу МК STM32F103.

Було увімкнено та налаштовано для роботи USART1, I2C1, SPI1, USB, RTC та виходи GPIO.

USB_DEVICE було переключено у режим “Human Interface Device Class (HID)”. Це клас пристроїв для взаємодії з людиною, наприклад клавіатура та миша.

RTC було підключено до зовнішнього резонатора з частотою 32.768КГц
рис.3.1.2.

Також було налаштовано EXTI переривання для одного з виходів енкодера.

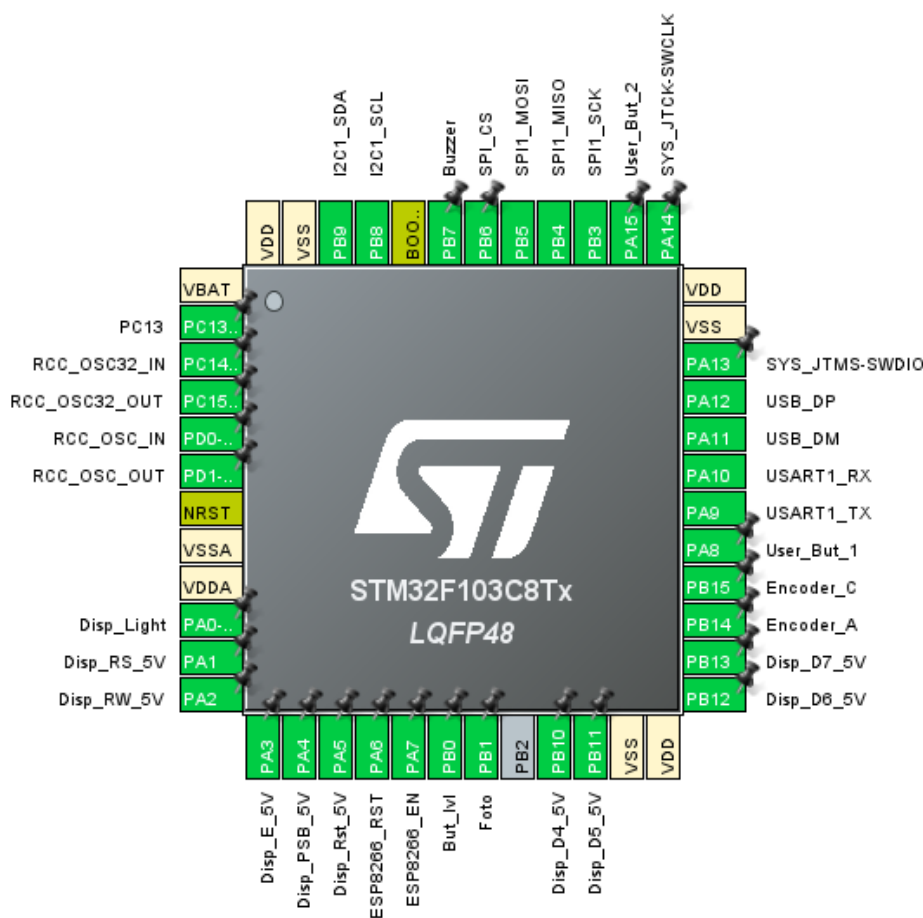


Рисунок 3.1.1 – Налаштування портів STM32

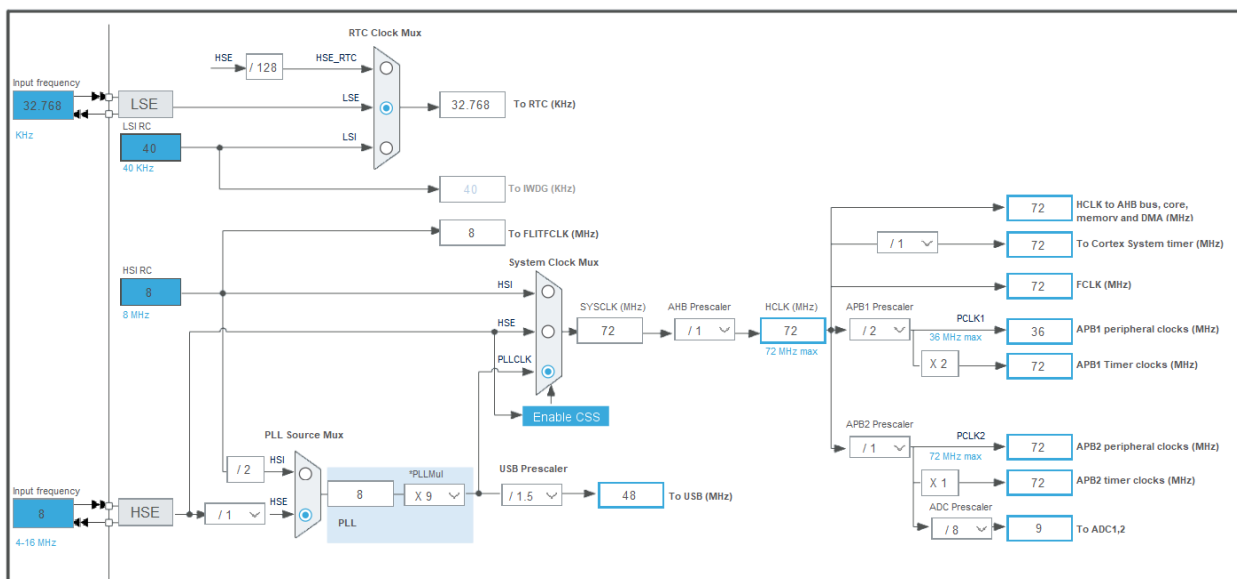


Рисунок 3.1.2 - Clock configuration

3.2 Опис використаних бібліотек

Для збільшення рівня абстракції, при написанні коду, було використано бібліотеки.

Бібліотеки - це пакети коду або функцій, які можна повторно використовувати. Різні програми можуть використовувати ту саму бібліотеку знову і знову.

В даному проекті було використано такі бібліотеки:

HAL – (Hardware Abstraction Layer) необхідна для більш зручного та швидкого написання кода;

asm_MySPI – дана бібліотека була написана мовою Асемблеру, необхідна для реалізації передачі даних по програмному SPI;

ST7920_SERIAL – бібліотека для роботи з дисплеєм LCD12864V по протоколу SPI. Бібліотеку було взято з сайту [6], після чого було частково переписано задля збільшення швидкості передачі даних на дисплей та роботи з реалізованим мною у бібліотеці asm_MySPI програмним SPI;

asm_delayUS – бібліотека, яку також було написано мовою Асемблеру. Необхідна для реалізації мікросекундних затримок;

BMP280 – бібліотека для роботи з барометром BMP280, спочатку була написана для роботи з МК від компанії AVR, при розробці цього проекту було перероблено для роботи з STM32 та бібліотекою HAL.

Завдяки всім цим бібліотекам а також функціям у файлі main вдалося досить значно покращити читаємість кода та частково віддалитися від низькорівневого програмування, завдяки чому вдалося заощадити час та зусилля при написанні програми. Блок-схема коду наведена у додатку 4.

3.3 Опис алгоритму роботи програми

В додатку 4 наведено блок-схему програми.

В даній версії ПЗ передбачено синхронізацію з NTP серверами, вимір температури та атмосферного тиску, відправка на ПК сигналів про натискання комбінації збереження “Ctrl+S”.

Основний цикл програми розбито на блоки які відповідають за різні задачі. Ось їх список:

Блок оновлення часу – кожні 30 хвилин викликає функцію Internet_Update для отримання актуального часу з NTP серверів. В проміжках між сеансами синхронізації отримує актуальний час від RTC;

Блок відновлення зв'язку – якщо синхронізація з інтернетом не була проведена і флаг статусу рівний 0 – починає систематично викликати функцію reconnect, яка намагається відновити зв'язок з інтернетом;

Блок збереження даних – якщо відбулося відповідне переривання по часу і флаг необхідності збереження даних на ПК піднято – мигає декілька разів підсвіткою екрана, для привернення уваги, після чого емулює натискання комбінації “Ctrl+S”;

Блок вибору сторінки меню – при поверненні енкодера гортає сторінки меню;

Виклик функції виводу інформації на екран;

Блок отримання температури та тиску – раз у секунду отримує від барометра інформацію про температуру та тиск повітря;

Блок обробки кнопки збереження – якщо була натиснута кнопка інвертує стан блоку збереження даних, тобто вмикає, або вимикає емуляцію натискання комбінації “Ctrl+S”;

Блок обробки сторінки меню – відповідає за вибір пунктів та зміну їх значень за допомогою другої кнопки та енкодера.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Даний код є досить оптимізованим, але для спрощення логіки роботи в деяких місцях була використана функція HAL_Delay. Проблема даної функції в тому, що вона повністю зупиняє роботу програми. Як варіант можна записувати у змінну скільки часу пройшло з моменту старту МК, якщо з моменту запису пройшло n часу виконати певну дію. Схожим чином, але звикористанням не часу з моменту старту МК, а секунд чи хвилин отриманих від RTC виконано деякі затримки у кодї, в місцях це ці затримки або дуже довгі, або інший код має виконуватися поки йде затримка.

Такий підхід не викликає затримок у роботі програми, але дозволяє виконувати якісь задачі через певні проміжки часу. Наприклад виконувати комбінацію “Ctrl+S” раз у 5 хвилин, або питати у сервера котра година два рази у годину.

3.4 Функція disp_update

На рис. 3.4.1 наведено блок-схему функції disp_update. Ця функція відповідає за вивід інформації на екран за допомогою бібліотеки ST7920_SERIAL[7]. В ній реалізовано різні сторінки меню та обробка вхідних даних, таких як години, хвилини, температура, тиск, стан Wi-Fi з'єднання та стан модуля синхронізації.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

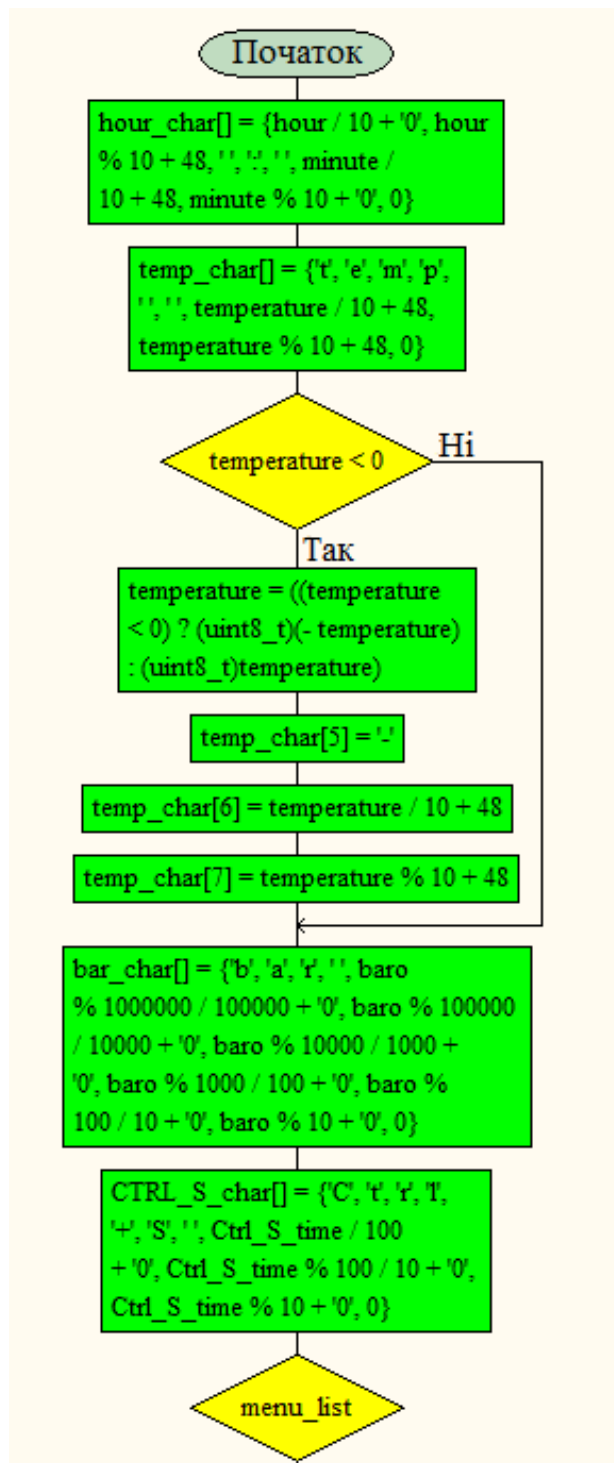


Рисунок 3.4.1а - Блок-схема функції disp_update

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК92.676764.001ПЗ

Арк.

29

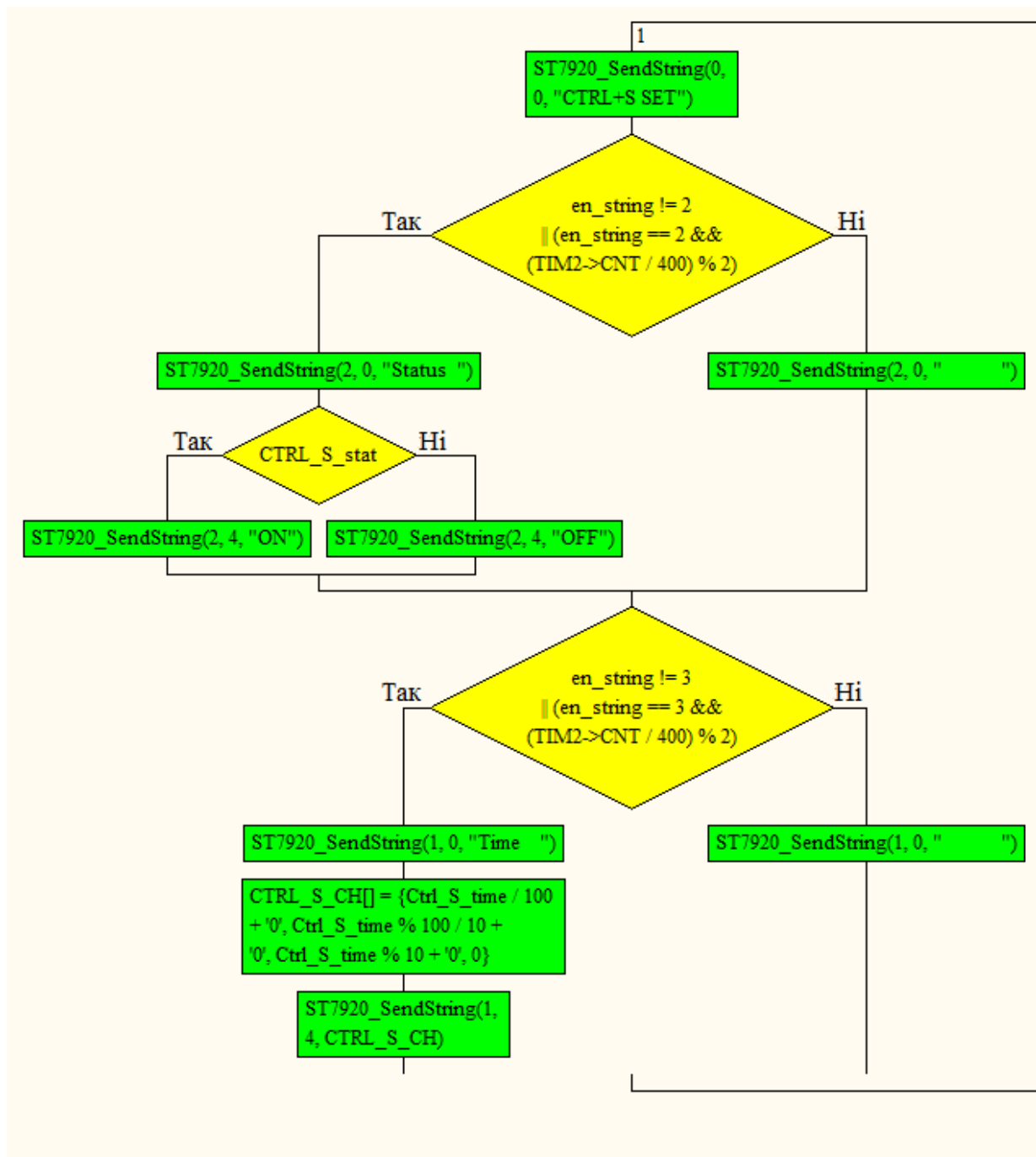


Рисунок 3.4.16 - Блок-схема функції disp_update

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК92.676764.1.001ПЗ

Арк.

30

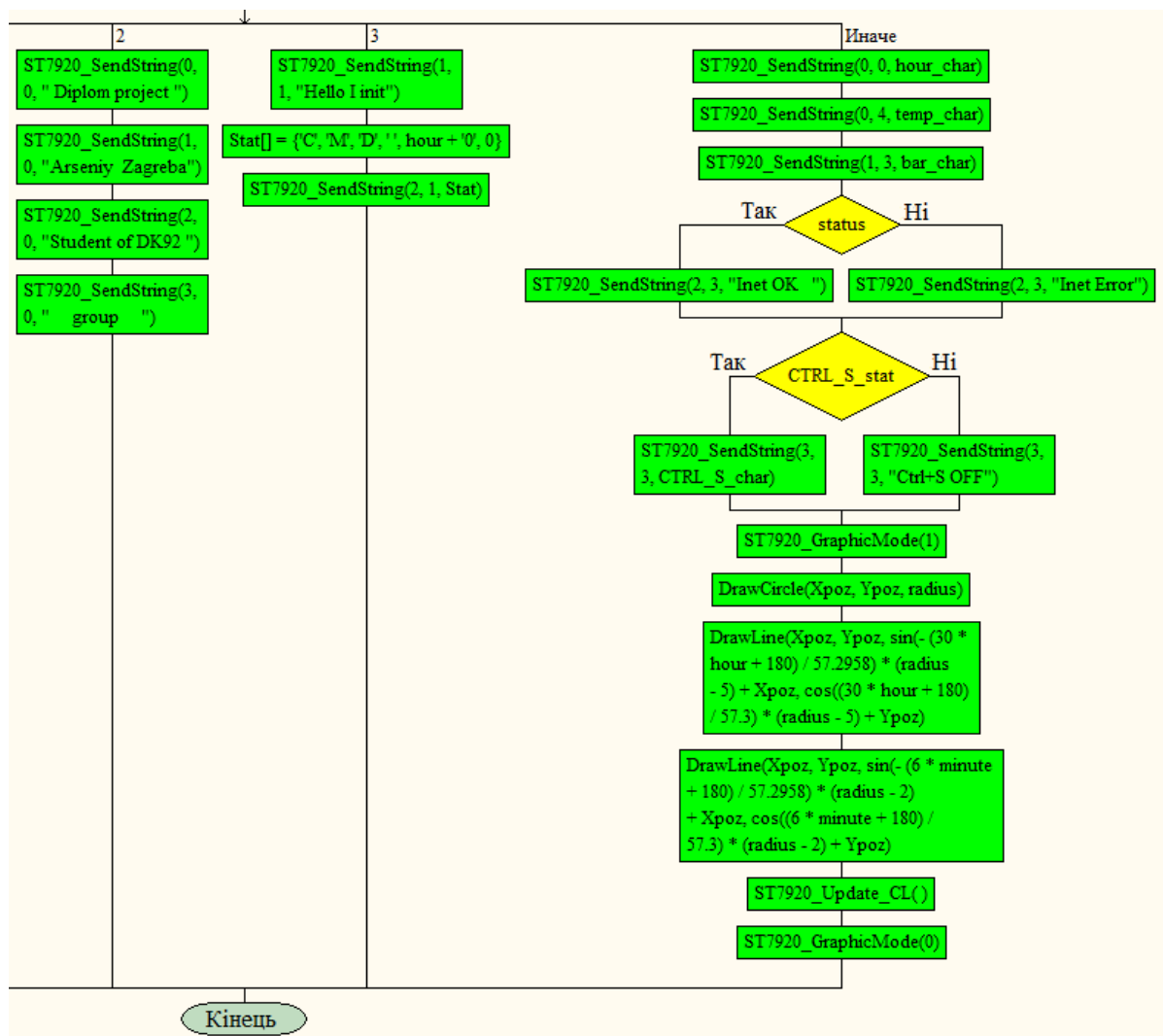


Рисунок 3.4.1в - Блок-схема функції disp_update

3.5 Функція reconnect

На рис.3.5.1 наведено блок-схему функції reconnect. Ця функція відповідає за перепідключення до Wi-Fi при втраті з'єднання викликається дана функція.

Для відмови від використання функції HAL_Delay у дану функцію передається номер виклику даної функції, час який був при попередньому виклиці та актуальний час.

Функція перевіряє чи пройшло достатньо часу з моменту останнього надсилання відповідної команди для ESP8266. Якщо пройшло – відправляється наступна команда та збільшується номер звернення. Якщо пройшло недостатньо часу, то функція нічого не робить. Після завершення роботи функція поверняє номер звернення.

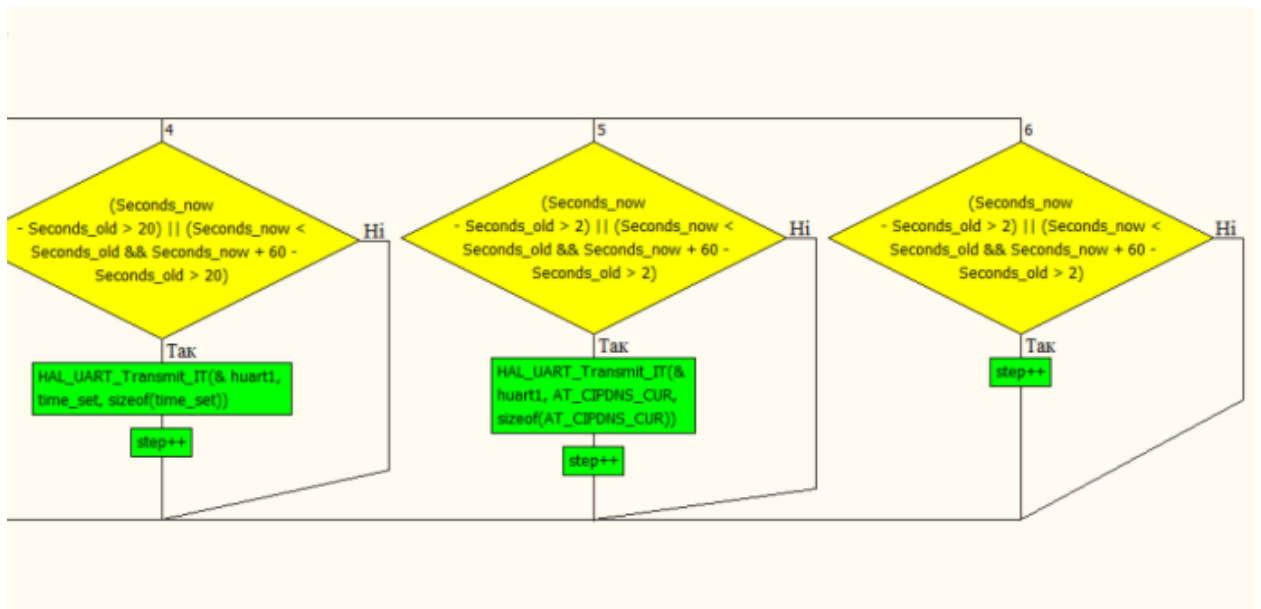
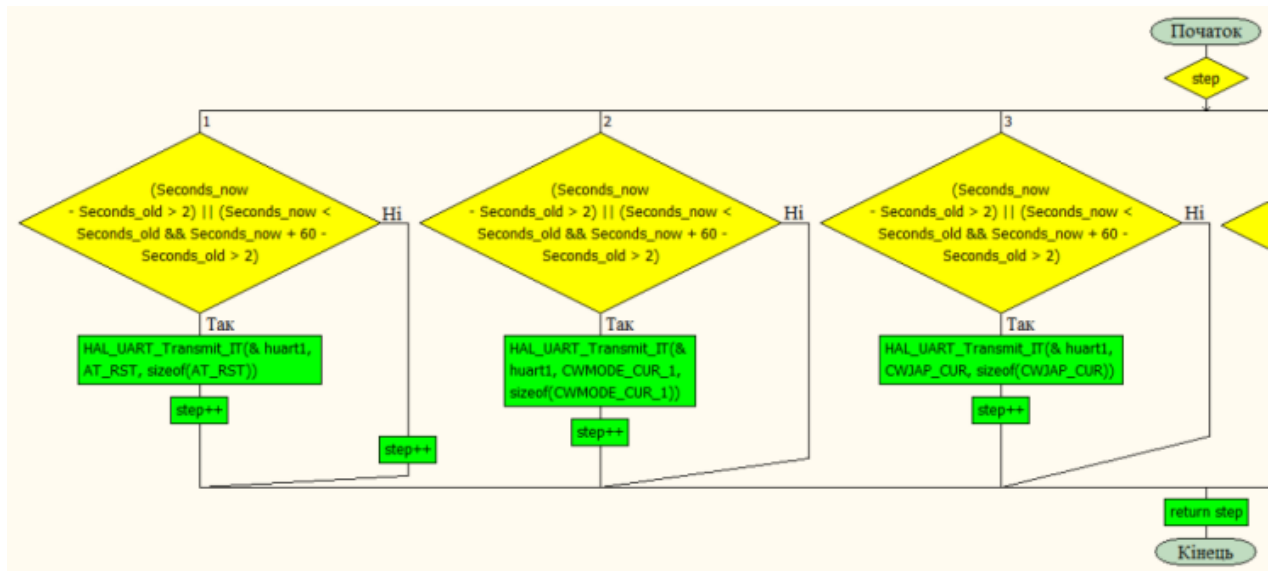


Рисунок 3.4.1 - Блок-схема функції reconnect

3.6 Функція Internet_Update

На рис.3.6.1 наведено блок-схему функції Internet_Update. Ця функція відповідає за синхронізацію часу з сервером.

Спочатку вона перевіряє наявність Wi-Fi підключення, якщо зв'язок відсутній – функція прирівнює status = 0.

Якщо зв'язок присутній, то надсилається запит на сервер, після чого актуальний час записується у реєстри RTC та передані змінні. По завершенні status = 1.

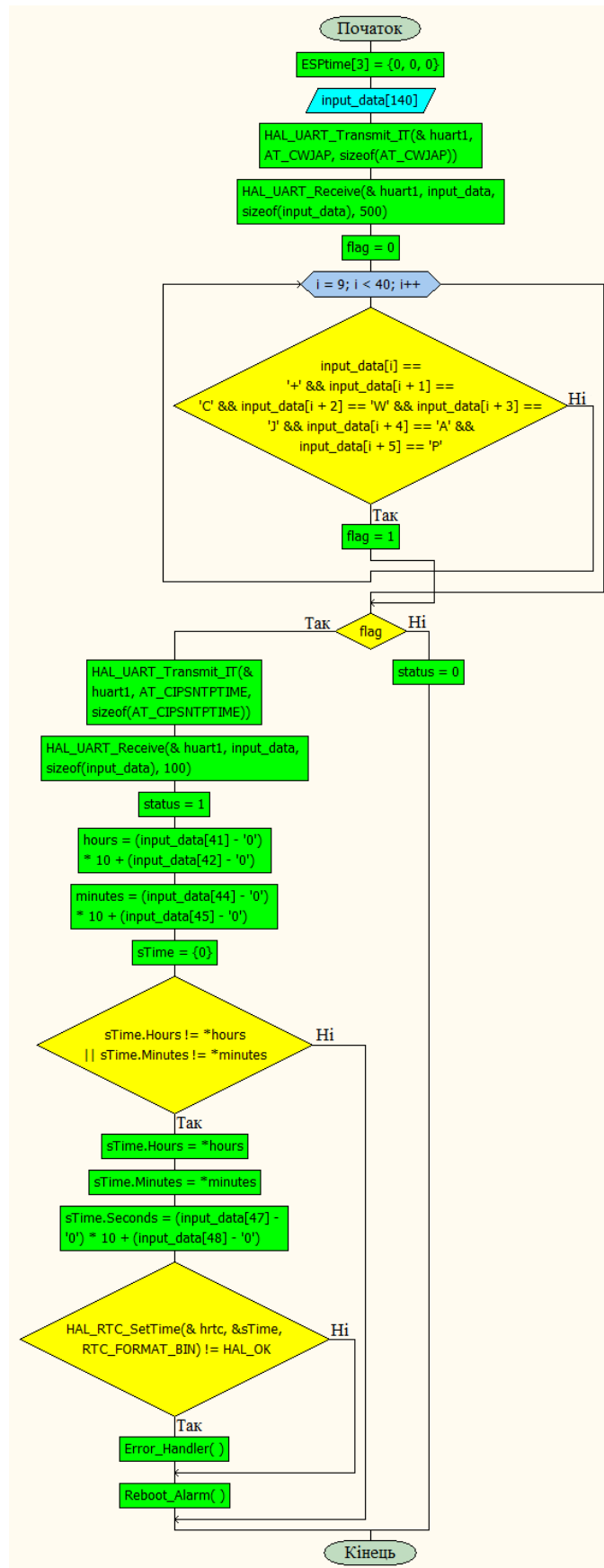


Рисунок 3.6.1 - Блок-схема функції Internet_Update

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК92.676764.001ПЗ

Арк.

33

3.7 Функції Reboot_Alarm та HAL_RTC_AlarmAEventCallback

Функція Reboot_Alarm є функцією перезавантаження, вона перезапускає переривання, яке буде викликане через 1 секунду або через заданий користувачем час (в залежності від значення RTC_CNT), та змінює значення флагоу RTC_CNT.

HAL_RTC_AlarmAEventCallback – є обробником переривання, якщо було викликано переривання та активовано автоматичне збереження даних на ПК вона змінює стан змінної Ctrl_S_do_flag.

Якщо Ctrl_S_do_flag рівен 1, то буде викликана функція мигання збереження, яка мигає екраном та емулює натискання «Ctrl+S».

3.8 Функція збереження даних на ПК

Якщо спрацювало переривання, та піднявся флаг збереження даних. Спочатку дисплей вмикає та вимикає підсвітку декілька разів, для привертання уваги користувача. Після чого виконується наступний код:

keyboardhid.MODIFIER = 0x01; — записує у стан «клавіатури» команду натискання клавіші «Ctrl»;

keyboardhid.KEYCODE1 = 0x16; —записує у стан «клавіатури» команду натискання клавіші «S»;

USBHID_SendReport(&hUsbDeviceFS, &keyboardhid, sizeof (keyboardhid)); — надсилає ПК інформацію про нажаті клавіші;

HAL_Delay(50); — затримка для надання ПК часу для обробки отриманих команд. Так як використовується протокол HID, який розроблено для роботи з користувачем – людиною, потрібно досить багато часу, щоб ПК вірно обробив отриману команду;

keyboardhid.KEYCODE1 = 0x00; — записує у стан «клавіатури» команду відпускання всіх клавіш з символами, у тому числі і кнопки «S»;

keyboardhid.MODIFIER = 0x00; — записує у стан «клавіатури» команду відпускання всіх додаткових клавіш, у тому числі і кнопки «Ctrl»;

USBHID_SendReport(&hUsbDeviceFS, &keyboardhid, sizeof (keyboardhid)); — надсилає ПК інформацію про новий стан клавіш;

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ctrl_S_do_flag=0; — скидає флаг збереження;

Reboot_Alarm(); — перезапускає обробку переривання.

Для роботи цих команд, використовувалися стандартні бібліотеки, а саме «usb_device.h» та «usbd_hid.h».

За допомогою цих бібліотек, при підключенні цифрового метео-хронометра до ПК. Контролер – STM32F103, передає комп'ютеру інформацію про підключення додаткової клавіатури. За тип підключеного пристрою та його налаштування відповідають функції «USBD_HID_CfgFSDesc» та «HID_MOUSE_ReportDesc» у файлі «usbd_hid.c».

Висновок до третього розділу

В даному розділі було розглянуто будову програмного коду.

Дане програмне забезпечення написано для версії проекту з використанням дисплея LCD12864B, але завдяки об'єктно орієнтованому проектуванню переписавши лише одну функцію, а саме – disp_update, можна адаптувати для дисплея 1602 або будь якого іншого.

Розробка алгоритму проводилася за допомогою середовища Cube IDE. Використання Cube MX, бібліотеки HAL та об'єктно орієнтованого проектування вдалося покращити читабельність коду, спростити його написання та значно підвищити рівень абстракції. Хоча, все одно, деякі функції довелося написати за допомогою мови програмування – “assembler”.

Використання Асемблера дозволило значно повисити швидкість виконання коду. Саме через необхідність у дуже швидкій обробці даних на цій мові було написано функції програмного SPI та мікросекунди затримок.

Фінальний код вийшов досить оптимізованим. Всі довгі, блокуючі затримки було видалено та замінено на неблокуючі з використанням таймерів. Деякі блокуючі затримки було залишено для покращення читаємості кода, якщо вони було не довгі, або якщо викликаються дуже рідко і їх видалення майже не вплине на роботу пристрою.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як приклад – довгі затримки, по 500мс, сумарною тривалістю – 2.5 секунди, при миганні дисплея, перед збереженням даних на ПК. Їх не було видалено через відносну рідкість виклику, не частіше одного разу у хвилину та те що їх заміна на неблокуючі затримки призвела б до значного ускладнення програмного коду, що могло б призвести до непередбачуваних багів.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

4 Проектування друкованого вузлу

4.1 Вибір і обґрунтування типу друкованої плати

Друкована плата призначена для з'єднання електронних компонентів відповідно до схеми електричної принципової.

ДП являє собою діелектричну підложку на яку нанесено струмопровідний матеріал певним чином. Струмопровідний матеріал може бути нанесено з однієї або з декількох сторін. Також ДП можуть склеюватися “бутербродом”, або наноситися додаткові діелектричні та струмопровідні слої щоб отримати плати з 4, 6, 8 та більше шарами.

Більша кількість слоїв дозволяє зробити плату більш компактною, використовувати BGA компоненти, розносити заважаючі сигнали далі один від одного та інше.

Одношарові плати дуже прості у виробництві, що дозволяє виготовляти їх вдома такими методами як ЛУТ та за допомогою фоторезиста. Також такі плати можна виготовляти на алюмінієвій підложці, для покращення тепловідведення.

Двошарові плати також можна виготовити в домашніх умовах, але це вже значно складніше, натомість такий тип плат дозволяє зробити значно складніші плати та обійтися без перемичок.

Чотирьохшарові плати вже майже неможливо виготовити вдома, проте їх можна замовити на виробництві. Зазвичай на внутрішні слої виносять підключення живлення та землі, а на зовнішніх трасують сигнальні провідники. Такий тип трасування дозволяє залишити високий рівень ремонтпридатності, так як всі інформаційні провідники доступні ззовні, дані плати мають гарні високочастотні характеристики, через те що внутрішні слої не дозволяють перешкодам зовнішніх слоїв передаватися друг другу. Також виготовлення даних плат є досить дешевим.

Шестишарові і більше шарові плати використовуються нечасто через їх складність у виробництві, погану ремонтпридатність та велику ціну. Про те даний тип плат дозволяє робити дуже складні ДП з використанням BGA корпусів та з великою щільністю компонентів.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для данного проекту було обрано чотирьохшаровий тип плати. Саме його було обрано через достатню щільність розміщення компонентів, гарну ремонтпригодність та невелику ціну у виробництві, на сайті JLCPCB[8] виготовлення п'яти плат данного типу коштує 10\$, а виготовлення п'яти таких самих ДП але шестишарових вже коштує більше 60\$.

4.2 Вибір і обґрунтування матеріалу ДП

Виготовлялася ДП на виробництві JLCPCB. З доступних матеріалів для виготовлення основи в них доступно FR-4, Flex, алюміній, copper core, Rogers, PTFE teflon.

Flex не підходить, оскільки це основа для виготовлення гнучких плат, а даний проект передбачає звичайну тверду плату.

Алюміній відпадає через те, що цей матеріал використовується, коли потрібно відводити дуже багато тепла та не дозволяє виготовляти плати з кількістю слоїв більше одного.

Copper core не підходить також через доступність лише одношарових плат, так само як і Rogers, PTFE teflon не підходять лише через доступність тільки двошарових плат.

Таким чином підходящим матеріалом залишається тільки FR-4.

Виробник JLCPCB пропонує матеріал FR-4 з температурою склеювання 135-140 градусів та 155 градусів. Для данного проекту було обрано другий варіант через можливість використання безсвинцевого припою, що відповідає вимогам RoHS, а також виробник обіцяє більшу точність при виготовленні ДП з даного матеріалу.

4.3 Вибір і обґрунтування класу точності ДП

ГОСТ 23751-86 [9] передбачає п'ять класів точності ДП. На Таблиця 4.3.1 наведено перелік класів точності та вимог до них.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3.1 - Класи точності ДП за ГОСТ 23751-86

Параметер	Клас точності				
	1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника $b_{\text{пр}}$, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Відстань S між краями сусідніх елементів провідного рисунку, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Гарантований поясок $b_{\text{по}}$, мм	0.30	0.20	0.10	0.05	0.03
Відношення $f_{\text{дт}}$ номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	0.40	0.40	0.33	0.25	0.20
Щільність монтажу	мала	середня	середня	висока	висока

Чим вище клас точності, тим щільніше можна розміщувати компоненти на платі, але тим складніше та дорожче виготовляти ДП.

Елементами з найменшими допусками в даному проекті є STM32F103 у корпусі LQFP48 рис.4.3.1 та роз'єм USB C 1054500101 від Molex [10] рис.4.3.2.

Виходить що для виготовлення ДП відходить 4й та 5й класи точності, тому обираємо 4й клас. Тепер потрібно перевірити чи може виробник JLCPCB виготовити плату такої точності. Як видно з рис.4.3.3 JLCPCB можуть забезпечити потрібну точність.

Для того, щоб не допустити при трасуванні таких місць, які виробник не зможе виготовити належним чином, всі вимоги виробника з його сайту [8] було перенесено до розділу rules в програмі Altium Designer. Після внесення цих даних данне програмне середовище буде попереджати у випадку якщо інженер буде намагатися зробити якісь з'єднання які не можливо виготовити.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

	Min. Trace width	Min. Spacing	Patterns
1-2 Layers	5mil (0.127mm)	5mil (0.127mm)	
4-6 Layers	3.5mil (0.09mm)	3.5mil (0.09mm)	
2oz Copper weight	8mil (0.2mm)	8mil (0.2mm)	
Min. Solder bridge	0.10mm	2 layers: 0.10 mm regular, 0.08 mm minimum (0.13 mm with black or white soldermask). Multilayer: 0.08 mm (0.13 mm with black or white soldermask). Soldermask webs are possible between pads at least 4 mil apart.	

Рисунок 4.3.3 - Точність яку може забезпечити виробник JLCPCB

4.4 Трасування плати у середовищі Altium Designer

Altium Designer – програмне середовище для розробки електронних схем, друкованих плат та документації для них.

Дане програмне середовище дозволяє:

Створювати власні бібліотеки посадкових місць та УГП для компонентів, завантажувати вже готові компоненти від виробників, які доступні в таких магазинах як DigiKey, Mouser та інші;

Трасувати ДП;

Перевіряти дотримання умов виробника до ДП;

Перевіряти відповідність готової ДП до схеми;

Отримувати 3Д модель ДП, дана функція буде корисною при розробці корпусу для готового пристрою, оцінювання його габаритів та іншого.

Експортувати плати у форматах необхідних для виготовлення плати на виробництві;

Створювати супутню документацію для ДП, таку як складальне креслення, схема електрична принципова та інші документи.

Перед початком трасування було перенесено всі вимоги виробника JLCPCB до розділу rules, завдяки цьому Altium Designer не дасть допустити місць які неможливо виготовити при заданій точності.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

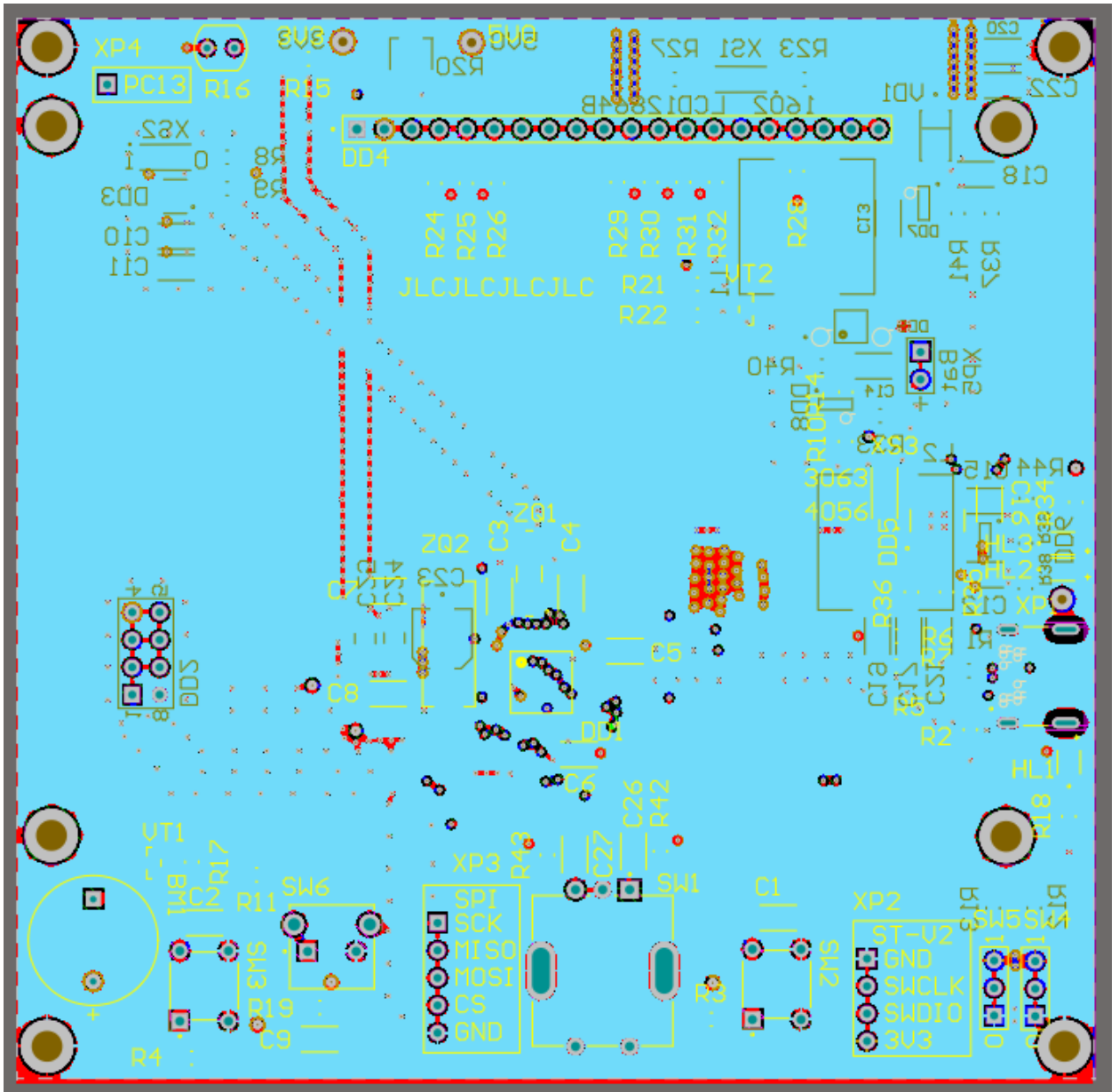


Рисунок 4.4.2 - Другий шар ДП, шар землі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК92.676764.001ПЗ

Арк.

43

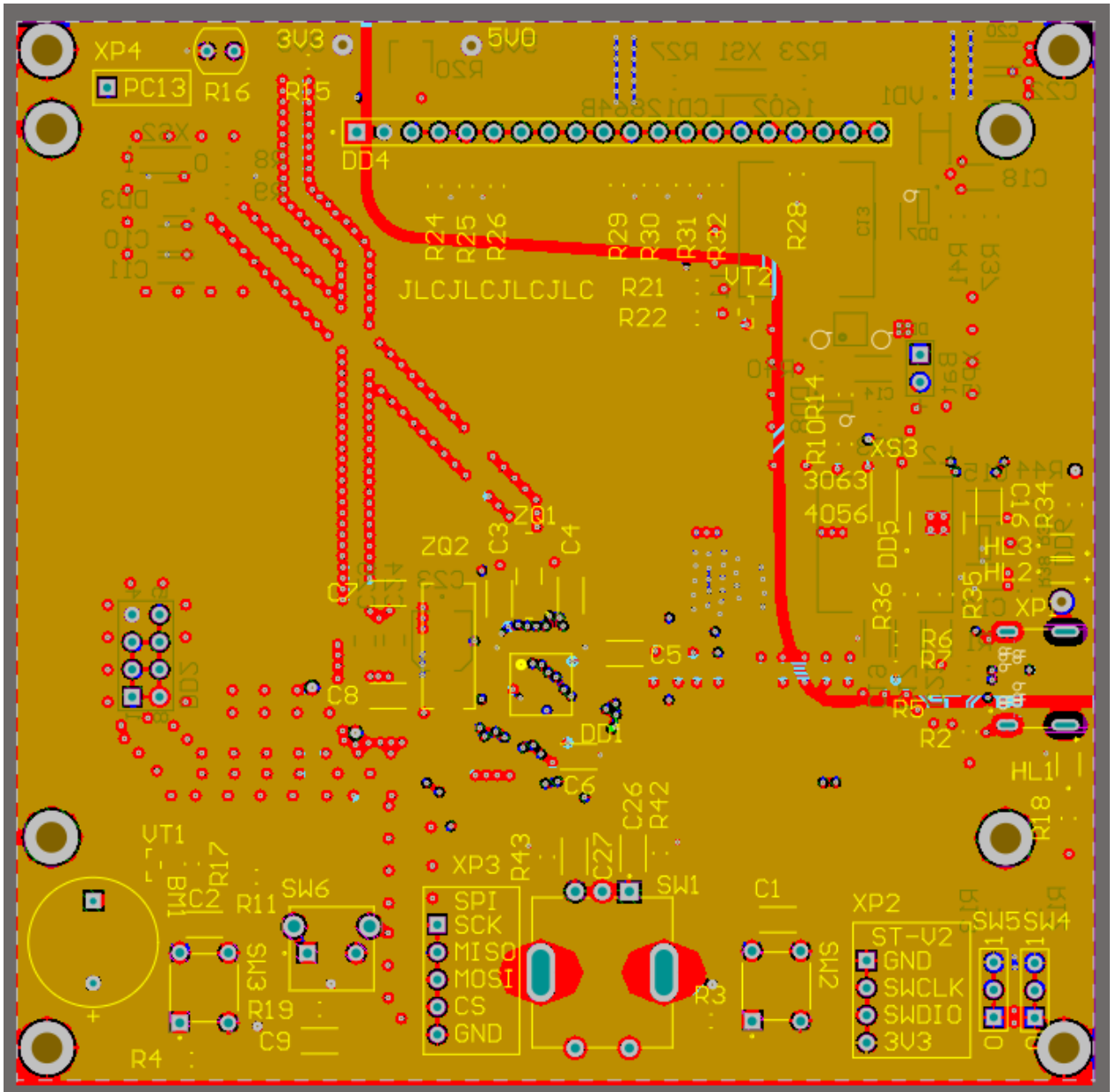


Рисунок 4.4.3 - Третій шар ДП, шар живлення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК92.676764.1.001ПЗ

Арк.

44

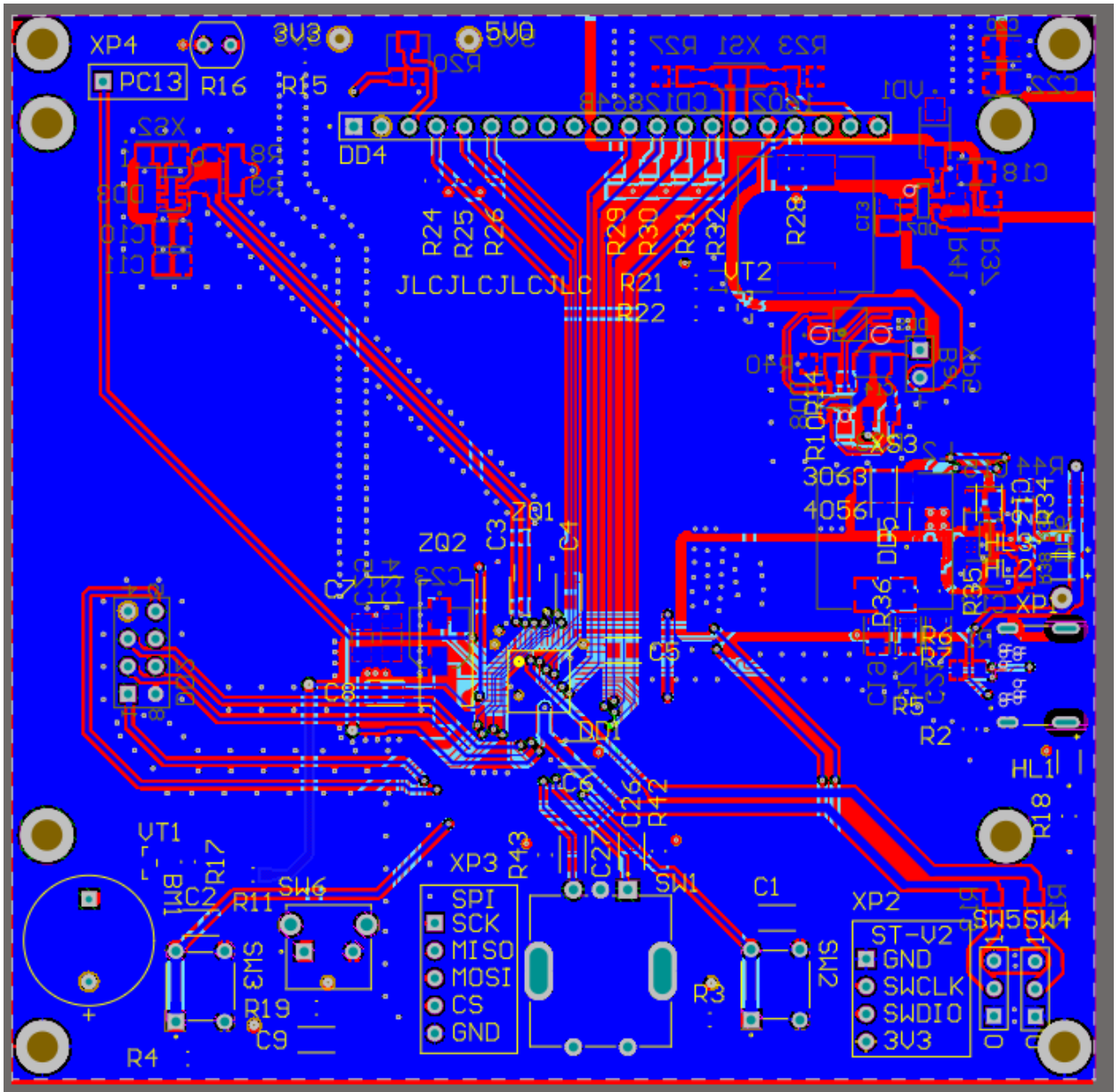



Рисунок 4.4.4 - Четвертий шар ДП

4.5 Вибір і обґрунтування інших параметрів при оформленні замовлення на JLCPCB

На рис.4.5.1, рис.4.5.2 та рис.4.5.3 наведено які параметри було обрано при оформленні замовлення на виготовлення ДП у виробника JLCPCB. В даному розділі буде обґрунтовано вибір найбільш важливих з них.



← [Back to Upload File](#) Detected 4 layer board of 98x99.68mm(3.86x3.92 inches) . [Gerber Viewer](#)

Base Material ? FR-4 Flex Aluminum Copper Core Rogers PTFE Teflon

Layers ? 1 2 4 High Precision PCB 6 8 10 12 14 16 18 20

Dimensions ? *

PCB Qty ?

Product Type ? Industrial/Consumer electronics Aerospace Medical

PCB Specifications ^

Different Design ? 1 2 3 4

Delivery Format ? Single PCB Panel by Customer Panel by JLCPCB

PCB Thickness ? 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.6 2.0

Рисунок 4.5.1 - Параметри які було обрано при оформленні замовлення у виробника JLCPCB

Вибір матеріалів та кількість слоїв було розглянуто у попередніх розділах.

Тип ДП – Industrial/Consumer electronics було обрано, так як мій виріб не потребує особливої перевірки зі сторони виробника, через те що від нього не залежать життя людей, але данні перевірки значно підвищують вартість ВИГОТОВЛЕННЯ.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

PCB Color Green Purple Red Yellow Blue White Black

Silkscreen White

Material Type FR4-Standard TG 135-140 FR-4 TG155 FR-4 TG170

Surface Finish HASL(with lead) LeadFree HASL ENIG

High-spec Options

Outer Copper Weight 1 oz 2 oz

Inner Copper Weight 0.5 oz 1 oz 2 oz

Specify Layer Sequence No Yes

Impedance Control No Yes [Impedance calculator >](#)

Layer Stackup No requirement JLC04161H-7628 JLC04161H-3313 JLC04161H-1080
 JLC04161H-7628A JLC04161H-7628B JLC04161H-3313A JLC04161H-1080A
 JLC04161H-2116A JLC04161H-2116B JLC04161H-2116C [View Stackup](#)

Via Covering Tented Untented Plugged Epoxy Filled & Capped Copper paste Filled & Capped

Min via hole size/diameter 0.3mm/(0.4/0.45mm) 0.25mm/(0.35/0.4mm) 0.2mm/(0.3/0.35mm) 0.15mm/(0.25/0.3mm)

Board Outline Tolerance ±0.2mm(Regular) ±0.1mm(Precision)

Confirm Production file No Yes

Рисунок 4.5.2 - Параметри які було обрано при оформленні замовлення у виробника JLCPCB

Зелений колір паяльної маски було обрано, через те що, виробник саме для цього кольору обіцяє найбільшу точність ДП, так як плата для цього проекту потребує мінімум 4го класу точності — інші кольори не підходять.

Вибір температури склування було обґрунтовано у розділі 4.2.

Покриття доріжок припоєм HASL з використанням свинцю було обрано через дешевизну, покриття золотом в даному проекті не є доцільним. Від використання безсвинцевого припою було прийнято рішення відмовитися через його високу температуру плавлення, що могло викликати проблеми при збірці в домашніх умовах. Від дотримання вимог RoHS, в даному випадку можна відійти через те що даний виріб зібрано в одиничному екземплярі. Якщо це пристрій піде в серію доведеться повністю перейти на безсвинцевий припой.

					<i>ДК92.676764.1.001ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщину міді слоїв було залишено за замовчуванням 1oz,0 та 0,5oz, ширина доріжок та невеликі струми дозволяють не збільшувати товщину. Збільшення товщини веде до значного здорожчення ДП.

Контроль імпеданса плати було вимкнено, через використання USB протокола, для якого імпеданс сигнальних доріжок має дорівнювати 90Om. На рис.4.5.4 наведено обраний профіль JLS04161H_3313, на рис.4.5.5 наведено той самий профіль – перенесений до програмного середовища Altium Designer

Перехідні отвори було обрано з покриванням маскою, але без заповнення. Заповнення значно підвищує вартість, але в даному проекті в ньому відсутня необхідність. Покриття маскою захищає отвори від зовнішнього середовища та виглядає краще ніж не покриті маскою отвори. Чи покривати отвір маскою також потрібно обирати при трасуванні плати, це дозволяє покрити маскою тільки потрібні отвори.

Мінімальний діаметр перехідних отворів, при замовленні був доступний вибір, або 0,2/0,45, або 0,2/0,4. Було обрано перший варіант через достатню точність та малу ціну. Зараз параметри вибору змінилися, якби довелося б замовляти зараз, то було б обрано варіант 0,3/(0,4/0,45) та перероблено плату під нього. Такий вибір обґрунтовується тим що для всіх інших варіантів примусово вмикається 4-Wire Kelvin Test, який коштує 17\$, що являє собою майже дві ціни виготовлення плати без цього тесту.

Точність виготовлення периметру плати було обрано за замовчуванням 0,2мм. Дана точність допустима для цього проекту.

Також була ввімкнена перевірка замовлення інженерами JLCPCB, щоб уникнути можливих ситуацій непорозуміння.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Remove Order Number No Yes

Flying Probe Test

Gold Fingers No Yes

Castellated Holes No Yes

Рисунок 4.5.3 - Параметри які було обрано при оформленні замовлення у виробника JLCPCB

Виробник на кожній платі залишає свій серійний номер, на номер повпливати не можна, але можна вибрати де він буде розташований. Для цього в місці яке потім буде закрито компонентами було нанесено напис шолкограією JLCJLCJLCJLC, при виробництві JLCPCB замінять цей текст своїм серійним номером.

Всі інші параметри було залишено вимкненими за непотрібністю та для зменшення ціни виробництва.

Layer Stackup ✕

Layers: 4 Thickness: 1.6 Outer Copper Weight: 1 Inner Copper Weight: 0.5

No requirement

JLC04161H-7628

JLC04161H-3313

JLC04161H-1080

JLC04161H-7628A

JLC04161H-7628B

JLC04161H-3313A

JLC04161H-1080A

JLC04161H-2116A

JLC04161H-2116B

JLC04161H-2116C

layer	Material Type	Thickness	
Layer	Copper	0.035mm	
Prepreg	3313*1	0.0994mm	
inner Layer	Copper	0.0152mm	1.3mm (with copper con
Core	Core	1.265mm	
inner Layer	Copper	0.0152mm	
Prepreg	3313*1	0.0994mm	
Layer	Copper	0.035mm	

* This is a special stackup, and it doesn't support economic PCB assembly.

Рисунок 4.5.4 - Layer stackup для JLC04161H-3313

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк. 49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df
	Top Overlay		Overlay				
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01016mm	3.5	
1	Top Layer	Copper	Signal	1oz	0.03556mm		
	Dielectric 2	PP-011	Prepreg		0.0994mm	4.05	0.02
2	GND Layer	Copper	Signal	1oz	0.0152mm		
	Dielectric 1	Core	Dielectric		1.065mm	4.2	
3	VCC Layer	Copper	Signal	1oz	0.0152mm		
	Dielectric 3	PP-011	Prepreg		0.0994mm	4.05	0.02
4	Bottom Layer	Copper	Signal	1oz	0.03556mm		
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01016mm	3.5	
	Bottom Overlay		Overlay				

Рисунок 4.5.5 - Layer stackup для JLC04161H-3313 перенесений у Altium Designer

4.6 Вибір і обґрунтування корпусу і кріплення ДП

Так як даний хронометр передбачає постійне знаходження поряд з ПК, йому потрібен корпус.

Необхідність у корпусі виникає через те що годинник має знаходитися в вертикальному положенні, для зручного зчитування інформації та правильної роботи термометра, захисту від користувача, щоб не можна було випадково відірвати якісь компоненти, та гарного вигляду пристрою.

Коли розробка плати завершилася, з програмного середовища Altium Designer було експортовано 3д модель плати (рис.4.6.1-4.6.3) з компонентами та імпортовано в програмне середовище Fusion 360.

У Fusion 360 було розроблено корпус для хронометра, фото 3д моделі корпусу наведено на рис.4.6.4. У корпусі передбачено отвори для кнопок, енкодера, біпера, USB C роз'єма, проходження повітря, для виміру температурі та тиску, роз'єма завантаження ПЗ, роз'єма підключенні додаткових модулів по SPI, переминок для вибору режиму завантаження, діодів живлення та зарядки, фіксації задньої кришки, кнопки перезавантаження, датчика освітленості та дисплея.

По завершенню розробки корпусу його було надруковано на 3д принтері. На рис.4.6.5 наведено фото під час виготовлення корпусу, на рис.4.6.6 наведено фото зібраного прототипа цифрового метео-хронометра.

					<i>ДК92.676764.1.001ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

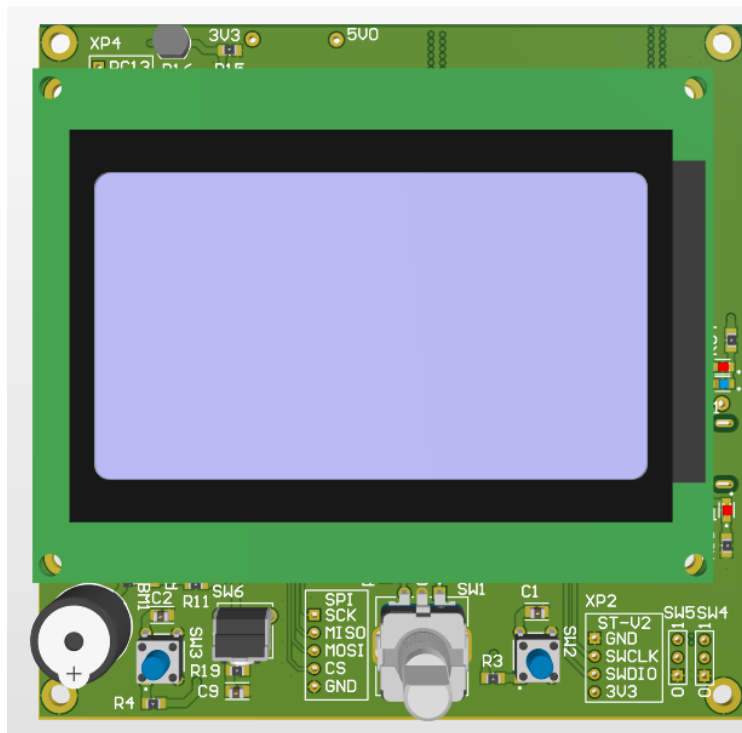


Рисунок 4.6.1 - 3D вид ДП спереду

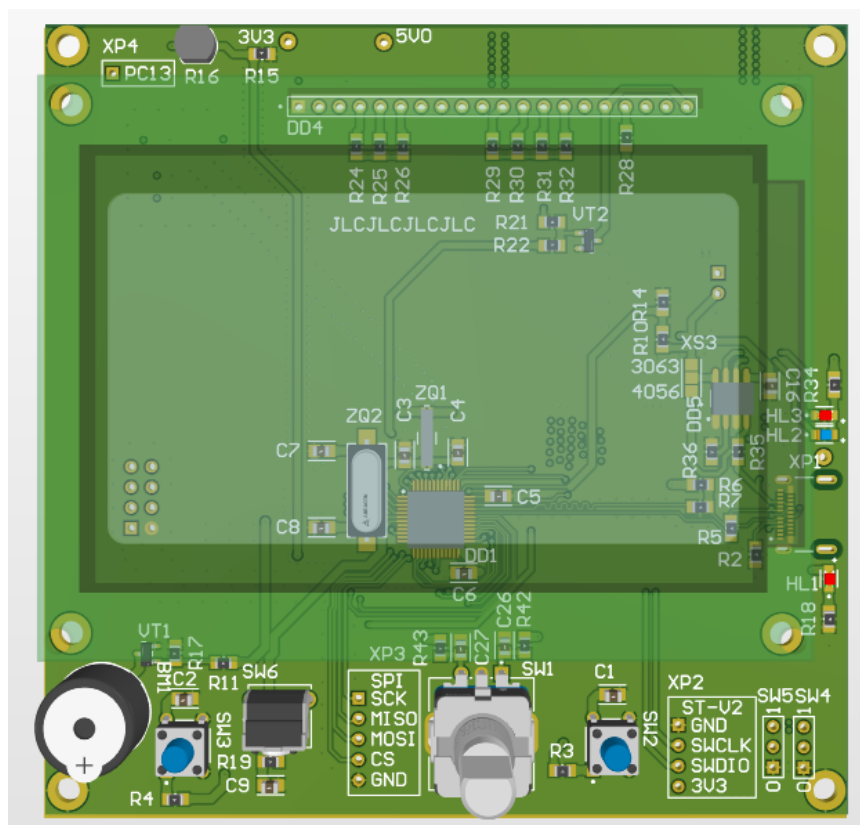


Рисунок 4.6.2 - 3D вид ДП спереду, без дисплея

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК92.6767641.001ПЗ

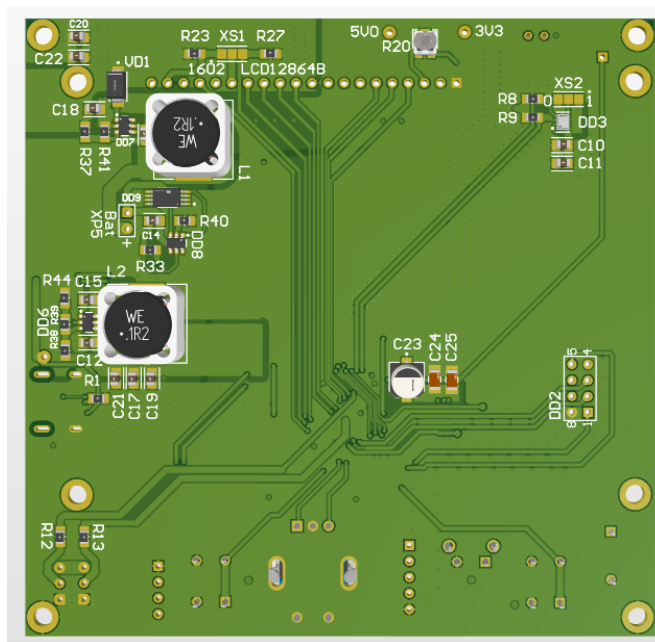


Рисунок 4.6.3 - 3D вид ДП ззаду

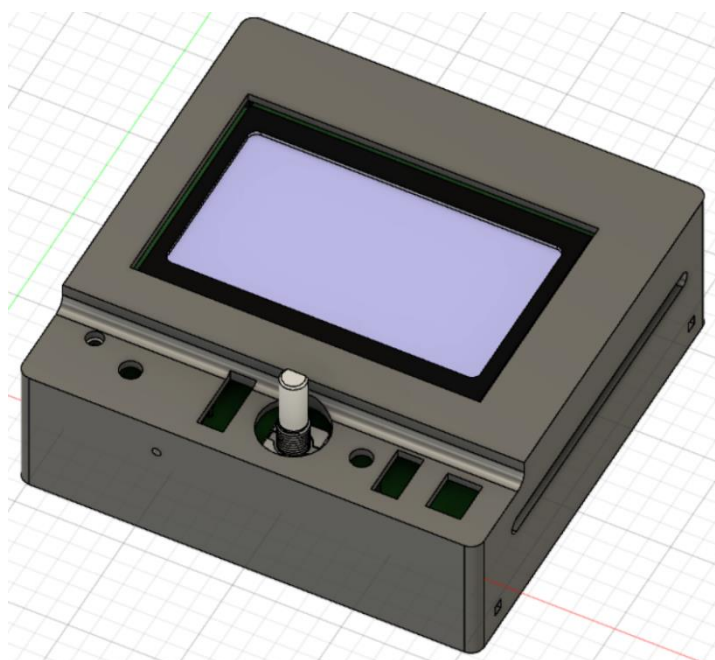


Рисунок 4.6.4 - 3D вид корпусу з хронометром всередині

					<i>ДК92.676764.1.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

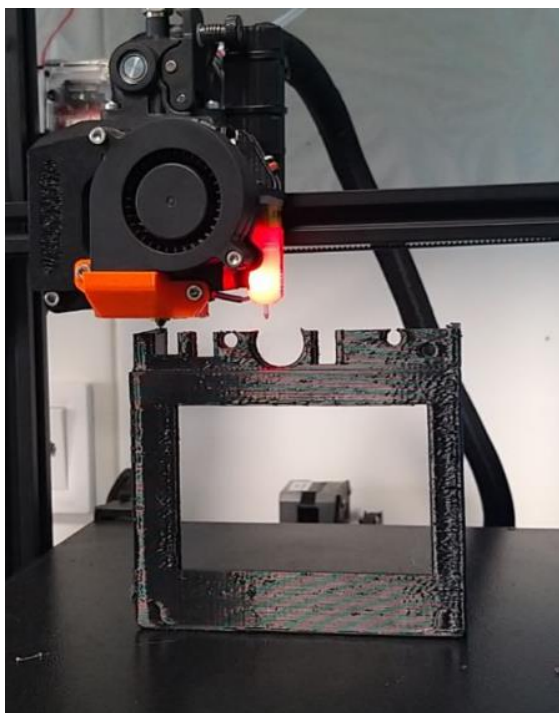


Рисунок 4.6.5 - Друк корпусу



Рисунок 4.6.6 - Прототип цифрового метео-хронометра

Висновок до четвертого розділу

В даному розділі було розглянуто проектування друкованого вузлу (плати) для цифрового метео-хронометра. Було розглянуто та обрано тип ДП – чотирьохшаровий. Саме ця кількість слоїв виявилася найкращою у співвідношенні ціна/щільність доріжок.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Було проаналізовано різні класи точності, для даного проекту було обрано 4й клас точності, вирішуючим фактором стали вимоги до футпрінта мікросхеми STM32.

З доступних для замовлення у виробника JLPCSB матеріалів для ДП найкращим було обрано FR-4 з температурою слухання в 155 градусів.

Після перенесення всіх необхідних правил, з сайту виробника ДП, у розділ rules програмного середовища Altium Designer. Було трасовано ДП відповідно до вимог виробника. По завершенні трасування та перевірки на помилки, за допомогою інструмента Design rule check, було оформлено замовлення для виготовлення п'яти друкованих плат силами виробництва JLPCSB. Для цього було передано виробнику gerber файли.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						54
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

5 Розрахунки що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень

5.1 Розрахунок мінімальної ширини провідника при постійному струмі для ланцюга живлення

Мінімальну ширину друкованої доріжки в мм, при постійному струмі можна визначити за формулою (5.1.1).

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{J_{доп} * t_{пров}} \quad (5.1.1)$$

b_{minI} – мінімальна ширина провідника;

I_{max} – максимальний струм який буде протікати по доріжці ДП;

$J_{доп}$ – максимальна щільність струму, за ГОСТ 23751-86 [9] дорівнює 100А/мм²

$t_{пров}$ – товщина провідника, дорівнює товщині мідного покриття. Для зовнішніх слоїв, в даному проєкті, це – 1oz (0,035мм). Для внутрішніх це – 0,5oz (0,018мм).

Розрахунок буде проводитися для доріжок живлення від роз'єму USB. Живлення від USB заходить на модуль зарядки АКБ, після чого живлення розходить по всій платі.

В схемі зарядки АКБ струмозадаючий резистор R36 (рис.5.1.1) має опір 1800 Ом. За формулою для інтегральної мікросхеми (ІМ) CN3063 (формула 5.1.2) максимальний струм буде рівний 1А (на практиці дана ІМ не дозволяє пропустити через себе більше ніж 0,6А. Але для розрахунків буде використане значення в 1А, так як в теорії такий струм може пропустити через себе 4056, якщо змінити струмозадаючий резистор).

$$I_{CH} = 1800V / R_{ISET} \quad (5.1.2)$$

Формула для розрахунку максимального струму заряду для ІМ CN3063 (формула взята з офіційної документації на ІМ CN3063 [11])

I_{ch} – максимальний струм який буде пропусками ІМ;

R_{iset} – опір струмозаючого резистора.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формулою для інтегральної мікросхеми (ІМ) 4056 (формула 5.1.3) максимальний струм буде рівний 0,6А.

$$I_{ch} = 1200/R_{iset} \quad (5.1.3)$$

Формула для розрахунку максимального струму заряду для ІМ 4056 (формула взята з офіційної документації на ІМ 4056 [12])

I_{ch} – максимальний струм який буде пропусками ІМ;

R_{iset} – опір струмозаючого резистора.

Тепер розрахуємо мінімальну ширину провідника за формулою (5.1.1), для найгіршого варіанта 1А.

$$b_{min} = 1/(100 * 0,035) = 0,29(\text{мм}) \quad (5.1.4)$$

На ДП від USB живлення йде по двом провідникам шириною 0,2мм, а далі йде по провіднику 0,5мм. Тому максимальна щільність струму не буде перевищена.

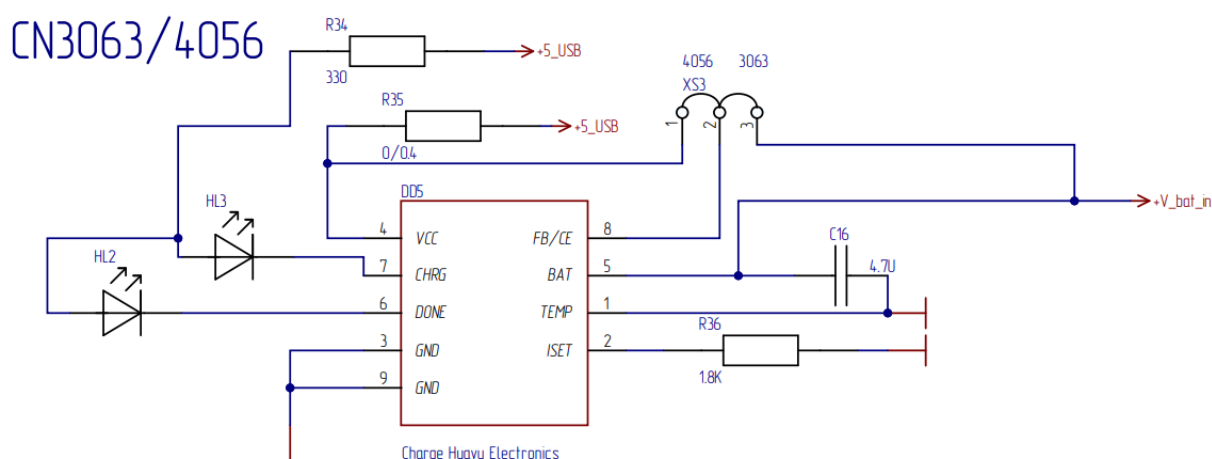


Рисунок 5.1.1 - Схема блоку зарядки АКБ

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

За формулою (5.2.1) визначимо мінімальну ширину провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * l_{np}}{U_{дон} * t_{пров}} \quad (5.2.1)$$

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$b_{\min U}$ – мінімальна ширина провідника (мм);

ρ – питомий опір провідника, 0,018 Ом*мм²/м;

I_{\max} – максимальний струм;

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина провідника, 55мм;

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги 5В*0,05=0,25;

$t_{\text{пров}}$ – товщина провідника.

$$b_{\min} = 0,018 * 1 * 0,055 / (0,25 * 0,035) = 0,113 (\text{мм})$$

Отримане значення не перевищує отриманого раніше 0,29мм.

5.3 Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

За формулою (5.3.1) визначимо падіння напруги на провіднику живлення від USB.

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} \quad (5.3.1)$$

$b_{\text{пр}}$ – ширина провідника;

ρ – питомий опір провідника, 0,018 Ом*мм²/м;

I_{\max} – максимальний струм;

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина провідника, 55мм;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника.

$$U_{\text{пад}} = 0,018 * 1 * 0,055 / (0,4 * 0,035) = 0,035 (\text{В}) \quad (5.3.2)$$

Даний провідник було зроблено шириною 0,4мм, так як дане значення збільше розрахованого – 0,29мм, а місце на ДП дозволяє зробити провідник шириною трохи більше. Завдяки чому можна зменшити втрати на провіднику, а також зменшити наслідки, якщо при виготовленні ДП, в наслідок травлення плати, товщина провідного шару зменшиться, або при збірці плати буде незначне пошкодження провідника. Це дозволить зменшити вірогідність браку, або поломки пристрою.

Розраховане значення падіння напруги не перевищує 5% від 5В – 0,25В.

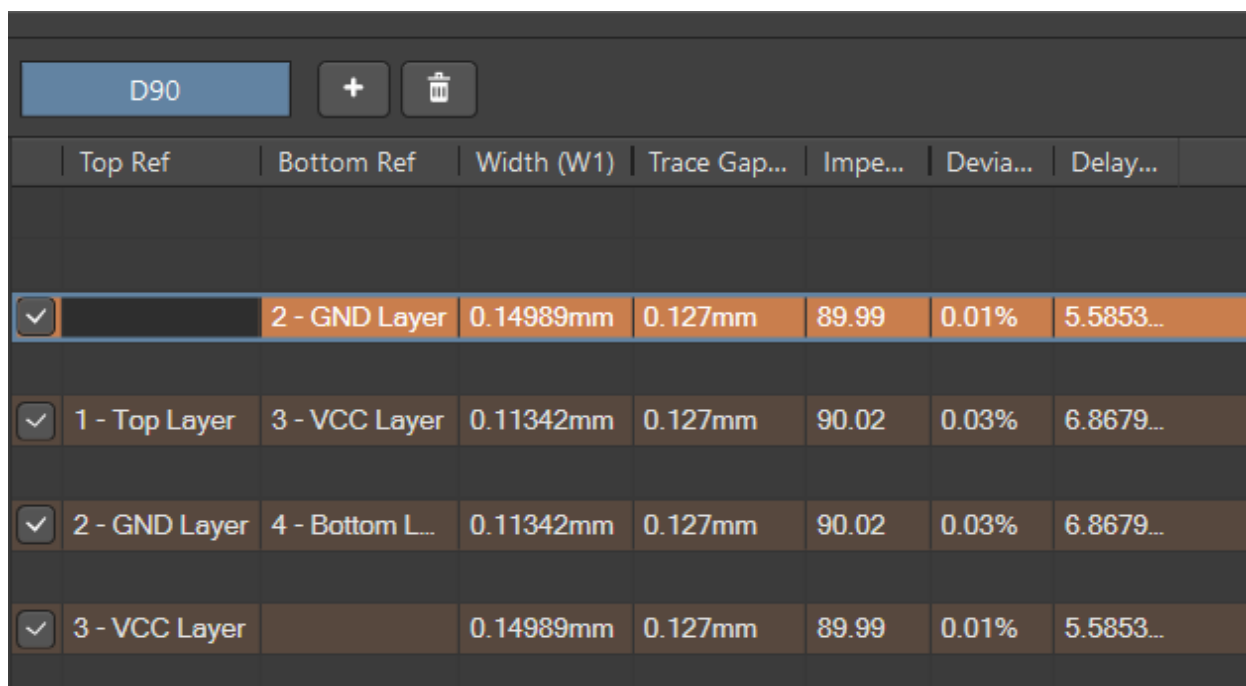
					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4 Розрахунок імпедансу для інформаційних провідників протоколу USB

Протокол USB вимагає значення імпедансу 90Ом для його інформаційних провідників.

Для коректного розрахунку цього параметра до програмного середовища Altium Designer було перенесено параметри layer stackup від виробника JLCPCB (рис.4.4.4 та рис.4.4.5).

Було активовано контроль імпедансу, та створено профіль 90 Ом, його налаштування наведено на рис.5.4.1.



	Top Ref	Bottom Ref	Width (W1)	Trace Gap...	Impe...	Devia...	Delay...
<input checked="" type="checkbox"/>		2 - GND Layer	0.14989mm	0.127mm	89.99	0.01%	5.5853...
<input checked="" type="checkbox"/>	1 - Top Layer	3 - VCC Layer	0.11342mm	0.127mm	90.02	0.03%	6.8679...
<input checked="" type="checkbox"/>	2 - GND Layer	4 - Bottom L...	0.11342mm	0.127mm	90.02	0.03%	6.8679...
<input checked="" type="checkbox"/>	3 - VCC Layer		0.14989mm	0.127mm	89.99	0.01%	5.5853...

Рисунок 5.4.1 - Налаштування імпеданс профіля 90 Ом

Також було виконано відповідні налаштування в меню rules (рис.5.4.2).

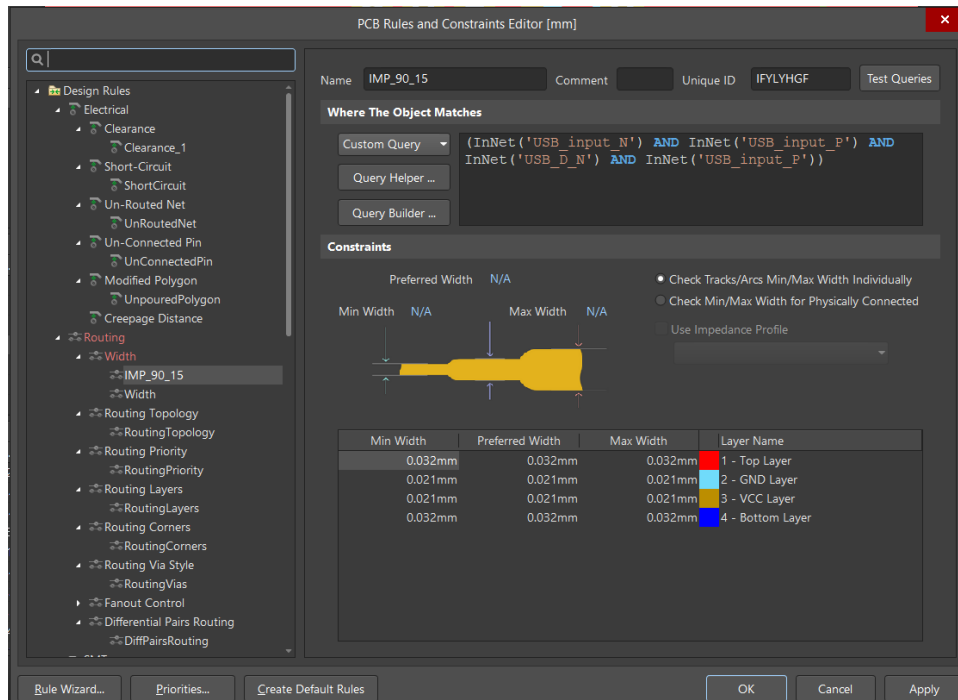


Рисунок 5.4.1а - Налаштування в rules для профіля імпедансу 90 Ом

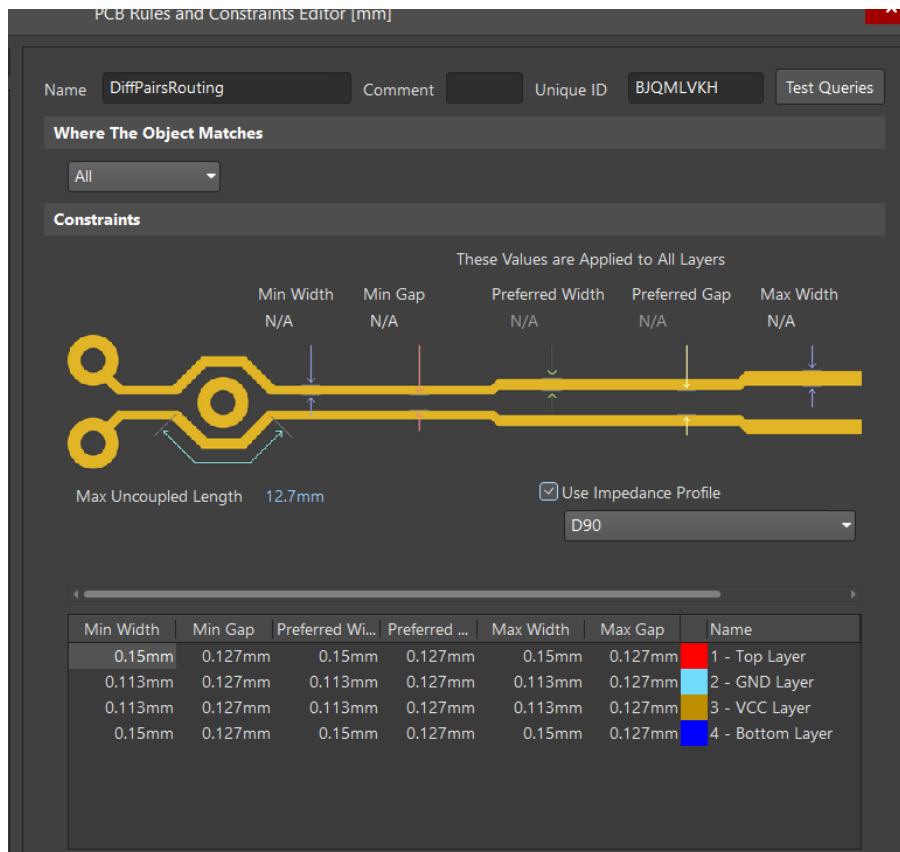


Рисунок 5.4.1б - Налаштування в rules для профіля імпедансу 90 Ом

Після виконання цих налаштувань було активовано контроль довжини відповідних провідників. Для забезпечення однакої довжини провідників використовується інструмент Accordion (рис.5.4.2)

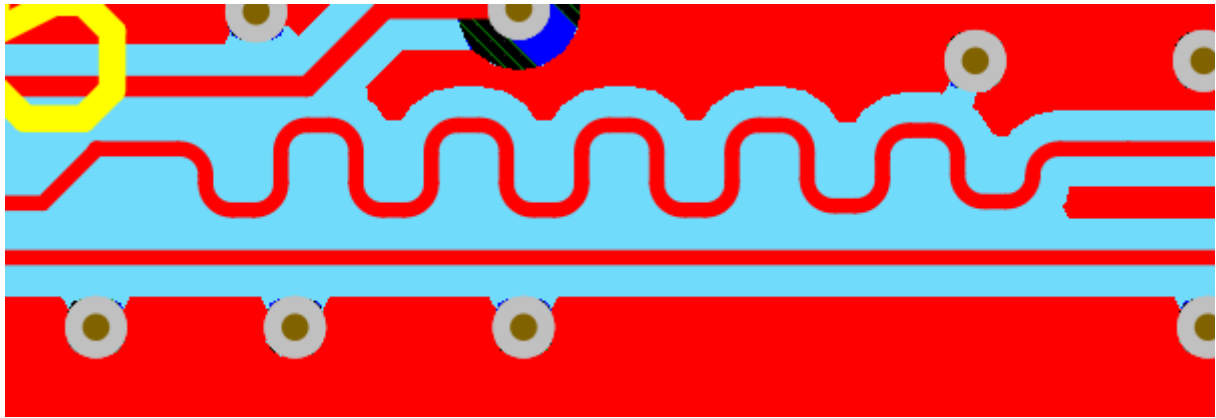


Рисунок 5.4.2а - Використання Accordion

*	Name	Nod...	Signal Length (mm)
<input type="checkbox"/>	USB_D_P	2	33.787
<input type="checkbox"/>	USB_D_N	2	33.787

Рисунок 5.4.2б - Використання Accordion

Висновок до п'ятого розділу

У цьому розділі були проведені розрахунки, що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень. А саме, була розрахована мінімальна ширина для провідників живлення від USB при постійному струмі, була розрахована мінімальна ширина для провідників живлення від USB з урахуванням допустимого падіння напруги, визначено падіння напруги при обраній ширині доріжки та за допомогою програмного середовища Altium Designer, розраховано імпеданс для сигнальних доріжок, які йдуть до роз'єма USB.

Отримані результати підтвердили правильність прийнятих конструкторських рішень.

6 Інструкція користувача

Цей розділ є інструкцією користувача для годинника з додатковим функціоналом першої версії.

Після того як буде подано живлення потрібно дочекатися завантаження та підключення до Wi-Fi. це може зайняти до 60-ти секунд. Після чого на екрані має з'явитися інтерфейс який буде відображати час, температуру, атмосферний тиск, стан підключення до інтернету та інформацію про збереження даних на ПК (рис.6.1).



Рисунок 6.1 - Інтерфейс після вдалого запуску

В разі невдалого першого підключення до інтернету – хронометр почне рахувати час з 00:00 (рис.6.2). Як тільки підключення буде відновлено пристрій синхронізується з NTP сервером ті виведе актуальний час. Якщо зв'язок знову буде втрачено, годинник буде продовжувати рахувати час за допомогою RTC, а також будуть повторюватися спроби відновити зв'язок. На екран буде виведено повідомлення про втрату зв'язку "Inet Error".

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61



Рисунок 6.2 - Інтерфейс після невдалого запуску

За допомогою енкодера можна гортати сторінки меню. У поточній версії метеоронометра їх 3:

Основна сторінка – вивід всієї необхідної інформації (рис.6.1);

Сторінка з налаштуванням збереження даних на ПК (рис.6.3). За допомогою кнопки справа обирається параметр, за допомогою енкодера змінюється його значення. Перший параметр це час між збереженнями, другий це увімкнення вимкнення збереження. Також увімкнути, або вимкнути збереження можна на будь якій сторінці – натисканням лівої кнопки;

Сторінка з інформацією про виріб (рис.6.4).

В наступних версіях будуть додати сторінки для налаштування часу (на випадок неможливості підключитися до інтернету), вибору часового поясу, налаштувань будильника, секундомір, таймер, налаштувань підсвітки, вибору Wi-Fi підключення та інші.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 6.3 - Друга сторінка меню



Рисунок 6.4 - Третья сторінка меню

Якщо увімкнути збереження даних на ПК та підключити пристрій до комп'ютера по USB. Пристрій почне, с зазначеним періодом (від 1хв до 255хв), буде емулювати натискання комбінації “Ctrl+S”. Перед збереження підсвітка екрана мигне декілька разів, для привернення уваги. В момент збереження небажано натискати будь які

					<i>DK92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

клавiші на клавiатурi вашого ПК, для уникнення випадкових введень команд за допомогою комбiнацiй в який приймають участь клавiші Ctrl та S.

Висновок до шостого роздiлу

В даному роздiлi було розроблено iнструкцiю для користувачiв. В данiй iнструкцiї розглянуто всi штатнi та деякi не штатнi випадки при роботi цифрового метео-хронометра.

Завдяки данiй iнструкцiї користувач зможе розiбратися в роботi з пристроєм без втручання у процес розробника. Хоча дизайн пристрою та його меню було розроблено максимально iнтуїтивним, деяким користувачам дана iнструкцiя може стати корисною.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Пiдпис</i>	<i>Дата</i>		64

Висновок

В ході виконання дипломного проекту було розроблено цифровий метеоронометр, який синхронізується з NTP серверами для отримання актуального часу, це було зроблено для уникнення необхідності у незручному налаштуванні часу. Також даний пристрій виводить виміряну температуру та атмосферний тиск. Основною відмінністю даного пристрою від покупних аналогів є функція збереження даних на ПК, щоб при пропаданні живлення користувач не втратив результати своєї роботи.

Всі вимоги ТЗ було виконано в повному обсязі. Пристрій містить весь необхідний функціонал та відповідає вимогам до експлуатації.

В пристрій було закладено можливості для розширення функціоналу, а саме:

Датчик освітленості – для регулювання яркості підсвітки відповідно до освітленості у приміщенні;

Зумер – для реалізації будильника, таймера, тощо;

Виведено порт SPI – для підключення зовнішніх модулів;

Закладено подільник напруги – для вимірювання залишкового заряду АКБ.

Програмно можна реалізувати наступний функціонал:

Передачу з ПК логіну та пароля Wi-Fi мережі;

Ручне налаштування часу (на випадок неможливості підключитися до інтернету);

Вибір часового поясу;

Отримання прогноза погоди з інтернет-серверів.

При деяких доопрацювання даний проект можна доповнити функціоналом хаба розумного дома, або термінала для роботи з користувачем для інших проектів.

В першому розділі було проаналізовано структурну схему пристрою, принцип його роботи, коротко описано наявні блоки, їхній функціонал та принципи обміну інформацією.

У другому розділі було детально розглянуто схему електричну принципову даного пристрою, обґрунтовано вибір, за деякими виключеннями, компонентної

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бази, детально описано блоки схеми та їхній зв'язок між собою. Було передбачено заміну деяких компонентів на аналоги, на випадок відсутності потрібних елементів у магазинах та складах. За рахунок використання дуже розповсюдженої компонентної бази та передбаченої заміни основних компонентів відповідні елементи можна дістати в будь-якому радіо магазині, а в деяких випадках і вдома.

В третьому розділі було розглянуто створене програмне забезпечення. Було детально проаналізовано алгоритм роботи програми. В результаті розробки ПЗ було виправлено баги та робота пристрою є стабільною, а функціонал відповідає ТЗ.

В четвертому розділі було описано розробку друкованої плати, необхідної для зручного та надійного монтажу компонентів відповідно до схеми електричної, описаної у другому розділі. В даному розділі було обрано тип ДП. Для даного проекту краще всього підійшла чотирьохшарова плата. З доступних матеріалів, для виготовлення ДП у виробника JLCPCB було обрано FR-4. З урахуванням розмірів компонентів та вимог до щільності трасування було обрано четвертий клас точності ДП. Після вибору всіх необхідних параметрів та трасування друкованої плати було оформлення замовлення на п'ять ДП на сайті JLCPCB.

П'ятий розділ присвячено розрахункам, що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень. Розрахунками було підтверджено правильність вибору ширини дорожки живлення, щільність струму не перевищує норму, падіння напруги на найдовшому відрізку не перевищує 5%, імпеданс сигнальних доріжок протоколу USB дорівнює 90 Ом.

В шостому розділі викладено інструкцію для користувача, наведено різні випадки та сценарії використання пристрою.

На зібраному прототипі було перевірено роботу ПЗ та правильність трасування ДП. Після проведення структурного аналізу виявлених помилок, було виявлено найкращі способи їх усунення, що призвело до коректної роботи прототипа та усунення аналогічних помилок у наступних версіях. Корпус було перевірено на

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						66
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

зручність та міцність, результати іспитів показали що корпус досить зручний та відповідає вимогам ТЗ.

Як вже було зазначено вище даний пристрій має значний потенціал для розширення функціоналу, тому його розробку буде продовжено. У випадку вдалої реалізації пробної партії, цифровий матео-хронометр може бути запущено у серійне виробництво.

					<i>ДК92.6767641.001ПЗ</i>	Арк.
						67
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. АТ команды ESP8266 уровня Wi-Fi [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://radioprogram.ru/post/401>.
2. В.М. Ахрамович. Комп'ютерні мережі. Архітектура, проєктування, захист / В.М. Ахрамович, В.М. Чегринець, А.М. Котенко. – Київ: Державний університет телекомунікацій, 2018. – 413 с.
3. Ахрамович В.М. Комп'ютерні мережі / Ахрамович В.М., 2010. – 246 с.
4. UM1472 User manual [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00039084-discovery-kit-with-stm32f407vg-mcu-stmicroelectronics.pdf
5. A Summary of Network Traffic Monitoring and Analysis Techniques [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse567-06/ftp/net_monitoring/index.html.
6. GLCD 128×64 ST7920 interfacing with STM32 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://controllerstech.com/glcd-128x64-st7920-interfacing-with-stm32/>.
7. LCD12864 Library [Електронний ресурс]. – 11. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.86duino.com/?p=8850>.
8. jlscrб [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: jlscrб.com.
9. ГОСТ 23751-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции.
10. USB C TYPE REC TOP MOUNT SMT TAIL [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.molex.com/content/dam/molex/molex-dot-com/products/automated/en-us/salesdrawingpdf/105/105450/1054500101_sd.pdf?inline.
11. Lithium Ion Battery Charger for Solar-Powered Systems CN3063 8 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nikom.biz/pdf/CN3063.pdf>
12. TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nikom.biz/pdf/TP4056.pdf>.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Controllers Tech. Use STM32 as a KEYBOARD || F103C8 || USB Device HID [Електронний ресурс] / Controllers Tech. – 27. – Режим доступу до ресурсу: https://www.youtube.com/watch?v=tj1_hsQ5PR0.
14. RM0008 Reference manual [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00171190-stm32f101xx-stm32f102xx-stm32f103xx-stm32f105xx-and-stm32f107xx-advanced-arm-based-32-bit-mcus-stmicroelectronics.pdf.
15. PM0056 Programming manual [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.st.com/resource/en/programming_manual/pm0056-stm32f10xxx20xxx21xxx11xxxx-cortexm3-programming-manual-stmicroelectronics.pdf.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		69

Додатки

ДОДАТОК А

Технічне завдання

1 Назва та галузь застосування.

“Цифровий метео-хронометр” - це годинник який синхронізується з часом через NTP сервери, для ПК емулює натискання комбінації “Ctrl+S”, виводить час та температуру на.

2 Підстава розробки.

Підставою розробки є завдання на дипломний проект, індивідуально узгоджене з викладачем.

3 Мета та призначення розробки.

Метою даної розробки є вивчення та відпрацювання принципів синхронізації пристроїв з серверами в інтернеті та спілкування мікроконтролера з комп'ютером. Даний пристрій призначено для отримання інформації про реальний час, температуру та збереження файлів на ПК.

4 Джерела розробки.

Документація на STM32F407 та STM32F103

(<https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407-417.html>)

(https://www.st.com/resource/en/programming_manual/pm0056-stm32f10xxx20xxx21xxx11xxx-cortexm3-programming-manual-stmicroelectronics.pdf)

Список AT+ команд

(<https://esp8266.ru/esp8266-at-commands-v022>)

Документація на ESP8266

(https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)

Документація на STI3470

(<https://www.nikom.biz/pdf/A099024.pdf>)

Документація на MT3608

(<https://www.nikom.biz/pdf/A101020.pdf>)

5 Технічні вимоги.

5.1 Функціональні можливості виробу.

Пристрій отримує час з NTP серверів. Це потрібно для більш зручного використання, завдяки цьому не потрібно витрачати час для налаштування часу, а також не потрібні резервні джерела живлення.

Годинник вмє емулювати натискання “Ctrl+S”. Це зручно при непередбачуваних вимкненнях світла, так як можна забути зберегтися і втратити свою роботу, а досить багато програм не підтримують автоматичні збереження.

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Технічні характеристики.

Напруга живлення 5В.

Можливість працювати від USB порта комп'ютера.

Передбачити можливість живлення від АКБ (акумуляторної батареї).

5.3 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації.

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

5.4 Вимоги до безпеки експлуатації та обслуговування.

Керуватись загальними вимогами до апаратури низької напруги згідно з ГОСТ 12.2.007-75.

5.5 Вимоги до складу та параметрів технічних засобів.

Програма має бути розроблена для використання з мікроконтролерами архітектури ARM, сімейства STM32. У пристрої повинні бути передбачені: джерело стабілізованої напруги 3,3В, джерело стабілізованої напруги 5В, захист вбудованого АКБ від перерозряду, система для зарядки АКБ, барометр BMP280 для вимірювань температури та атмосферного тиску, можливість доповнити пристрій фоторезистором. Має бути USB type-C для підключення до ПК, екран 1602 або LCD12864В та ESP8266 для підключення до Wi-Fi.

5.6 Вимоги до умов експлуатації.

Кліматичне виконання УХЛ 3.1 згідно з ГОСТ 15150-69, а саме на території України у жилих будинках, враховуючи можливу відсутність опалення.

5.7 Вимоги до транспортування та зберігання.

Група умов зберігання Л1 згідно з ГОСТ 15150-69. Зберігати у закритих опалювальних та вентильованих приміщеннях, у яких забезпечуються такі умови:

Температура повітря +5...+30 °С;

Відносна вологість повітря 65% при 20 С;

Атмосферний тиск 84...106 кПа;

Транспортувати автомобільним, залізничним чи авіаційним транспортом у спеціальній транспортній тарі.

6 Проект має містити:

- пояснювальну записку;
- схему електричну принципову;
- перелік елементів;
- блок-схему програмного коду;
- керуючу програму для мікроконтролера.

ДОДАТОК Б Блок-схема

					<i>ДК92.676764.001ПЗ</i>	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Г Специфікація

ДОДАТОК Д Стаття «Розробка схемотехнічного рішення цифрового метеорометра»

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2023/2_2023/part_1/10.pdf

					ДК92.676764.001ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		