

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. І.СІКОРСЬКОГО»**

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


(підпис)

О. М. Лисенко
(прізвище, ініціали)

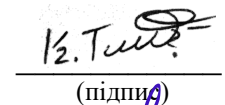
«20» червня 2023р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра**

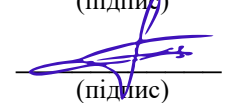
зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Інклюзивний електронний годинник

Виконала: студентка IV курсу, групи ДК-91
Тимченко Катерина Олегівна
(прізвище, ім'я, по-батькові)


(підпис)

Керівник ст. викладач Губар В.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент провідний інженер ТОВ «Радіонікс» Адаменко І.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

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

Студент І.О. Тимченко
(підпис)

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»**

Факультет електроніки

Кафедра Конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри


(підпис)

О.М.Лисенко
(ініціали, прізвище)

«03» квітня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на курсовий проєкт студенту

Тимченко Катерини Олегівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Інклюзивний електронний годинник
керівник проєкту Губар Вячеслав Григорович
затверджені наказом по університету 2063-с від 30.05.2023 р
2. Термін подання студентом проєкту: 9 червня 2022
3. Вихідні данні до проєкту: Пристрій, що проєктується, являє собою електронний годинник, що відповідає потребам людей похилого віку з поганим зором, надаючи чітку і доступну інформацію про час, дату і погоду. Прилад побудований на основі Arduino, оснащений надійним і точним температурним датчиком та має точну систему хронометражу, яка може бути синхронізована із зовнішнім джерелом часу. Кліматичне виконання УХЛ 3 по ГОСТ 15150-69.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки дипломної роботи:
 - вступ;
 - розробка функціональної схеми приладу;

- розробка, опис та аналіз схеми електричної принципової;
- вибір та обґрунтування використання елементної бази;
- розміщення конструктивних елементів на друкованій платі;
- конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати;
- електричний розрахунок друкованої плати;
- розрахунок основних показників надійності;
- проектування друкованого вузлу в середовищі Altium Design;
- висновки;
- література.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

- схема електрична принципова з переліком елементів;
- креслення друкованої плати;
- складальне креслення.

6. Дата видачі завдання: 20.03.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання курсового проєкту	Термін виконання етапів проєкту
1	Розробка технічного завдання	24.03.2023-04.04.2023
2	Розробка схеми електричної принципової	04.04.2023-26.04.2023
3	Вибір та обґрунтування використання елементної бази	26.04.2023-02.05.2023
4	Проектування схеми в Altium Designer	02.05.2023-07.05.2023
5	Розміщення конструктивних елементів на друкованій платі	07.05.2023-16.05.2023
6	Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати	16.05.2023-18.05.2023
7	Проектування плати в Altium Designer	18.05.2023-24.05.2023
8	Електричний розрахунок друкованої плати	24.05.2023-26.05.2023
9	Розрахунок надійності	26.05.2023-30.05.2023
10	Виконання креслення ЕЗ	30.05.2023-01.06.2022
11	Виконання креслення друкованої плати	01.06.2023-03.06.2023
12	Виконання складального креслення друкованого вузла	03.06.2023-05.06.2023
13	Оформлення пояснювальної записки	05.06.2023-09.06.2023

Студент: К.Тимченко
(підпис)

Керівник: [підпис]
(підпис)

Тимченко К.О.
(прізвище та ініціали)

Губар В.Г.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 97 сторінках, вона містить 5 розділів, 40 ілюстрацій, 16 таблиць та 34 джерела в переліку посилань.

Об'єктом розробки став інклюзивний годинник для людей похилого віку із вадами зору.

Метою роботи є розробка функціонально наповненого годинникового пристрою на базі мікроконтролера Atmega328, який забезпечує не тільки інформацію про поточний час та навколишнє середовище, але й слугує електронним секретарем. У роботі впроваджено використання голосових функцій нагадування та керування.

У ході дипломного проєктування виконано патентний пошук та аналіз наявних на сучасному ринку рішень. На основі даного аналізу сформовано основні конструкторські і схемотехнічні рішення, що будуть використовуватися в рамках розробки дипломного проєкту. Розроблено структурну та принципову електричну схему, обрано елементну базу та виконано необхідні розрахунки. Проаналізовано типи друкованих плат та їх матеріал, класи точності. На основі розробленої схеми проведено проєктування друкованого вузла у САПР Altium Designer. Проведено необхідні розрахунки, що підтверджують коректність обраної елементної бази та розроблено комплект конструкторської документації, необхідної для виготовлення пристрою.

На тему дипломного проєкту було опубліковано статтю категорії «Б» у фаховому виданні Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Ключові слова: електронний годинник, метеостанція, семисегментний LED дисплей, голосове керування, голосове повідомлення, голосове нагадування, мікроконтролер, ARDUINO, Atmega 328.

ABSTRACT

The work is set out on 97 pages, contains 5 chapters, 40 illustrations, 16 tables and 34 sources in the list of references.

The object of development was an inclusive watch for the elderly with visual impairments.

The aim of the work is to develop a functionally rich watch device that provides not only information about the current time and the environment, but also serves as an electronic secretary. The work includes the use of voice reminder and control functions.

In the course of the thesis design, a patent search and analysis of solutions available on the modern market were performed. On the basis of this analysis, the main design and circuitry solutions that will be used in the development of the diploma project were formed. A schematic and circuit diagram was developed, an element base was formed, and the necessary calculations were performed. The types of printed circuit boards and their material, accuracy classes are analyzed. On the basis of the developed scheme, the design of the printed assembly was carried out in CAD Altium Designer. The necessary calculations were made to confirm the correctness of the chosen base and a set of design documentation necessary for the manufacture of the device was developed.

An article of category "B" was published on the topic of the diploma project in the professional publication of the V.I. Vernadsky Taurida National University.

Keywords: electronic clock, weather station, seven-segment LED display, voice control, voice message, voice reminder, microcontroller, ARDUINO, Atmega 328.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту

на тему: Інклюзивний електронний годинник

Київ - 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	5
СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	8
1.1. Аналіз існуючих рішень та патентний пошук	8
1.2. Аналіз технічного завдання	12
1.3. Теоретичні відомості	14
Висновок до розділу	19
РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ	20
2.1. Розробка структурної схеми	20
2.2. Розробка принципової схеми та вибір компонентної бази	21
2.2.1. Обґрунтування вибору мікроконтролера	22
2.2.2. Вибір вимірювача часу	22
2.2.3. Обґрунтування вибору модуля SD-карти	23
2.2.4. Обґрунтування вибору модуля голосового управління	23
2.2.5. Обґрунтування вибору WiFi модуля	26
2.2.6. Вибір стабілізаторів	26
2.2.7. Вибір резисторів	26
2.2.8. Вибір конденсаторів	27
2.2.9 Вибір котушки індуктивності	28
2.2.10. Вибір резонатора	28

					<i>ДК91.403234.001ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	Інклюзивний електронний годинник Пояснювальна записка	Ім.	Арк.	Архив
Розроб.		Тимченко К.О.		13.06		д	1	97
Перевр.		Адаменко І.О.						
Реценз.		Адаменко І.О.						
Н. Контр.		Гудар В.Г.						
Затверд.		Гудар В.Г.						

НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»,
ФЕЛ, ДК-91

2.2.11. Вибір діодів.....	29
2.2.12. Вибір плавкого запобіжника.....	29
2.2.13. Вибір датчиків температури, вологості і тиску	29
2.2.14. Вибір семисегментних індикаторів	30
2.2.15. Вибір світлодіодів	31
2.2.16. Вибір роз'ємів.....	31
2.2.17. Вибір кнопок.....	32
2.2.18. Вибір акумулятора.....	32
2.3. Розрахунки схеми.....	32
2.3.1. Електричний розрахунок кола живлення	32
2.3.2. Особливості роботи мікросхеми MC34063	34
2.3.3. Розрахунок випрямляча блоку живлення	38
2.3.4. Тепловий розрахунок.....	41
Висновок до розділу.....	43
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА	44
3.1. Визначення посадкових місць	44
3.2. Розміщення конструктивних елементів.....	46
3.3. Вибір типу та матеріалу друкованої плати.....	53
3.4. Вибір класу точності друкованої плати	56
3.5. Вибір методу виготовлення друкованої плати.....	58
3.6. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ	59
3.6.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника за постійним струмом для ланцюгів живлення і землі.....	59

3.6.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому	60
3.6.3. Визначення номінального діаметра монтажного отвору	61
3.6.4. Визначення діаметра контактного майданчику	61
3.6.5. Визначення мінімальної ширини провідника	63
3.6.6. Визначення мінімальної відстані між провідником і контактним майданчиком	63
3.6.7. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)	64
3.6.8. Визначення мінімальної відстані між двома конатакними майданчиками	65
3.7. Проектування друкованого вузла у середовищі Altium Designer	65
Висновок до розділу	68
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ КОРЕКТНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ	69
4.1. Електричний розрахунок друкованої плати	69
4.1.1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику	69
4.1.2. Визначення потужності двосторонньої друкованої плати	70
4.1.3. Визначення ємності між двома провідниками, розташованими на одній стороні друкованої плати, що мають однакову ширину	71
4.1.4. Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини	71
4.2. Розрахунок основних показників надійності друкованого вузла	72

4.2.1. Розрахунок коефіцієнтів навантаження.....	73
4.2.2. Інтенсивність відмов друкованого вузла.....	75
4.3. Розрахунок віброміцності.....	78
Висновок до розділу.....	83
РОЗДІЛ 5. ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	84
5.1. Структура програми	84
5.2. Опис програми	85
5.2.1. Опис бібліотек.....	85
5.2.2. Опис функцій.....	86
Висновок до розділу.....	90
ВИСНОВКИ.....	91
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	94
ДОДАТОК А. Технічне завдання на проєктування	
ДОДАТОК Б. Публікація у фахове видання Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського	

ВСТУП

У сучасному світі швидкого плину часу та життя за розкладом важко уявити людину, що не потребує хронометражу, так би мовити синхронізації з навколишнім середовищем, та цивілізаційним розвитком. Ми навіть не помічаємо, що годинник є невід'ємною частиною нашого життя. Це вже не тільки статусна, а й конче необхідна річ всюди: у побуті, у промисловості, в медицині, в космічній та військовій галузі.

Розмаїття цих пристроїв взагалі вражає. Виробники годинників змагаються між собою не тільки точністю відліку, відображенням часу, але й доповнюють їх різноманітним функціоналом: метеорологічним датчиками, будильниками, таймерами, регулюванням яскравості. Однак, є дещо, про що вони забувають, – старше покоління людей, що не встигають за розвитком технологій і при цьому мають певні особливі потреби.

Багато літніх людей стикаються з проблемою поганого зору, що може перешкоджати виконанню повсякденних завдань і підтриманню зв'язку з часом та оточенням. Для вирішення цієї проблеми розробка інклюзивного електронного годинника, спеціально призначеного для людей похилого віку з поганим зором, стає все більш актуальною та необхідною.

Метою даного дипломного проєкту є створення електронного годинника, який задовольняє унікальні потреби віково зрілих осіб, забезпечуючи чіткі, легко читабельні дисплеї для відображення часу, дати та температури навколишнього середовища. Цей годинник має на меті підвищити якість життя та незалежність людей похилого віку.

Розробка такого пристрою має важливе значення в кількох аспектах. По-перше, він задовольняє нагальну потребу літніх осіб, яким часто важко читати стандартні годинники через вади зору. Завдяки великим і висококонтрастним

дисплеєм, годинник забезпечує легкодоступну і розбірливу інформацію про час і дату, що дозволяє людям похилого віку залишатися орієнтованими і ефективно керувати своїм розкладом.

По-друге, функція моніторингу температури навколишнього середовища є додатковою перевагою для літніх людей, особливо для тих, хто страждає від метеозалежності або має проблеми зі здоров'ям, пов'язані з коливаннями температури. Здатність годинника відображати температуру навколишнього середовища надає користувачам життєво важливу інформацію для їхнього комфорту та самопочуття, дозволяючи їм вживати відповідних заходів для підтримання відповідного середовища.

Крім того, розробка такого універсального електронного годинника сприяє інклюзивності та незалежності серед людей похилого віку. Завдяки зручному управлінню та інтуїтивно зрозумілим налаштуванням, годинник забезпечує простоту використання, керування та налаштування годинника відповідно до уподобань користувача. Це сприяє розвитку почуття впевненості у власних силах особам літнього віку, дозволяючи їм зберігати автономію.

Отже, розробка інклюзивного електронного годинника, пристосованого до потреб людей похилого віку з поганим зором, є не лише актуальною, але й необхідною для покращення якості їхнього життя та незалежності. Забезпечуючи зручні та інтуїтивно зрозумілі функції, цей проєкт спрямований на вирішення унікальних проблем, з якими стикаються люди, що в кінцевому підсумку сприятиме їхньому загальному благополуччю та самостійності в нашому світі, де все більше переважають технології.

					ДК91.403234.001ПЗ	Лист
				13.06		6
Змн.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДП	Друкована плата
КП	Контактна площадка
ЄСКД	Єдина система конструкторської документації
КЕ	Конструкторські елементи
УГП	Умовно-графічне позначення
ТЗ	Технічне завдання
ДСТУ	Державний стандарт України
UART	Universal Serial Bus
SPI	Serial Peripheral Interface
МК	Мікроконтролер

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Годинники – дуже розповсюджений електронний пристрій у сучасному світі. Окремі розробки для людей з вадами зору вирішують проблему полегшення зорового сприйняття інформації. Однак, виникає потреба у створенні комплексних рішень, спрямованих на задоволення унікальних потреб літньої категорії суспільства зі зниженою зоровою функцією, що були б прості у використанні і, окрім відображення часу, мали б додаткові опції, здатні полегшити життя цієї демографічної групи.

1.1 Аналіз існуючих рішень та патентний пошук

На сучасному ринку електроніки вже існують годинники, спеціально призначені для осіб із зоровою недостатністю. Наприклад, у деяких розробках використовують великі та яскраві дисплеї з високим контрастом, що полегшує отримання візуальної інформації. Деякі мають вбудовані аудіо-функції, які озвучують час і дату голосом. Це сприяє більш зручному сприйняттю інформації без візуальної демонстрації. Існують також годинники, що використовують технологію Брайля, яка дозволяє відображати час та дату у вигляді пунктів, що можна прочитати та сприймати тактильно – дотиком. Це особливо корисно для людей зі зниженою зоровою гостротою, оскільки вони можуть відчувати та розпізнати інформацію без необхідності читати її на екрані.

Таким чином, можна виділити кілька актуальних напрямків досліджень електронних годинників для людей із поганим зором:

1. Голосовий інтерфейс. Розробка ефективних алгоритмів розпізнавання та синтезу голосу, а також інтеграція з системами штучного інтелекту дозволяє забезпечити користувачам зручну та інтуїтивно зрозумілу взаємодію з годинником [1].

2. Великі та контрастні дисплеї. Використання великих та яскравих дисплеїв з підвищеним контрастом дозволяє полегшити сприйняття візуальної інформації користувачами з обмеженими можливостями зору. Дослідження в цій області спрямовані на розробку алгоритмів, що забезпечують чітке відображення часу та дати, а також адаптивне налаштування яскравості та контрасту залежно від умов освітлення.

3. Тактильний зворотній зв'язок. Розробка можливостей використання тактильного відгуку для полегшення взаємодії з годинником. Це можуть бути вібрації, акустичні сигнали або дотикові поверхні, які дозволяють користувачеві отримувати специфічні сигнали часу, нагадувань або налаштувань.

4. Інтеграція з мобільними пристроями. Дослідження спрямовані на розробку годинників, які можуть синхронізуватися з мобільними пристроями за допомогою засобів інтернету. Це дозволяє не тільки синхронізувати час та календарні події, але й отримувати оновлення, налаштування та інші корисні функції через мобільний додаток.

5. Адаптивне керування та персоналізація. Дослідження спрямовані на створення годинників, які можуть адаптуватися до індивідуальних потреб користувача. Це включає налаштування шрифтів, розмірів, режимів відображення та інших параметрів з метою забезпечення максимальної зручності та комфорту.

Деякі компанії вже пропонують готові реалізації, що включають описані вище функції. Наприклад, такі розробки від відомих виробників як: Apple Watch Accessibility [2], Samsung Galaxy Watch Accessibility [3], Fitbit Versa [4], Casio Pro Trek [5] мають ряд переваг, у деяких є ще й додаткові трекери та датчики, наприклад вимірювач пульсу, крокомір тощо. Але їх суттєвий недолік полягає у тому, що всі ці годинники наручні і скоріше зорієнтовані на більш молодіжну аудиторію.

Більш придатними до використання літніми людьми є настільні або настінні екземпляри також від провідних виробників. Нижче наведені деякі приклади.

1. Reizen Talking Atomic Clock [6]. Цей настільний годинник має вбудований голосовий модуль, який погодинно оголошує час з 8:00 до 22:00 та дату. Він синхронізується з атомними годинниками для точного відображення часу, а також має великий та контрастний дисплей для полегшення читання інформації (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Reizen Talking Atomic Clock

Однак, проблема такого годинника (рис.1.1.1) полягає у відсутності *голосового керування та озвученні* не повного денного часового інтервалу.

2. Serene Innovations CentralAlert CA-360 [7]. Це настільний годинник, який не тільки оголошує час, а й підтримує функцію світлової індикації для сповіщення про важливі події, такі як телефонні дзвінки чи сповіщення, наприклад, про пожежну тривогу від відповідних систем (рис.1.2). Годинник також може бути підключений до інших пристроїв, наприклад, дверних дзвінків або димових детекторів, для отримання аудіо- та візуальних сигналів.

Годинник, зображений на рис.1.2, має багато цікавих додаткових функцій, навіть підключення до системи сигналізації [9], однак, не містить інформацію про дату та температуру навколишнього середовища.



Рисунок 1.2 – Serene Innovations CentralAlert CA-360

3. DayClox Digital Calendar Clock [8]. Цей настільний годинник має великий та контрастний дисплей з великими цифрами, що полегшує сприйняття інформації людьми із поганим зором (рис.1.3). Він також має функцію оголошення часу та дати за допомогою голосового модуля.



Рисунок 1.3 – DayClox Digital Calendar Clock

Годинник на рис.1.3 має достатньо великий розмір цифр і літер, відображає поточний день, час і дату, має функцію голосового оголошення, але не несе інформації про температуру, і так само, як і попередні зразки, не має функції голосового управління.



Рисунок 1.4 – Рідкокристалічні годинники

На рис.1.4 представлено годинники з великою кількістю інформації на рідкокристалічному дисплеї. Тут міститься достатньо багато корисної інформації, але її зчитування потребує неабияк напружувати зір та не одразу легко зорієнтуватися в інформації що надається.



Рисунок 1.5 – Годинник з дзеркальним екраном

На рис.1.5 зображено годинник із дзеркальним екраном. Розмір цифр досить великий, але за дзеркалом. Розгледіти трохи складно, особливо при яскравому освітленні.

Тож, хоча на ринку й існують окремі розробки електронних годинників для осіб із поганим зором, жодна з них не об'єднує *всі* описані функції.

1.2 Аналіз технічного завдання

Зважаючи на те, що наявні на ринку екземпляри, пропонують обмежений функціонал, у роботі ведеться розробка комплексного рішення електронного годинника для літніх людей зі зниженою зоровою функцією. Ідея наповнення

такого прикладу поєднує засоби полегшення візуального сприйняття, аудіо-супровід, керування голосом, а також синхронізацію пристрою із віддаленими хмарними сервісами (часовим, розклад подій тощо).

Оскільки основною функцією годинника є демонстрація поточного часу і його відображення має бути достатньо великим, це може призвести до високої собівартості кінцевого виробу. Адже, чим більші семисегментні індикатори у розмірі, тим вища їхня ціна [10]. Аби зарадити цій проблемі великі цифри основного годинникового дисплею можна виконати з відрізків світлодіодної стрічки [11]. Яскравість відображення інформації підлаштовується автоматично в залежності від освітлення приміщення за допомогою блоку датчика освітлення.

Використання додаткових датчиків температури, відносної вологості та тиску дозволяє отримати маленьку метеостанцію. Відображення інформації про температуру у приміщенні та на вулиці вирішено розмістити в одному просторі, методом перемикавання показників температури (то ззовні, то всередині) кожні 3 секунди, інформацію про тиск вирішено транслювати на 2 додаткових семисегментних індикаторах. Показник вологості на екран виводиться не буде, а можливість її трансляції буде реалізована в голосовому сповіщенні по запити «погода». Така організація простору дозволить зменшити візуальне навантаження екрану та водночас наповнити пристрій всією необхідною інформацією. Реалізація відтворення голосової інформації про поточний час, день тижня або дату, за таким самим принципом, дозволить вирішити проблему голосового управління пристроєм. Це дасть можливість будь-якому користувачу легко взаємодіяти з годинником навіть при обмеженій моториці або повній відсутності зору.

Унікальність ідеї голосових нагадувань полягає у їх автоматичному відтворенні, відповідно до сформованого розкладу, що синхронізується із вбудованими таймерами. Використання вбудованого модуля Wi-Fi дозволить за

необхідності синхронізувати розклад з Google акаунтом, а також дистанційно отримати відомості про час і погодні умови поза приміщенням, в якому знаходиться пристрій.

Безперебійна система живлення дозволить зберегти відлік часу та енергонезалежну пам'ять, мати синхронізацію зі світовим часом [12]. Таким чином, є можливість забезпечення автономності роботи годинникового приладу.

Створена концепція побудови системи дозволяє перейти до безпосередньої розробки такого приладу.

1.3 Теоретичні відомості

Протокол UART.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) – це асинхронний протокол передачі даних між пристроями (рис.1.6). Він використовується для забезпечення комунікації між мікроконтролерами, комп'ютерами та іншими пристроями [13].

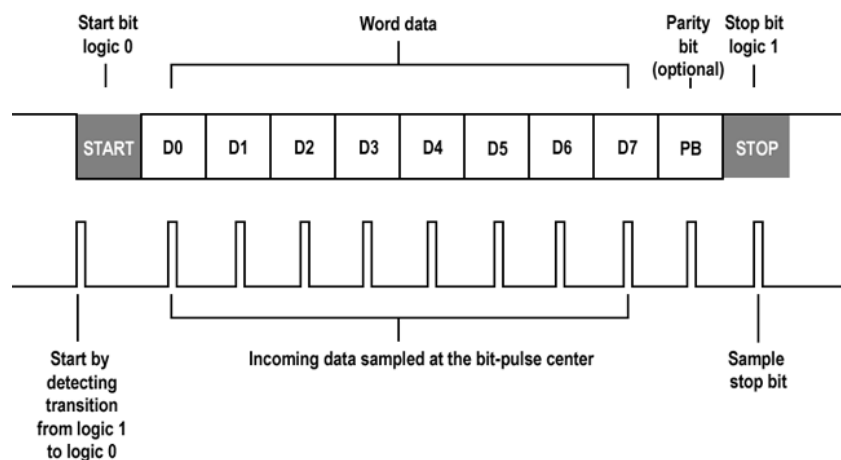


Рисунок 1.6 – Формат передачі даних протоколом UART

UART використовує два провідники для передачі даних: RXD (Transmitted Data) і TXD (Received Data). TXD – передавальна лінія, а порт RXD – приймальна. Цей протокол передає дані біт за бітом, починаючи з менш

значущого біту (LSB) і закінчуючи більш значущим бітом (MSB). При передачі кожен біт супроводжується стартовим та стоповим бітами, які використовуються для синхронізації між передавачем і отримувачем (рис.1.7, рис.1.8).

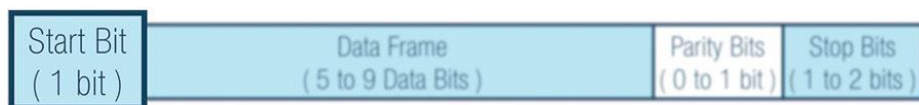


Рисунок 1.7 – Стартовий біт

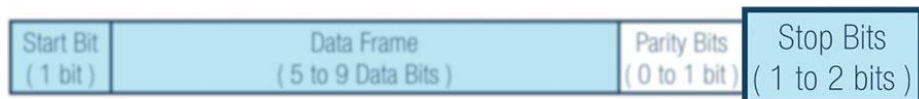


Рисунок 1.8 – Стоп-біт

UART може працювати на різних швидкостях передачі даних, від декількох біт в секунду до мегабітів в секунду. Швидкість передачі налаштовується за допомогою baud rate – кількості бітів, які передаються за одну секунду (рис.1.9).

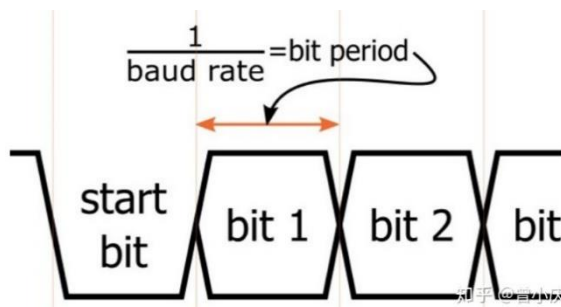


Рисунок 1.9 – Швидкість передачі даних

UART є дуже поширеним і простим у використанні протоколом для зв'язку між пристроями. Він забезпечує надійну передачу даних без необхідності використання складних протоколів та синхронізації. Тому UART є популярним інтерфейсом для зв'язку з різноманітними пристроями, такими як сенсори, периферійні пристрої, модеми, Bluetooth-модулі та інші.

Протокол I2C.

I2C (Inter-Integrated Circuit) – це протокол передачі даних між пристроями, що використовується для забезпечення зручного зв'язку між компонентами в електронних системах. Він був розроблений компанією Philips (тепер NXP

Semiconductors) і став стандартом в промисловості.

I2C використовує два провідники – SDA (Serial Data) і SCL (Serial Clock) - для передачі даних між пристроями. Це синхронний, напівдуплексний протокол, що означає, що дані передаються в обидва напрямки по черзі, але не одночасно. Протокол передачі використовує бітову орієнтовану комунікацію.

Один з пристроїв виступає як головний (master), а інші – як підлеглі (slaves). Головний пристрій керує процесом передачі даних, ініціює передачу та встановлює швидкість комунікації. Кожен підлеглий пристрій має унікальну адресу, за допомогою якої головний пристрій встановлює зв'язок з ним і передає йому дані [14].

I2C може підключати до 127 підлеглих пристроїв до одного головного пристрою (рис.1.10). Це робить його дуже ефективним для зв'язку з багатьма пристроями на шині даних. I2C також підтримує різні швидкості передачі даних, зазвичай від 100 кбіт/с до 400 кбіт/с. Існують також розширені режими швидкості, такі як Fast Mode (до 1 Мбіт/с) і High-Speed Mode (до 3,4 Мбіт/с).

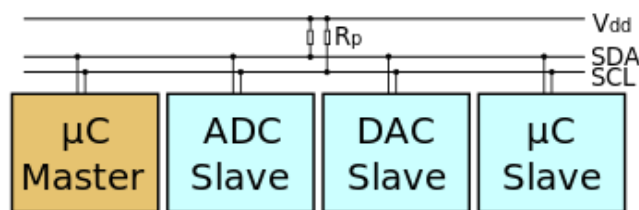


Рисунок 1.10 – Приклад схемотехніки з одним мікроконтролером (master) і трьома підлеглими пристроями (slaves)

I2C широко використовується в електроніці для зв'язку з різними пристроями, такими як сенсори, EEPROM-пам'ять, ЖК-дисплеї, акселерометри, гіроскопи, ЦАП, АЦП, а також для зв'язку між мікроконтролерами та іншими периферійними пристроями. Його простота використання та підтримка багатьма пристроями робить його популярним вибором для багатьох застосувань.

Протокол SPI.

SPI (Serial Peripheral Interface) – це синхронний протокол обміну даними,

який використовується для зв'язку між мікроконтролерами та периферійними пристроями, такими як сенсори, дисплеї, пам'ять і інші пристрої [15].

У протоколі SPI зв'язок відбувається за допомогою майстра (master) і підчиненого (slave) пристроїв. Майстер контролює комунікацію і відправляє сигнали тактового сигналу (SCK) та керуючого сигналу (SS – slave select), який вказує, з яким підчиненим пристроєм відбувається обмін даними.

Основні характеристики протоколу SPI:

- Використовується синхронний зв'язок, де дані передаються по спільній лінії.
- Використовується двостороння передача даних, тобто майстер може передавати дані підчиненому пристрою і отримувати дані від нього одночасно.
- Використовується паралельний інтерфейс, де для передачі даних використовується окрема лінія для кожного біта (MOSI – Master Out Slave In та MISO – Master In Slave Out).
- Підтримує різні режими передачі даних, такі як режими читання-запису, режими зміщення фази і зміщення такту.

На рис.1.11 представлено варіант схеми підключення.

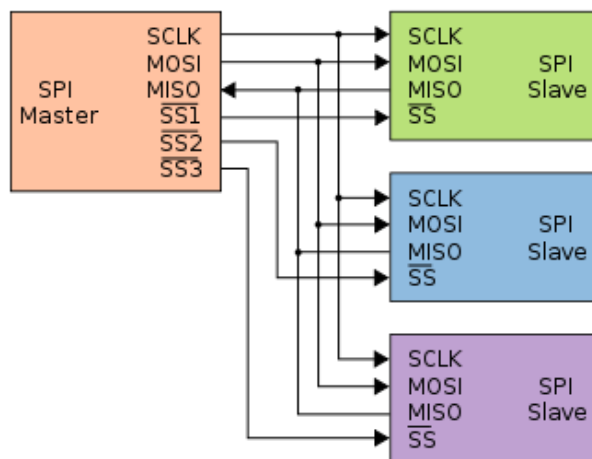


Рисунок 1.11 – SPI шина: один ведучий, три незалежні (паралельні) ведені

Основні режими роботи SPI включають:

1. Режим 0 (CPOL = 0, CPHA = 0): лінія SCLK знаходиться у стані логічного

нуля. Передача даних відбувається на спаді пульсації SCLK, а прийом даних – на зростанні. Це означає, що дані зчитуються за попереднім значенням SCLK і змінюються перед наступним зростанням.

Примітка: CPOL – Clock Polarity, CPHA – Clock Phase.

2. Режим 1 (CPOL = 0, CPHA = 1): лінія SCLK знаходиться на низькому рівні. Передача даних відбувається на зростанні пульсації SCLK, а прийом – на спаді. Це означає, що дані змінюються перед наступним зростанням SCLK і зчитуються за попереднім значенням.

3. Режим 2 (CPOL = 1, CPHA = 0): рівень сигналу SCLK високий. Передача даних відбувається на спаді пульсації SCLK, а прийом – на зростанні. Це означає, що дані зчитуються за попереднім значенням SCLK і змінюються перед наступним спадом.

4. Режим 3 (CPOL = 1, CPHA = 1): У цьому режимі лінія SCLK знаходиться у високому стані у спокійному стані (idle). Передача даних відбувається на зростанні пульсації SCLK, а прийом – на спаді. Це означає, що дані змінюються перед наступним спадом SCLK і зчитуються за попереднім значенням.

Візуалізацію режимів роботи зображено на рис.1.12.

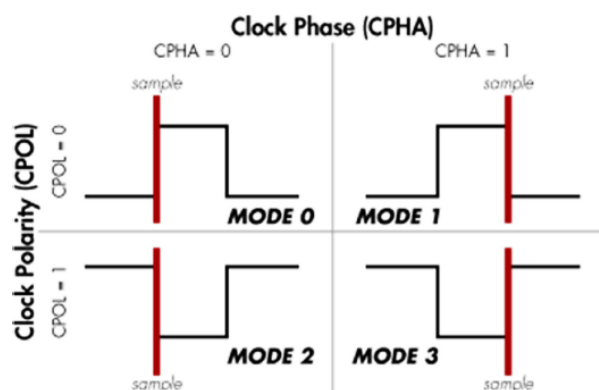


Рисунок 1.12 – Режими роботи SPI

Протокол SPI є широко використовуваним в багатьох електронних пристроях, особливо в системах з мікроконтролерами, де потрібно здійснювати швидко та надійну комунікацію з периферійними пристроями.

Висновок до розділу

У роботі розглянуто мету розробки, основні теоретичні відомості підходів та методів, що в подальшому використовуватимуться у проєкті, а також досліджено ринок наявних рішень. Під час аналізу були ідентифіковані головні переваги та недоліки існуючих годинників для людей із вадами зору, які будуть враховуватися при подальшій розробці.

Також у даному розділі проведено аналіз ТЗ і визначено концепцію побудови інклюзивного годинника з розширеним функціоналом. Виділено такі основні функції приладу: відображення поточного часу, дати, температури приміщення та навколишнього середовища, відносної вологості та барометричного тиску, а також синхронізація із зовнішнім сервером точного часу та можливість голосової взаємодії із користувачем.

					ДК91.403234.001ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		19

РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми

Рекомендоване функціональне наповнення годинника зображено на рис.2.1. Керування основних і додаткових модулів розширення та датчиків здійснюється мікроконтролером широкого застосування Atmega328.



Рисунок 2.1 – Структурна схема функціоналу годинника

Якщо розглядати структуру описаного годинника, основні блоки, які можна виділити, це:

1. Мікропроцесор. Це центральний блок управління, який відповідає за керування всіма функціями годинника. Він здійснює обробку інформації, керування відображенням, опрацювання введених команд і виконання додаткових функцій. Мікроконтролер має достатню пам'ять для зберігання налаштувань та голосових повідомлень.

2. Табло для відображення. Цей блок відповідає за відображення інформації про час, дату та температуру. Він складається з семисегментних LED-індикаторів, які відображають цифри та символи, а також семи світлодіодів, що засвічуються відповідно до дня тижня.

3. Датчики температури. Цей блок вимірює температуру приміщення та навколишнього середовища. Він може бути підключений до мікроконтролера для передачі інформації про температуру.

4. Кнопки керування. Цей блок включає кнопки, які використовуються для налаштування часу, дати, будильника та інших параметрів годинника.

5. Акумулятор. Цей блок забезпечує безперебійне живлення годинника в разі відключення основного джерела живлення.

6. WiFi/Bluetooth модуль. Цей блок дозволяє підключати годинник до мережі WiFi або Bluetooth для дублювання управління та передачі інформації про час та температуру.

Ці блоки та їх взаємодія дозволяють забезпечити функціональні можливості та виконати поставлені цілі при розробці інклюзивного електронного годинника.

За зразок ергономічного дизайну пропонується розглянути годинник CX 4622 LED [16]. На його дисплеї великими цифрами відображається поточний час, а додаткова інформація з календаря та термометрів розміщується в нижній частині екрану меншими розмірами (рис.2.2). Розміщення інформації за таким шаблоном допоможе запобігти проблемі перенасичення зорового сприйняття.



Рисунок 2.2 – Макет розміщення інформації на екрані годинника

2.2 Розробка принципової схеми та вибір компонентної бази

В результаті постанови та аналізу задачі для проєктування, розроблено схему електричну принципову, що прикладається до комплекту разом із

пояснювальною запискою. Розрахунки, що ширше розкривають принцип розробки електричної принципової схеми, а також підтверджують коректність вибору елементної бази, наведені у п.2.3 даного розділу.

2.2.1 Обґрунтування вибору мікроконтролера

АТmega є одним з найбільш популярних та поширених мікроконтролерів. Він має достатню обчислювальну потужність для реалізації закладеної функціональності. мікроконтролер може обробляти велику кількість даних, має вбудовані аналогові та цифрові входи/виходи, що спрощує підключення датчиків, кнопок, дисплеїв та інших пристроїв. А також є досить доступним за ціною, що робить його привабливим для розробки проєкту з обмеженими бюджетними ресурсами. Тому вирішено залишити для подальшої розробки друкованого вузла саме цей мікроконтролер.

2.2.2 Вибір вимірювача часу

Один з основних викликів, з яким можна стикнутися у процесі розробки, полягає у виборі методу вимірювання часу. Це впливає безпосередньо на точність та вартість кінцевого приладу, тому необхідно відповідально підійти до цього вибору. Розглянемо декілька існуючих варіантів вимірювання часу.

Використання внутрішнього RC-генератор мікроконтролера [17]. Він простий у налаштуванні і не вимагає додаткової розробки, оскільки вже вбудований в МК, проте недоліком цього способу є значна похибка в часі [18].

Годинник реального часу DS1307 [19]. Він має низьку обв'язку та доступну ціну, використовує протокол I2C для передачі інформації. З урахуванням можливості втрати живлення, він продовжує працювати за допомогою батарейки. Однак, його похибка становить 2 секунди на день, і з плином часу це може спричинити значні неточності інформації, що надається користувачеві.

Годинник реального часу DS3231. Це оновлена версія попереднього модуля [20]. Його основна перевага полягає у більш високій точності, з похибкою в 6 секунд на місяць, однак ціна трохи перевищує DS1307.

В рамках даного проєкту, оскільки основною функцією пристрою є все ж таки вимірювання часу, то найголовнішим критерієм є точність відліку. Таким чином, найбільш оптимальним вимірювачем є годинник реального часу DS3231.

2.2.3 Обґрунтування вибору модуля SD-карти

Оскільки для голосового озвучення необхідно завантажувати аудіо-дані, виникає потреба у зовнішній пам'яті (SD карта), адже більшість мікроконтролерів мають обмежений обсяг вбудованої пам'яті. Існують два режими: SPI і SDIO [21]. Хоча SDIO працює швидше, його складніше реалізувати з Arduino. Режим SPI значно простіший для налаштування при використанні з будь-яким мікроконтролером. Найзручнішим способом роботи з великим обсягом даних є використання вже готового модуля SD-карти [22-24]. Він здійснюватиме функції зберігання, зчитування і запису інформації на карту, необхідну для нормального функціонування пристрою на базі мікроконтролера. Таким чином, вибір зупинено на аудіоплатформі MP3-плеєра зі слотом для microSD карт DFR0299 виробництва DFRobot.

2.2.4 Обґрунтування вибору модуля голосового управління

Голосове управління можливо реалізувати за таким алгоритмом:

1. Захоплення аудіо сигналу. Для цього можна використати модуль звукового записувача, такий як ISD1820 або MP3 Sound module WTV020-SD-16P [25]. За допомогою мікрофона або іншого аудіо джерела можна захоплювати голосові команди користувача.

2. Обробка голосового сигналу. Для цього можна використовувати

алгоритм обробки сигналу, такий як розпізнавання голосу. Після обробки сигналу отримуються текстові команди, які можуть бути використані для управління годинником.

3. Розпізнавання команд. Отримані текстові команди потрібно розпізнати і перетворити на виконавчі дії. Для цього можна використати алгоритми обробки природної мови або створити власні правила розпізнавання команд.

4. Виконання дій. Після розпізнавання команд годинник повинен виконати відповідні дії. Наприклад, у відповідь на команду "час" годинник повинен відобразити поточний час на дисплеї.

5. Звукове підтвердження. Для підтвердження виконаних команд та взаємодії з користувачем годинник має відтворити голосовий запис. Наприклад, у відповідь на запит "час" проговорити час, відображений на дисплеї.

Відповідно до такого алгоритму, для розробки годинника із запропонованим функціоналом необхідно записати аудіо-файли з проговоренням чисел від 0 до 24, цифр від 1 до 10, а також слів «година»/«годин», «хвилина»/«хвилин», «секунда»/«секунд», те ж саме стосується і градусів. Це необхідно для голосового відтворення інформації про час, дату і температуру за запитом користувача.

Основною проблемою, з якою можна стикнутися у процесі реалізації даного алгоритму, є власне організація самого голосового управління, тобто обробка захопленої команди користувача, її розпізнавання та виконання.

Саме дослідження в області керування голосом є доволі об'ємним і трудомістким і насправді поглиблення у цю тему в рамках даного проєкту не є раціональним, оскільки метою даної роботи є розробка приладу, де голосове керування є лише складовою функцією, а не провідною темою, або окремою розробкою. Тому для задоволення цілей, визначених в рамках технічного завдання, можна оптимізувати процес голосового управління методом

використання вже готового модуля EasyVR компанії Robotech SRL (рис.2.3). Це багатофункціональний пристрій, який дозволяє записувати до 32 голосових команд, обробляти їх та виконувати певні дії відповідно до отриманого запиту, а також реалізувати авторизацію за голосовим паролем [26].

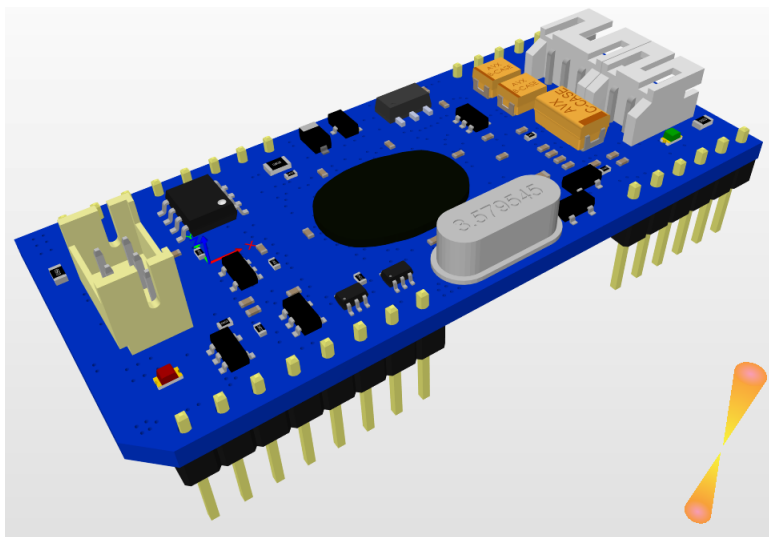


Рисунок 2.3 – модуль управління голосом EasyVR

Принцип роботи полягає у тому, що після запису користувачем голосової команди на мікрофон, прилад визначає, яку команду вимовлено за її номером. Після отримання номера команди, мікроконтролер може виконати певну дію. Також прилад здатний програвати збережені аудіофрагменти для організації голосового діалогу.

EasyVR з'єднується з керуючою електронікою через UART. Запис команд можна здійснювати за допомогою Arduino та бібліотеки EasyVR або за допомогою програми EasyVR Commander, яка працює на Windows. На платі модуля є роз'єм для підключення мікрофона. Адаптером для EasyVR 3 є EasyVR Shield 3.

Таким чином, окремо встановлювати на плату модуль звукового записувача, або роз'єм для мікрофону немає сенсу, адже усі ці складові є на платі EasyVR. Однак, оскільки даний шилд є доволі габаритним, до загальної друкованої плати він підключатиметься через роз'єм (див. п.2.2.16).

2.2.5 Обґрунтування вибору WiFi модуля

Для закладеної функціональності пристрою найкращим рішенням реалізації WiFi є використання модуля WiFi на базі мікросхеми ESP8266. Це готовий мініатюрний чіп із вбудованим стеком протоколу TCP/IP, з інтерфейсами WiFi, SPI, UART та GPIO. Цей МК є дуже популярним завдяки своїй дешевизні. Також ESP8266 може працювати в режимі точки доступу. Програми користувача виконуються із зовнішньої flash-пам'яті з інтерфейсом SPI [27].

Для розробки використовуватимемо модель ESP8266-01 виробництва AI-Thinker. Напруга живлення такого модуля 3,3 В, енергоспоживання – 10 мкА...170 мА.

2.2.6 Вибір стабілізаторів

При дослідженні пристрою, задля досягнення цілей роботи, вибір лінійного стабілізатора напруги на 3.3В зупинено на серії LM1117T-3.3 від Texas Instruments. Тепловивід такого стабілізатора краще, ніж у SMD-компонента, тому перевагу було надано моделі в DIP-корпусі. Максимальна вхідна напруга даного стабілізатора – 15В, вихідний струм – 800мА, вихідна напруга – 3.3В.

Вибір стабілізатора на 5 В зупинено на MC34063A виробництва STMicroelectronics. У даної мікросхеми хороша пропускну здатність, на виході він формує 5 В, вихідний струм 1.5А.

2.2.7 Вибір резисторів

Резистори дозволяють контролювати значення струмів і напруг в електричному ланцюзі. Електричні характеристики резистора в значній мірі визначаються матеріалом, з якого він виготовлений, і його конструкцією.

При виборі типу резисторів враховуємо наступні параметри [29]:

- ✓ номінальний опір;

- ✓ нормований допуск;
- ✓ розсіювану потужність;
- ✓ робочу температуру;
- ✓ тип резистора;
- ✓ максимальну робочу напругу;
- ✓ спосіб монтажу.

Виходячи з ТЗ і схеми електричної принципової, було обрано типи резисторів, що повністю задовольняють вимоги розробки. Таким чином, для проектування даного пристрою будемо використовувати керамічні SMD-резистори 0805 із номінальною потужністю 0.125 Вт, 0.25 Вт та 0.5 Вт для підтягуючих резисторів 10 кОм. Діапазон доступних опорів таких резисторів 1 Ом...50 МОм. Цілі, обмежені роботою досліджуваного пристрою, допуски $\pm 1\%$ та $\pm 5\%$ задовольняють. Робоча температура $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$, ці величини з великим допуском покривають температурний режим роботи резистора у пристрої.

2.2.8 Вибір конденсаторів

Електричні конденсатори є засобом накопичення електроенергії в електричному полі. Електричні характеристики конденсатора визначаються його конструкцією і властивостями використовуваних матеріалів.

При виборі конденсатора для конкретного пристрою враховуємо наступні параметри [27]:

- ✓ необхідне значення ємності конденсатора;
- ✓ робочу напругу конденсатора;
- ✓ необхідну точність;
- ✓ тип конденсатора;
- ✓ спосіб монтажу.

Тож, аналізуючи вище зазначені параметри та внесені до схеми зміни, було обрано конденсатори, які найбільше задовольняють визначені вимоги. Таким чином, було обрано керамічні SMD-конденсатори 0603 10В виробництва Kemet з точністю $\pm 10\%$. Робоча напруга на 10 В. Такі конденсатори широко поширені, характеризуються високою стабільністю ємності, широким діапазоном робочих температур, невисокою вартістю. Діапазон робочих температур: від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$.

Електролітичні конденсатори, виходячи з вимог ТЗ та схеми електричної принципової, було обрано ємностями 220 мкФ та 1000 мкФ із точністю $\pm 20\%$ компанії KEMET. SMD-компонент. Робоча напруга – 10 В. Діапазон робочих температур: $-40^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$.

2.2.9 Вибір котушки індуктивності

Котушка індуктивності 100 мГн у даному випадку представлена у типовій схемі стабілізатора MC34063. Це накопичувальна та фільтрувальна індуктивність, її не рекомендується зменшувати, оскільки саме ця індуктивність задає вихідний струм, тому відповідно до цього параметру, а також до вимог ТЗ, обрано котушку 6100-103K-RC компанії Bourns Inc. Вона має високу стабільність, точність і добротність.

2.2.10 Вибір резонатора

В основі принципу дії кварцового резонатора лежать фізичні властивості кристала кварцу. За типом корпусу кварцові резонатори можуть бути вивідні для об'ємного монтажу (стандартні та циліндричні) та для поверхневого монтажу (SMD).

Аналізуючи параметри та вимоги, викладені в ТЗ, і схеми електричної принципової, вибір було зупинено на кварцовому резонаторі в SMD-корпусі серії

				13.06	ДК91.403234.001ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		28

ABLS7M2 частоти 16 МГц компанії Abracon LLC. Допуск за частотою такого резонатору ± 20 ppm, діапазон робочих температур $-40 \dots +85^\circ\text{C}$. Такий резонатор має високу стабільність, широко розповсюджений, і при цьому має невисоку вартість.

2.2.11 Вибір діодів

Принцип вибору діода полягає у підборі компонента за параметрами:

- ✓ прямий струм;
- ✓ зворотня напруга.

Таким чином, відповідно до вимог ТЗ, вибір зупинено на діоді 1N4007 компанії SMC Diode Solutions у SMD-корпусі. Він цілком задовольняє умови роботи схеми, його прямий струм 1 А, зворотня напруга 1000 В.

2.2.12 Вибір плавкого запобіжника

Вибір запобіжника полягає у визначенні параметрів типу, номінальної напруги та номінального струму запобіжника. Відповідно до вимог ТЗ та параметрів електричного кола, обрано запобіжник 0680L0500-05 на 500 мА в SMD-виконанні виробництва Bel Fuse Inc.

2.2.13 Вибір датчиків температури, вологості і тиску

Вибір датчиків температури зводиться до бажаного діапазону вимірюваних температур. Таким чином, у рамках температур від -55 до $+125^\circ\text{C}$, що повністю задовольняє вимоги до розробки, одним з найбільш розповсюджених є цифровий датчик DS1820 від Analog Devices Inc./Maxim Integrated. Цифровий код, що зчитується з приладу, є прямим безпосереднім кодом вимірюваного значення температури і не потребує додаткових перетворень. Абсолютна похибка перетворення менше 0.5°C у діапазоні контрольованих температур -10 до $+85^\circ\text{C}$.

				13.06	ДК91.403234.001ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		29

Максимальний час повного 12-ти розрядного перетворення ~750 мс (за роздільної здатності 12 розрядів).

Для вимірювання вологості вирішено використати цифровий датчик вологості та температури DHT22, адже він характеризується ультранизьким енергоспоживанням, не потребує обв'язки і при цьому здатний працювати при досить довгому дроті. Його діапазон вимірювання вологості: 0-100%, точність вимірювання вологості: $\pm 2\%$ RH, напруга живлення: 3.6-6 В. Для вимірювання тиску рекомендується встановити виносний датчик тиску BMP280. Він має дуже низьке енергоспоживання, невеликі габарити та дуже розповсюджений на ринку. Напруга живлення такого датчика від 1.71В до 3.6В, інтерфейс обміну даними – I2C або SPI, діапазон тиску 300-100 ГПа, середній час вимірювання: 5.5 мс. На друкованій платі для підключення датчиків DHT22 та BMP280 встановлено роз'єми (див.п.2.2.16).

2.2.14 Вибір семисегментних індикаторів

Оскільки інформація, що відображатиметься на пристрої, містить показники часу, дати, температури та вологості повітря, то індикувати її вирішено в різних областях приладу, а саме: для відображення часу необхідно виділити 6 індикаторів, для температури – три (один додатковий для відображення знаку «-» для мінусової температури), для вологості – два, для дати – вісім (чотири на рік, 2 на день і ще 2 на число місяця).

Для відображення часу існують стандартні семисегментні індикатори з чотирма цифрами через двокрапку, що виводять години і хвилини, таким чином вирішено для розробки обрати саме такий спосіб виведення інформації. Тож, для задоволення таких цілей вибір зупинено на 4-символьному дисплеї CA56-12SRWA компанії Kingbright. Секунди в даному випадку вирішено продемонструвати на двох одноциферних 7-сегментних індикаторах,

розмістивши їх поруч із дисплеєм, що демонструє години і хвилини. Інформацію про вологість, рік, місяць і число також вирішено розмістити за таким принципом, використовуючи однознакового індикатори. Таким чином, вибір зупинено на дисплеї SA56-11SRWA того ж виробництва Kingbright. Оскільки для відображення температури потребується 3 сегменти, вибір індикатора вирішено зупинити на трицифровому BA56-12EWA (Kingbright). Усі обрані індикатори мають червоний колір світіння.

Також обрано мікросхему MAX7219, що призначена для керування 7-сегментними індикаторами та матрицями 8x8. Завдяки вбудованій динамічній індикації та налаштуванню струму цей чип у десятки разів спрощує роботу з індикаторами. Така мікросхема має просте підключення, компактні розміри і дуже просто каскадується. Його робоча напруга: 5 В, інтерфейс: SPI. Вибір зупинено на MAX7219CWG від Analog Devices Inc./Maxim Integrated.

2.2.15 Вибір світлодіодів

Принцип вибору світлодіода полягає у підборі компонента:

- ✓ за номінальним струмом;
- ✓ за номінальною напругою.

Відповідно до вимог технічного завдання, а також оскільки семисегментні індикатори обрано червоного світіння, вибір світлодіоду зупинено на червоних дискретних радіальних LED індикаторах WP7113ID 5 мм виробництва Kingbright. Пряма напруга – 5 В, величина струму – 20 мА. Такі світлодіоди характеризуються невисокою вартістю та великою розповсюдженістю на ринку.

2.2.16 Вибір роз'ємів

Підключення модуля голосового управління EasyVR у рамках даної розробки здійснюється за 5 контактними виводами, тому вибір зупинено на 5-

піновому роз'ємі 2.5 мм 691382030005 компанії Würth Elektronik. Для підключення динаміку та пристрою мережі живлення обрано роз'єми 1017503 від Phoenix Contact з характеристиками 32А та 400В. Також для підключення трансформатора, для виносного датчика вологості DHT22, виносного датчика тиску BMP280 та виносного датчика температури DS18B20 встановлено 4-пінові роз'єми 2.54 мм 1-2834016-4 від TE Connectivity AMP Connectors. Дані роз'єми повністю задовольняють викладені у ТЗ вимоги.

2.2.17 Вибір кнопок

Особливих вимог до вибору кнопок немає, єдине, що можна виділити у критеріях вибору – це те, що це мають бути кнопкові вимикачі для зручності керування. В рамках даної розробки вибір було зупинено на 1825910-2 виробництва TE Connectivity ALCOSWITCH Switches. Вони доволі розповсюджені та мають низьку собівартість.

2.2.18 Вибір акумулятора

Оскільки ідея пристрою полягала ще й у його автономності, то для забезпечення безперебійного живлення підключено акумулятор CR1220 – найбільш популярний та розповсюджений елемент живлення таблеткового типу. Номінальна напруга 3В, номінальний струм 0,2мА. Таким чином, на плату встановлюється монета-фіксатор акумулятора, вибір якої зупинено на моделі BAT-HLD-012-SMT від Linx 12,0 мм, SMD- елемент.

2.3 Розрахунки схеми

2.3.1 Електричний розрахунок кола живлення

У таблиці 2.1 зведено значення споживання всіх активних елементів схеми у двох режимах: у режимах очікування та в режимах повного завантаження.

					ДК91.403234.001ПЗ	Лист
				13.06		32
Змн.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Враховуючи, що одночасно всі елементи схеми не навантажені на всі 100%, та працюють не одночасно, то можна оцінити, що миттєве споживання струму схеми буде відповідно біля 0,7, або менше від I_{max} (до 1,162А).

Таблиця 2.1 – Струми споживання елементів схеми

Споживач	Кількість, шт	I_{min} , мА	I_{max} , до мА
DF PLAYER	1	20	50
Easy vr 3	1	100	400
DS1820	2	1 (загально 2)	1,5 (загально 3)
DHT-22	1	0,14	0,14
MAX7219	3	110 (загально 330)	330 (загально 990)
Atmega 328a	1	1,5	1,5
ESP8266	1	215	215
DS3231	1	0,3	0,3
Загальне споживання		668,94	1659,94

Оцінювання засноване на твердженні:

1. Елементи, що споживають найбільше струму (модуль голосових команд EasyVR 3, модуль відтворення звукових файлів DF PLAYER, WiFi модуль ESP8266) здебільшого знаходяться у «сплячому режимі», та активуються на недовгий час.

2. Модулі WI-FI ESP8266, та драйвери динамічної індикації семисегментних дисплеїв MAX7219, працюють на 50-60% від максимального навантаження.

Для забезпечення такого струму споживання по шині 5В вирішено замість класичного лінійного стабілізатору, використати дуже дешеву мікросхему

широкого використання DC-DC перетворювача MC34063. Лінійні стабілізатори застосовні в схемах з невеликим струмами. На стабілізаторах до 1-1,5 А виділяють багато тепловою енергії, потребують додаткових заходів відводу тепла.

2.3.2. Особливості роботи мікросхеми MC34063

На рис.2.4 зображено структурну схему чипа MC34063.

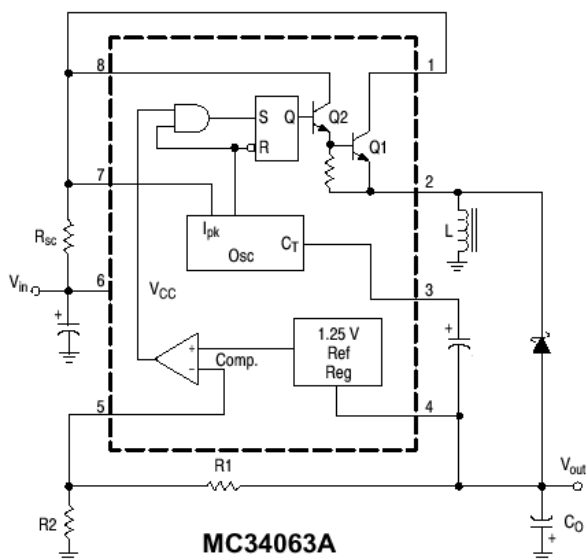


Рисунок 2.4 – MC34063. Схема структурна

Характеристики даної мікросхеми зведено до табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики MC34063

Модель	MC34063
Вхідна напруга	3...40 В
Максимальний вихідний струм	1.5 А
Частота преобразовання	до 100 кГц
Корпус	SOP-8
Діапазон робочих температур	0...+70°C

Особливість мікросхеми MC34063 полягає в тому, що вона є одночасно і ШІМ, і релейною. Причому можна самостійно обирати, якою вона буде. Дана мікросхема функціонально містить компаратор струму та компаратор напруги, потребує мінімальну кількість елементів обвісу. Мікросхема MC34063 – це DC-DC ШІМ перетворювач постійної напруги, який може працювати в режимах підвищення напруги (Step Up), зниження (Step Down) та інвертування (Inverter) (рис.2.5). На базі чипа MC34063 можна побудувати компактний перетворювач постійної напруги, драйвер світлодіодів, стабілізатор струму тощо [30-31].

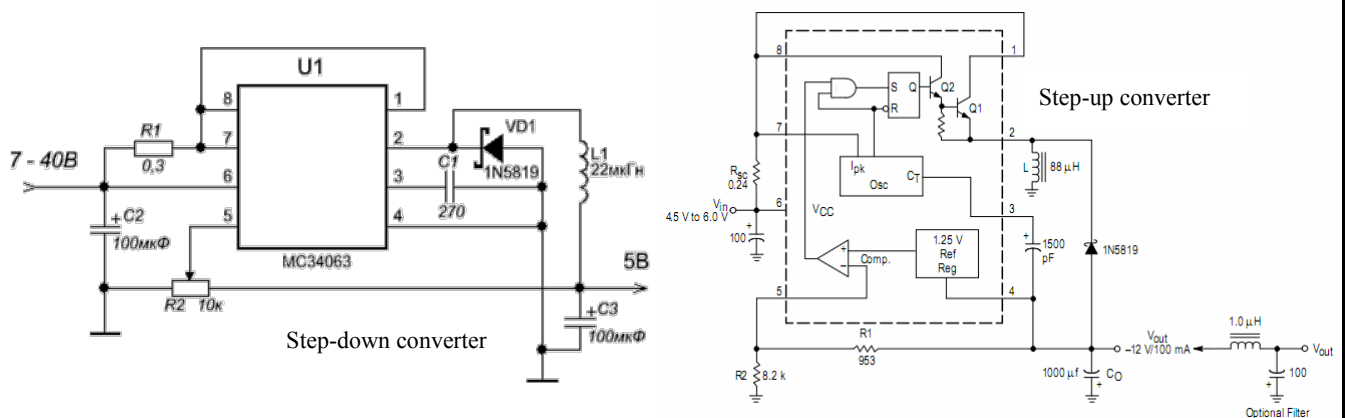


Рисунок 2.5 – Типові схеми знижуючого та підвищуючого перетворювачів на MC34063

Резистори зворотного зв'язку вибираються зі стандартних значень. Типове значення вхідного конденсатора становить близько 100 мкФ, усі електроліти мають бути з низьким ESR. Швидкого діода Шоткі має бути достатньо для необхідного струму, 1N5818, 1N5819, 1N5820 і подібні підійдуть.

Силові можливості мікросхеми

Відповідно до даташиту мікросхема MC34063 нормально працює при напрузі живлення від 3В до 40В (МС фірми STM – до 50В) і до 45В реально забезпечуючи в навантаженні струм до 1А для корпусу DIP-8 і до 0.75А для корпусу SO-8 [31].

З урахуванням напруги насичення ключового транзистора ($0.5 \dots 0.8\text{В}$) і допустимої розсіюваної корпусом мікросхеми потужністю 1.2Вт , струм навантаження може бути збільшений до $1.2\text{Вт}/0.8\text{В}=1.5\text{А}$ для корпусу DIP-8 і до 1А для корпусу SO-8. Однак у цьому випадку потрібно хороше тепловідведення, інакше вбудований в мікросхему захист від перегріву не дозволить працювати на такому струмі.

Стандартне впаювання DIP корпусу мікросхеми у плату не забезпечує необхідного охолодження на максимальних струмах. В такому разі виникає необхідність у формуванні виводів DIP корпусу під варіант SMD, з видаленням тонких кінців виводів. Широка частина виводів, що залишилася, вигинається в один рівень з основою корпусу і вже потім припаюється на плату. Корисно друковану плату розвести так, щоб під корпусом мікросхеми виявився широкий полігон, а перед встановленням мікросхеми потрібно нанести на її основу трохи теплопровідної пасти.

За рахунок коротких і широких виводів, а також щільного прилягання корпусу до мідного полігону друкованої плати тепловий опір корпусу мікросхеми зменшується і зможе розсіяти трохи більшу потужність. Для корпусу SO-8 добре допомагає встановлення додаткового радіатора у вигляді пластини або іншого профілю прямо на верхню частину корпусу [31].

З одного боку можна просто перейти на більш потужну мікросхему або встановити зовнішній транзистор. І при струмах навантаження більше 1.5А це буде єдиним правильним рішенням. Однак, коли потрібно струм навантаження 1.3А , то можна просто покращити тепловідвод та спробувати застосувати більш дешевий та простий варіант на мікросхемі MC34063.

Граничний ККД, одержаний у цьому варіанті стабілізатора, не перевищує 90% . Подальшому зростанню ККД перешкоджає підвищення напруги насичення ключового транзистора — щонайменше $0.4 \dots 0.5\text{В}$ за струмів до 0.5А і $0.8 \dots 1\text{В}$ за

струмів 1...1.5А. За цим основним елементом стабілізатора, що гріється, завжди є мікросхема. Правда відчутне нагрівання буває тільки при граничних для конкретного корпусу потужностях. Наприклад, мікросхема в корпусі SO-8 при струмі навантаження 1А нагрівається до 100 градусів і без додаткового тепловідводу циклічно вимикається вбудованим захистом від перегріву. При струмах до 0.5А...0.7А мікросхема трохи тепла, а при струмах 0.3...0.4А взагалі не гріється.

Від значення індуктивності від 53 до 100мкГн залежить тільки амплітуда струму ключового транзистора та пульсації струму навантаження.

Збільшення індуктивності дроселя дозволяє збільшити і максимальний струм навантаження аж до граничного значення струму ключового транзистора мікросхеми (1.5А). А зменшення призводить до нарощування коефіцієнт корисної дії (ККД) від 86 до 90%. До того ж, засоби звеличення ККД призводять до зриву стабільної роботи мікросхеми.

При збільшенні індуктивності дроселя форма струму ключового транзистора змінюється з трикутної до прямокутної. Оскільки площа прямокутника у 2 рази більша за площу трикутника (при однаковій висоті та основі), то середнє значення струму транзистора (і навантаження) можна збільшити у 2 рази при незмінній амплітуді імпульсів струму.

Тобто, при трикутній формі імпульсу амплітудою 1.5А середній струм транзистора та навантаження виходить:

$$I_n = \frac{1.5A}{2 \cdot k}, \quad (2.1)$$

де k – максимальний коефіцієнт заповнення імпульсів, що дорівнює 0.9 для даної мікросхеми.

В результаті максимальний струм навантаження не перевищує:

$$I_n = \frac{1.5A}{2 \cdot 0.9} = 0.675A$$

Якщо збільшити індуктивність дроселя таким чином, аби струм транзистора став прямокутним, то з формули максимального струму можна прибрати двійку і отримати $I_H = 1.35A$.

Тому обрано дросель $L1 = 100 \text{ мкГн}$.

2.3.3 Розрахунок випрямляча блоку живлення

На рис.2.6 наведено принципову схему однофазного мостового випрямляча з ємнісним фільтром [32].

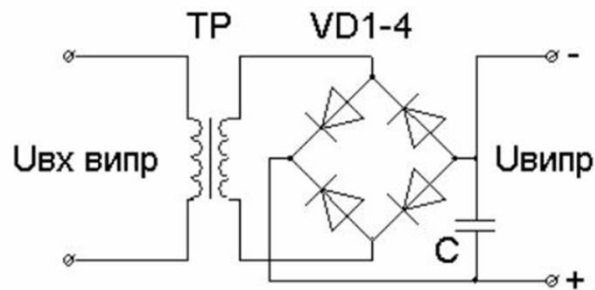


Рисунок 2.6 – Однофазний мостовий випрямляч з ємнісним фільтром.

Схема електрична принципова

Вихідні дані для розрахунку випрямляча:

- частота мережі живлення $f_m = 50 \text{ Гц}$;
- напруга мережі живлення $U_m = 230 \text{ В}$;
- напруга на навантаженні $U_H = 5 \text{ В}$;
- споживаний максимальний струм навантаження $I_H = 1,5 \text{ А}$;
- струм навантаження з урахуванням ККД стабілізатора:

$$I_d = \frac{I_H}{\eta} = \frac{1.5}{0.86} = 1.7 \text{ А} \quad (2.2)$$

В мостовій схемі значення пульсацій амплітуди за період дорівнює $m=2$, тому коефіцієнт пульсацій дорівнює:

$$k_n = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{2^2 - 1} \approx 0.667 \quad (2.3)$$

Обчислимо орієнтовні значення параметрів вентилів (діодів) та габаритну потужність трансформатора.

Максимальне значення зворотної напруги на вентиляльному елементі за абсолютним значенням дорівнює амплітуді синусоїдної напруги на вторинній обмотці трансформатора:

$$U_{em} = \frac{\pi U_d}{2} = 1.57 \cdot 5 = 7.85 B \quad (2.4)$$

Середнє та амплітудне значення струму через вентиль буде мати вигляд:

$$I_{сep} = \frac{I_d}{2} = \frac{1.7}{2} = 0.85 A \quad (2.5)$$

$$I_a = \sqrt{2} I_d \cdot 0.5 = 1.41 \cdot 1.7 \cdot 0.5 \approx 1.2 A \quad (2.6)$$

При виборі діодів дотримуємося умов:

$$U_{зв\ max} > U_{em}; I_{a\ max} > I_a$$

У якості вентилів вибираємо кремнієві діоди VD1-VD4 – 1N4007FL від SMC Diode Solutions із характеристиками, що наведені у табл.2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики діоду 1N4007FL

Номінальний струм, I_p	1,5 A
Максимальна зворотня напруга, $U_{звор}$	1000 B
Максимальне падіння напруги на відкритому діоді при прямому струмі	1B
Діапазон робочих температур	-55°C..+150°C

$$U_{зв\ max} = 1000 B > 7,85 B, \quad I_{a\ max} = 1,5 A > 1,2 A$$

Знаходимо опір діода у провідному стані:

$$r_{np} = \frac{U_{np}}{I_{a\ max}} = \frac{1}{1.2} = 0.85 \text{ Ом} \quad (2.7)$$

Обчислимо габаритну потужність трансформатора. Для цього необхідно, задати значення допоміжних коефіцієнтів B , D і F . Для мостової схеми їх вибирають у інтервалах: $B = 0,95 \dots 1,1$; $D = 2,1 \dots 2,2$.

Нехай $B = 1,06$; $D = 2,15$.

Габаритну потужність трансформатора визначимо як:

$$S_{TP} = U_d I_d \cdot 0.707 \cdot B \cdot D = 5 \cdot 1,7 \cdot 1,06 \cdot 2,15 = 13,7 \text{ ВА} \quad (2.8)$$

За визначеним значенням габаритної потужності $S_{TP} \approx 14 \text{ ВА}$ обираємо трансформатор 166G28 виробництва Hammond Manufacturing. На друкованій платі для даного трансформатора встановлено роз'єм.

Діюче значення напруги вторинної обмотки трансформатора становить:

$$U_2 = B U_d = 1,06 \cdot 5 = 5,3 \text{ В} \quad (2.9)$$

Діюче значення струму вторинної обмотки трансформатора:

$$I_2 = 0,707 D I_d = 0,707 \cdot 2,15 \cdot 1,5 = 2,28 \text{ А} \quad (2.10)$$

Повна потужність вторинної обмотки трансформатора:

$$S_2 = 0,707 B D I_d U_d = 0,707 \cdot 1,06 \cdot 2,57 \cdot 2,28 \cdot 5,3 = 2,28 \text{ А} \quad (2.11)$$

Коефіцієнт передачі трансформатора:

$$n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{5,3}{230} = 0,23 \quad (2.12)$$

Діюче значення струму первинної обмотки трансформатора:

$$I_1 = n \cdot I_2 = 0,23 \cdot 2,28 = 0,53 \text{ А} \quad (2.13)$$

Повна потужність первинної обмотки трансформатора:

$$S_1 = 0,707 0,707 B D I_d U_d = 0,707 \cdot 1,06 \cdot 2,57 \cdot 0,53 \cdot 230 = 0,11 \text{ ВА} \quad (2.14)$$

Уточнимо повну (габаритну) потужність трансформатора:

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{23,27 + 0,11}{2} = 11,69 \quad (2.15)$$

$$S = 11,69 \text{ Вт} < 13,7 \text{ Вт}$$

Знайдемо величину ємності конденсатора фільтра:

$$C_{\phi} = 3200 \cdot I_d / U_d \cdot 0,667 \quad (2.16)$$

$$C_{\phi} = 3200 \cdot \frac{1,7}{5} \cdot 0,667 = 1623 \text{ мкФ}$$

Конденсатор обираємо з ємністю більшою від розрахункової, та на напругу, що вища від робочої.

2.3.4 Тепловий розрахунок

З урахуванням напруги насичення ключового транзистора (0.5...0.8В) і допустимої розсіюваної корпусом мікросхеми потужністю 1.2Вт, струм навантаження може бути збільшений до 1.2Вт/0.8В=1.5А для корпусу DIP-8 і до 1А для корпусу SO-8.

З'єднання з навколишнім середовищем 50°C/W. З'єднання з корпусом (АС) (ізолюваний) 0.9°C/W. Порогова напруга $V_t = 0,8 \text{ В}$ (при максимальній температурі напівпровідника $T_{\pi} = 125^{\circ}\text{C}$).

Потужність, що виділяється на кристалі мікросхеми 1N4007FL дорівнює:

$$P_{\text{нп}} = I_{\text{max}} \cdot V_t = 1,5 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ Вт}, \quad (2.17)$$

де $P_{\text{нп}}$ – потужність на напівпровідниковому кристалі, I_{max} – максимальний струм.

Максимальна потужність в колі споживання схеми:

$$P_{\text{max}} = I_{\text{max}} \cdot U, \quad (2.18)$$

де U – напруга на навантаженні мікросхеми.

Тоді з (2.3.4.2) максимальна потужність у колі становить:

$$P_{max} = 1,5 \cdot 5 = 7,5 \text{ Вт.}$$

Радіатор охолодження повинен розсіювати потужність:

$$P_{рад} = P_{max} - P_{нп} = 7,5 - 1,25 = 6 \text{ Вт} \quad (2.19)$$

Формула для оцінювання потрібного охолоджувача виглядає таким чином:

$$S = \left(\frac{50}{P_{рад}} \right)^2, \quad (2.20)$$

де S – площа поверхні радіатора охолодження, см^2 , $P_{рад}$ – тепловий опір радіатора, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Тепловий опір радіатора розраховується за формулою:

$$R_{рад} = q \cdot \frac{[(T_{п} - T_{п}) - P_{нп}(R_{пк} + R_{кп})]}{P_{рад}}, \quad (2.21)$$

де q – коефіцієнт, що враховує нерівномірний розподіл температури по тепловідводу ($q = 0,96$), $R_{кп}$ – тепловий контактний опір між корпусом і радіатором $0,5^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Таким чином, відповідно до (2.21):

$$R_{рад} = 0,96 \cdot \frac{[(125 - 25) - 1,25(0,9 + 0,5)]}{6} = 5,76^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

Тоді з (2.20):

$$S = \left(\frac{50}{5,76} \right)^2 = 8 \text{ см}^2.$$

Отже, за даних умов потрібен радіатор загальної площі 8 см^2 . В якості такого радіатора охолодження можна обрати невеличкий алюмінієвий охолоджувач штировий або з ребрами (рис.2.7).



Рисунок 2.7 – Радіатори охолодження: а – алюмінієвий радіатор 9х9х5мм, б – алюмінієвий радіатор 9х9х14мм

Висновок до розділу

У даному розділі досліджено принцип роботи пристрою, на основі якого розроблено структурну схему приладу. Розглянуто рішення щодо забезпечення повної функціональності розробки. Опираючись на цей аналіз проведено пошук та обгрунтовано вибір елементної бази, на основі якої розроблено принципову схему годинника. Також проведено деякі розрахунки схеми.

					ДК91.403234.001ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		43

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

3.1 Визначення посадкових місць

Посадкове місце компоненту визначається видом корпусу, який характеризується його габаритними розмірами, числом контактів та розташуванням їх відносно площини основи корпусу. Контакти конструктивних елементів можуть розташовуватися в площині основи корпусу (планарні виводи) або бути перпендикулярними йому (штирові виводи). Загалом при формуванні компонентної бази перевага надавалась SMD пакуванню, оскільки основною його перевагою є зменшення габаритів корпусу. Однак, більшість обраних КЕ у DIP-корпусах мають характеристики, що краще задовольняють вимоги до окремих функцій приладу, а також сприяють його більш надійній роботі.

Для подальшого монтажу КЕ на друкованій платі, розглянемо кілька посадкових місць для SMD-компонентів (рис.3.1-3.4).

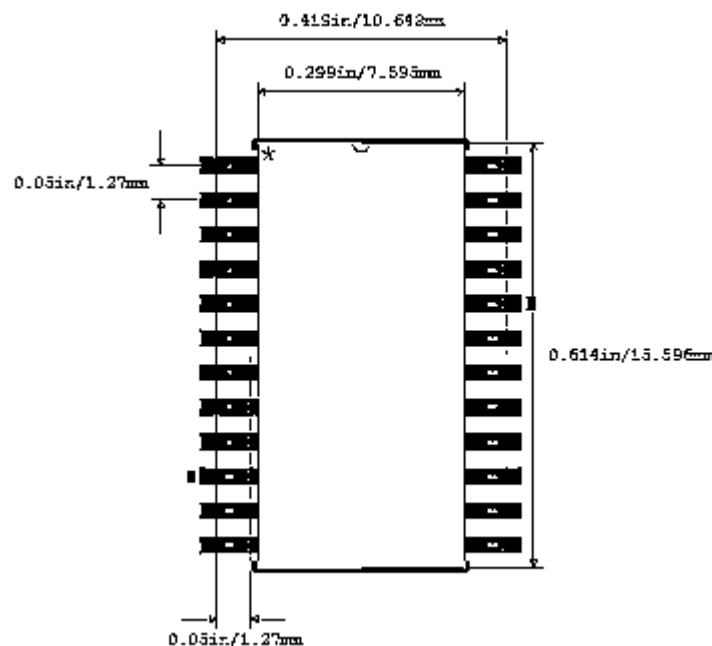


Рисунок 3.1 – Посадкове місце для драйвера 7-сегментних індикаторів MAX7219CWG

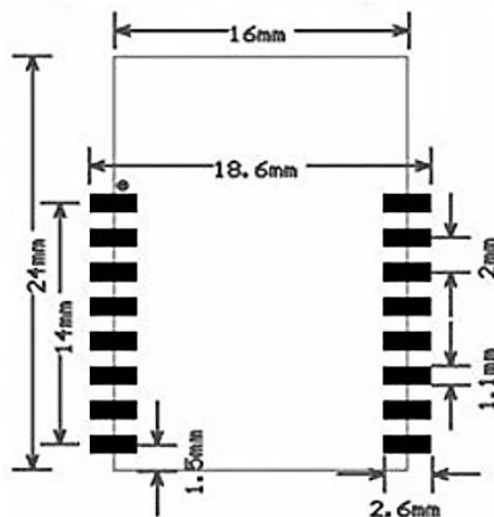


Рисунок 3.2 – Посадкове місце для WiFi модуля ESP8266

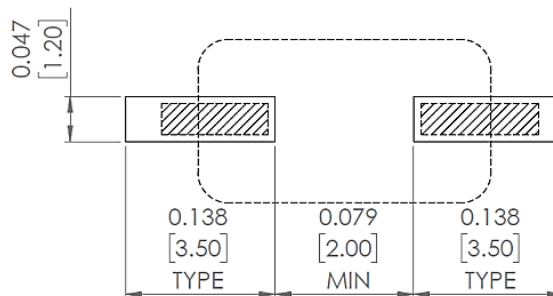


Рисунок 3.3 – Посадкове місце для кварца 16МГц ABLS7M2

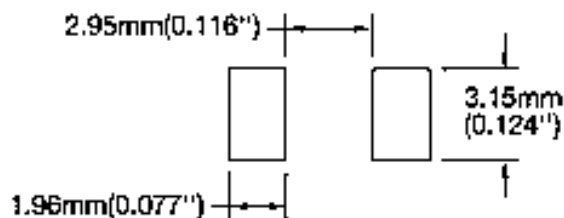


Рисунок 3.4 – Посадкове місце для запобіжника 0680L

Також нижче зображено посадкові місця деяких компонентів у DIP-корпусі, а саме: кнопки 1825910-2 (рис. 3.5), кварцового резонатора ABLS7M2 (рис. 3.6), котушки 6100 (рис. 3.7) та світлодіоду WP7113ID (рис. 3.8).

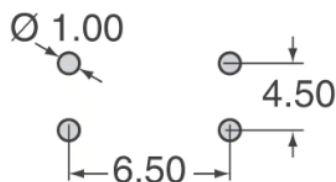


Рисунок 3.5 – Посадкове місце для кнопки 1825910-2

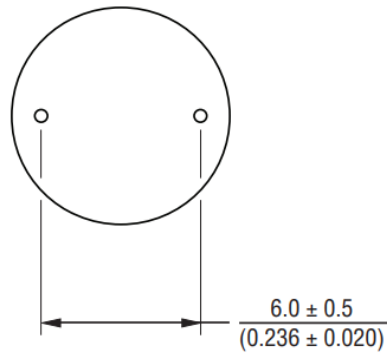


Рисунок 3.6 – Посадкове місце для котушки 6100

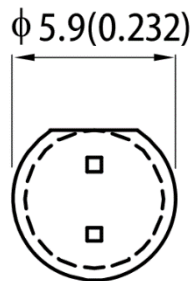


Рисунок 3.7 – Посадкове місце для світлодіоду WP7113ID

3.2 Розміщення конструктивних елементів

При вирішенні задачі розміщення КЕ завжди дана схема електрична принципова, описана матрицею зв'язків A , і дискретний монтажний простір, описаний матрицею відстаней D .

Потрібно на кожне вакантне посадочне місце розмістити КЕ таким чином, щоб функція якості розміщення була оптимальна.

В якості критеріїв оптимальності використовуємо ряд критеріїв [33]:

- мінімум сумарної довжини всіх з'єднань, тобто довжини всіх провідників повинні бути короткими. Ці провідники займають малу область монтажного простору і створюють сприятливі умови для прокладки різних варіантів трас;
- мінімізація числа найдовших з'єднань;
- максимально близьке розміщення КЕ, що мають найбільше число зв'язків між собою;
- максимальне число провідників простої конфігурації і т.д.

Для оптимізації розміщення конструктивних елементів на монтажному просторі плати скористаємось методом зворотного розміщення. В даному алгоритмі виконується попередня оцінка кожного з нерозміщених елементів $x_1, x_2, \dots, x_m$ та кожної вільної позиції $P_1, P_2, \dots, P_m$ після цього всі елементи розміщуються одночасно [33].

З метою зменшення розмірності матриці зв'язків вихідну схему розділено на окремі логічні блоки. Кожен з цих блоків розміщуватиметься на посадковому просторі плати в одне ПМ. Оскільки 7-сегментні індикатори, світлодіоди та кнопки керування будуть розміщуватися з іншої сторони плати аніж всі інші елементи, то вони у розміщенні участі не братимуть, тож на схемі ці елементи не винесені у жодний блок. При виборі компонентів, що входять у склад кожного блоку, враховуються габарити КЕ та логічні зв'язки, тобто габаритні елементи зі своєю обв'язкою об'єднано в один блок, роз'єми в інший, а інші елементи – розміщенні окремими групами.

Результат умовного розділення схеми на логічні блоки продемонстровано на рис.3.8.

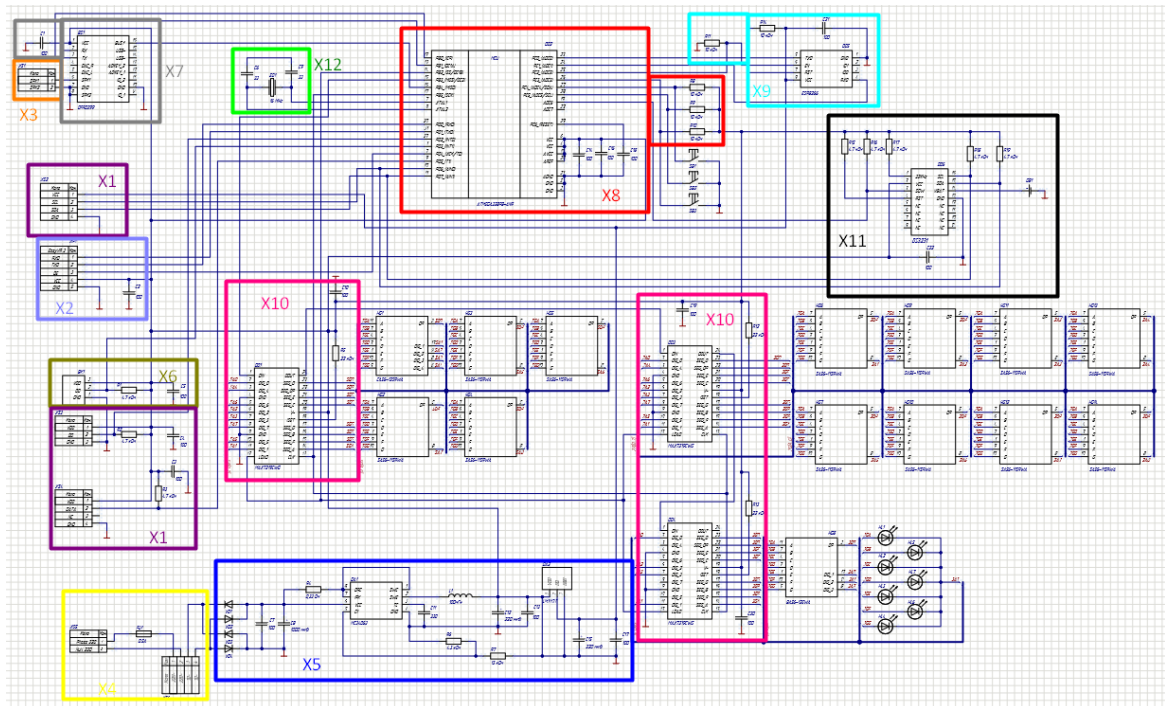


Рисунок 3.8 – Формування блоків КЕ

Таким чином, блоки можна представити у вигляді:

$X_1 = \{XS2, XS3, XS4\}$ – блок роз’ємів для виносних датчиків температури, вологості і тиску;

$X_2 = \{XP1\}$ – роз’єм для підключення модуля управління голосом EasyVR3;

$X_3 = \{XS1\}$ – роз’єм для мікрофона;

$X_4 = \{XS5, FU1, XS6\}$ – блок живлення;

$X_5 = \{VD1, VD2, VD3, VD4, C7, C8, C11, C12, C13, C15, C17, R4, R6, R7, DA1, DA2, L1\}$ – блок стабілізації;

$X_6 = \{BK1\}$ – датчик температури;

$X_7 = \{BS1\}$ – DFPlayer з обв’язкою;

$X_8 = \{DD2\}$ – ATmega328 з підтягуючими резисторами;

$X_9 = \{DD1, DD3, DD4, C10, C19, C20, R5, R12, R13\}$ – блок драйверів LED матриць;

$X_{10} = \{DD5, R11, R14, C21\}$ – WiFi модуль з обв’язкою;

$X_{11} = \{DD6, R15, R16, R17, R18, R19, C22, GB1\}$ – часовий блок (годинник реального часу з батарейним відсіком та обв’язкою);

$X_{12} = \{ZQ1, C6, C9\}$ – резонатор.

Логічні блоки КЕ (рис.3.1) можуть бути описані матрицею зв’язку (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Матриця зв’язків

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	$\sum a_i$
X1	0	1	0	0	3	2	1	4	1	0	3	0	15
X2	1	0	0	0	1	1	1	3	0	1	1	0	9
X3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
X4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
X5	3	1	0	2	0	1	1	1	1	1	1	0	12
X6	2	1	0	0	1	0	1	2	0	1	1	0	9
X7	1	1	2	0	1	1	0	4	0	1	1	0	12
X8	4	3	0	0	1	2	4	0	3	5	5	2	29

X9	1	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	5
X10	0	1	0	0	1	1	1	5	0	0	2	0	11
X11	3	1	0	0	1	1	1	5	0	2	0	0	14
X12	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2

Початкове розміщення елементів схеми представлено на рис.3.2. Усі елементи розміщенно довільно.

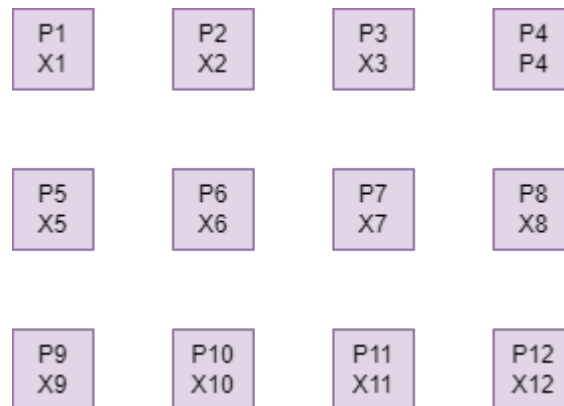


Рисунок 3.9 – Початкове розміщення елементів схеми

При розташуванні елементів методом зворотного розміщення необхідно визначити сумарну довжину зв'язків при початковому та кінцевому розміщенні.

Розрахунок сумарної довжини зв'язків виконується за допомогою виразу (3.1):

$$L_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N L_i = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_{ij} D_{ij}, \quad (3.1)$$

де А – матриця зв'язків, D – матриця відстаней між посадковими місцями, N – кількість посадкових місць.

Матриця відстаней між посадковими місцями для поставленої задачі представлена у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця відстаней між позиціями

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	$\sum d_i$
P1	0	1	2	3	1	2	3	4	2	3	4	5	30
P2	1	0	1	2	2	1	2	3	3	2	3	4	24

P3	2	1	0	1	3	2	1	2	4	3	2	3	24
P4	3	2	1	0	4	3	2	1	5	4	3	2	30
P5	1	2	3	4	0	1	2	3	1	2	3	4	26
P6	2	1	2	3	1	0	1	2	2	1	2	3	20
P7	3	2	1	2	2	1	0	1	3	2	1	2	20
P8	4	3	2	1	3	2	1	0	4	3	2	1	26
P9	2	3	4	5	1	2	3	4	0	1	2	3	30
P10	3	2	3	4	2	1	2	3	1	0	1	2	24
P11	4	3	2	3	3	2	1	2	2	1	0	1	24
P12	5	4	3	2	4	3	2	1	3	2	1	0	30

Довжина зв'язків блоків для даного розміщення, а також сумарна довжина зв'язків зведені до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Довжина зв'язків для початкового розміщення

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	L_{Σ}
L	0	29	21	17	11	10	15	16	4	3	12	0	138

Виконаємо упорядкування КЕ за алгоритмом зворотного розміщення. Для цього потрібно:

1. Упорядкувати елементи за зростаючою характеристикою.

$$a_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}, i = \overline{1, n}; i_1, i_2 \dots i_n. \quad (3.2)$$

2. Упорядкувати елементи за спадаючою характеристикою.

$$d_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}, j = \overline{1, n}; j_1, j_2 \dots j_n. \quad (3.3)$$

В результаті використання заданого алгоритму, отримано нове розміщення КЕ (рис.3.3) та зменшено сумарну довжину зв'язків (табл.3.4).

Таблиця 3.4 – Упорядкування КЕ

Σd_i	ПМ	Σa_i	КЕ
30	P1	2	X4
30	P4	2	X12
30	P9	2	X3
30	P12	5	X9
26	P5	9	X2
26	P8	9	X6
24	P2	11	X10
24	P3	12	X5
24	P10	12	X7
24	P11	14	X11
20	P6	15	X1
20	P7	29	X8

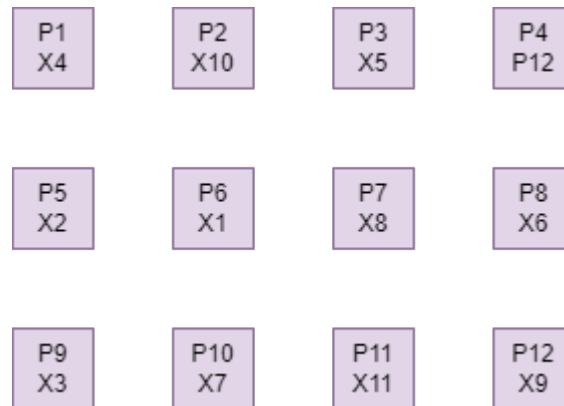


Рисунок 3.10 – Розташування елементів схеми після алгоритму зворотного розміщення

Розрахована сумарна довжина зв'язків після зворотного розміщення зведена до табл.3.5.

Таблиця 3.5 – Довжина зв'язків після зворотного розміщення

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	L_{Σ}
L	0	1	27	0	14	0	12	17	16	15	12	10	114

Таким чином, за допомогою методу зворотного розміщення вдалося зменшити довжину зв'язків зі 138 до 114, що вказує на вдале початкове розміщення конструктивних елементів.

Проаналізувавши рис.3.2.5 можна дійти висновку, що краще розмістити блок X5 поруч із X4, тож блоки X4 і X10 вирішено поміняти місцями для оптимізації розміщення. Оскільки блок X1 – це роз’єм, то його рекомендується розмістити скраю плати, тому вирішено поставити його на місце X2, а X2 у свою чергу змістити на посадкове місце P9. Блоки X3 та X7 досить оптимально розміщені поряд, тому переміщати їх будемо разом на одну позицію вправо, адже X2 зайняло посадкове місце X3. Таким чином, і X11 зміщується на позицію вправо. Оскільки X6 – це датчик температури, то більш логічно було б розмістити його поруч із роз’ємами для виносних датчиків, тому його вирішено поставити на позицію X1. Блок X9 в такому разі зміщається на місце X6. Це дозволить дещо зменшити сумарну довжину зв’язків.

В результаті перестановки отримаємо нове розміщення, зображене на рис.3.11.

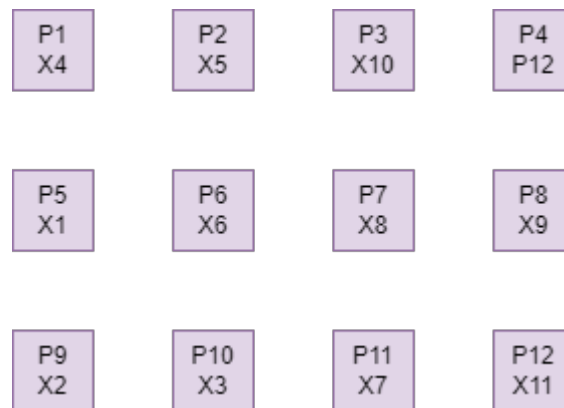


Рисунок 3.11 – Розташування елементів схеми після перестановки блоків

Розрахована сумарна довжина зв’язків після перестановки блоків зведена до табл.3.6.

Таблиця 3.6 – Довжина зв’язків після перестановки блоків місцями

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	L_{Σ}
L	0	17	2	0	0	10	12	7	28	24	20	15	120

Як бачимо, сумарна довжина зв'язків після перестановки блоків місцями трохи збільшилась, тому поміняємо назад блоки X1 та X2, так, як вони стояли після алгоритму зворотного розміщення (рис.3.12).

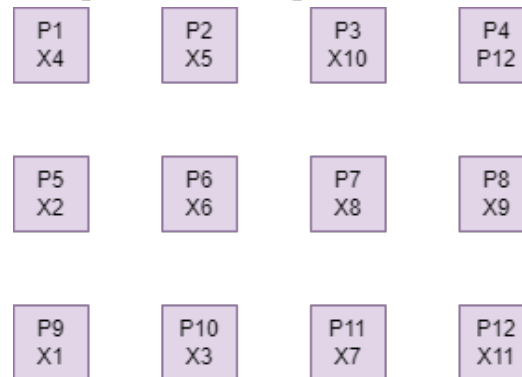


Рисунок 3.12 – Розташування елементів схеми після перестановки блоків

Таким чином, треба повторно розрахувати сумарну довжину зв'язків після перестановки блоків (табл.3.2.7).

Таблиця 3.7 – Довжина зв'язків після перестановки блоків місцями

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	L_{Σ}
L	0	17	2	0	14	10	12	7	0	24	20	15	106

Як видно, довжина зв'язків стала ще меншою, аніж вийшла за методом зворотного розміщення, що свідчить про успішну оптимізацію розташування КЕ.

3.3 Вибір типу та матеріалу друкованої плати

Друкована плата (ДП) призначена для електричного з'єднання і являє собою ізоляційну основу на лицьовій стороні якого розміщені конструктивні елементи, а на зворотному боці розміщені елементи друкованого монтажу: друковані провідники, контактні площадки, металізовані монтажні отвори. Їх застосування підвищує надійність апаратури, забезпечує повторюваність електричних параметрів, створює передумови для автоматизації виробництва (висока продуктивність і низька собівартість), зменшує габарити і масу. Друковані плати за конструкцією поділяються на такі класи: односторонні (одношарові) – ОДП, двосторонні (двошарові) – ДДП і багатошарові – БДП.

ОДП можуть проводити малюнок на одній стороні діелектричної основи. Вони прості за конструкцією і у виготовленні. Монтажні і трасувальні можливості цих плат низькі. Надійність ОДП і механічна міцність кріплення елементів також невисока.

ДДП можуть проводити малюнок на двох сторонах основи. Вони володіють високою щільністю монтажу, підвищеною надійністю з'єднань. Дозволяють полегшити трасування провідників і оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів. ДДП мають високу механічну міцність їх кріплення. Ці ДП допускають монтаж штирьових елементів з одного боку, а SMD-компонентів з двох сторін. Це дозволяє реалізувати на них більш складні схеми, ніж на ОДП. Тому ДДП широко застосовуються в електронній апаратурі.

БДП складаються з тонких шарів діелектрика і провідних малюнків, що чергуються. У процесі виробництва всі шари фізично з'єднуються в одне ціле – багатошарова основа. Залежно від технології виготовлення (пресування) БДП, електричне з'єднання багатошарової структури може бути здійснено або наскрізними перехідними отворами, або із застосуванням міжшарових переходів. Міжшарові переходи з зовнішніх шарів на внутрішні називаються глухими, а між внутрішніми шарами – прихованими.

Згідно вимог ТЗ та схеми електричної принципової для досліджуваного пристрою вибір зупинено на ДДП. Таке рішення прийнято виходячи з аналізу типів ДП. У зв'язку з кількістю зв'язків між елементами, наявністю штирьових компонентів і потребою у високій надійності з'єднань та правильній організації простору ДВ використання ОДП не можна назвати оптимальним. Також виходячи з тривалості технологічного циклу і підвищеної вартості виробництва не використовуємо БДП. Вибір ДДП дозволяє забезпечити необхідну точність, щільність монтажу, надійність і забезпечити мінімальну вартість.

Правильний вибір матеріалів, технологічних процесів і елементної бази при

					ДК91.403234.001ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		54

розробці сучасних друкованих вузлів багато в чому визначає рівень працездатності і надійність електронного пристрою в цілому при раціональних економічних витратах у виробництві. При цьому розглядаються такі аспекти:

- призначення електронної системи: технічні умови на вироби, очікуваний робочий ресурс, елементна база з характеристиками по швидкодії, вихідному опору, рівню робочих сигналів, напрузі живлення і т.д.;

- експлуатаційні вимоги по ремонтпридатності: можливості профілактики та ремонту, наявність запасних друкованих вузлів і блоків;

- навколишні умови при зберіганні та роботі. Технологія виготовлення: сумісність з діючим виробництвом, ступінь і характер механізації і автоматизації при заданому обсязі виробництва;

- базові та допоміжні матеріали: обсяг можливих поставок, вартість, необхідність відбору за спеціальними вимогами.

При виробництві ДП застосовуються вітчизняні та імпорتنі матеріали різних виробників. Матеріали, що застосовуються в якості основи для ДП повинні мати: високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність, бути стійкими до кліматичних впливів. Цим вимогам задовольняють електротехнічні матеріали: склотекстоліт, кераміка, фторопластова плівка, сапфір і ін.

В даний час введено новий параметр – опірність займання. Цьому параметру виділені полімерні композиційні матеріали FR-1 ... FR-5. Найбільш поширеним матеріалом для виробництва ДДП і БДП є FR-4. Стандартний FR-4 представляє собою композитивний матеріал на основі скловолокна (склотекстоліта). Має товщину 1,5мм і складається з 8 шарів («препрегів») склотекстоліта. Застосування FR-4 дозволяє отримати отвори високої якості, а це важливо для монтажу елементів в отвори.

Відмінною характеристикою даного матеріалу є:

- високе значення адгезії фольги до підкладки діелектрика під впливом

				13.06	ДК91403234.001ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		55

високої температури;

- високий об'ємний та поверхневий електричний опір;
- висока температура склування і стабільність геометричних розмірів.

Таким чином, для реалізації ДДП обраний сучасний, з високими параметрами матеріал FR4-2-35-1,5. Даний матеріал є фольгованим склотекстолітом з підвищеною нагрівостійкістю, товщиною 1,5 мм, облицьований з двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм.

3.4 Вибір класу точності

Точність виготовлення ДП залежить від комплексу технологічних параметрів і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів ДП. У першу чергу це стосується мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка і до ряду інших параметрів.

ГОСТ 23571-86 передбачає п'ять класів точності ДП. Вибір класу точності завжди пов'язаний з конкретним виробництвом. Спроба вирішити цю задачу в зворотньому порядку може призвести до того, що проєкт не буде реалізований.

При конструкторсько-технологічному розрахунку необхідно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу з урахуванням похибки їх виконання. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу і допустимі похибки зведено до таблиць 3.8 і 3.9, відповідно.

Таблиця 3.8 – Граничні значення основних параметрів ПМ

Параметер	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{\text{пр}г}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$lг$	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 3.9 – Допустимі похибки виконання елементів ДМ

Похибка	Обозначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КО	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КО	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КО	$\delta_{км}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КО на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

Виготовлення ДП п'ятого класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів і навіть створення у виробничих приміщеннях «чистої зони». Таким вимогам відповідає далеко не кожне виробництво.

ДП четвертого класу випускаються на високоточному обладнанні, але вимоги до матеріалів, обладнання та виробничих приміщень нижче, ніж для п'ятого класу.

ДП третього класу – найбільш поширені, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого – для їхнього виробництва досить рядового, хоча і спеціалізованого устаткування.

Випуск ДП другого і третього класів здійснюється на рядовому обладнанні, а іноді навіть на обладнанні, що не спеціалізоване для виготовлення ДП. Такі ДП, з невисокими конструктивними параметрами, призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу.

Розроблювальний пристрій вимагає застосування доволі високоточного обладнання для забезпечення максимальної точності відліку часу, з'єднання з мережею Інтернет та коректної роботи голосової взаємодії із користувачем. До того ж, прилад має володіти високою надійністю, щільністю трасування, а також точністю виготовлення друкованих провідників, при цьому особливих вимог до габаритів плати немає. Для конструювання ДП обираємо 4-ий клас точності, оскільки він забезпечує достатню щільність трасування і монтажу з

урахуванням необхідних вимог до виготовлення пристрою.

3.5 Вибір методу виготовлення друкованої плати

При виборі необхідного методу виготовлення були розглянуті такі методи: хімічний субтрактивний метод, хімічний адитивний метод, комбінований позитивний та комбінований негативний метод.

Хімічний субстрактивний метод забезпечує високу роздільну здатність, однак характеризується великими втратами міді, боковим підтравлюванням друкованих провідників, і отвори не металізуються.

В порівнянні з субтрактивними методами, адитивні забезпечують високу надійність щеплення провідників, економію міді, хімікатів для травлення, меншу тривалість виробничого циклу, відсутність підтравлювання провідників та КМ, проте має низьку швидкість осадження, нерівномірність товщини покриття в МО (крайовий ефект), а також високу вартість.

Комбінований позитивний метод поєднує у собі можливість відтворення всіх типів друкованих елементів з високою точністю, хорошу надійність ізоляції, хорошу міцність зчеплення (адгезія) металевих елементів плати з діелектричним підставою, але призводить до бічного підтравлювання, обмеженого вибору розчинів для травлення та додаткових капітальних і прямих витрат.

Вивчивши переваги та недоліки різних методів і вимоги викладені в ТЗ, будемо використовувати комбінований позитивний метод, оскільки він поєднує в собі переваги хімічного субтрактивного та хімічного адитивного методів:

- підвищена надійність МО;
- високі електроізоляційні параметри плати, тому що діелектрична основа плати закрита мідною фольгою практично у всьому технологічному циклі.

3.6 Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДП

3.6.1 Визначення мінімальної ширини друкованого провідника за постійним струмом для ланцюгів живлення і землі

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму $b_{\min I}$ (мм) для ланцюгів живлення та «землі» визначається виразом (3.4):

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (3.4)$$

де $I_{\max}$ – максимально можливий струм у ланцюгу, А;

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

$t_{\text{пров}}$ – товщина друкованого провідника, що визначається виразом (3.5), мм.

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{\text{пров}} = h_{\phi} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (3.5)$$

де h_{ϕ} – товщина фольги, $h_{\phi} = 0,035$ мм;

$h_{\text{ГМ}}$ – товщина шара гальванічно осадженої міді, $h_{\text{ГМ}} = 0,055$ мм;

$h_{\text{ХМ}}$ – товщина шара хімічно осадженої міді, $h_{\text{ХМ}} = 0,0065$ мм.

Таким чином,

$$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965 \text{ мм}$$

Параметр $I_{\max}$ у виразі (3.4) визначається як сума струмів, які споживають всі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, представлено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Струми, які споживають елементи схеми

Назва елемента	Кількість	$I_{\text{спож}}$, мА
ATMEGA328	1	3,6

DS1820	1	1,5
DFR0299	1	50
MC34063	1	4
LM1117T	1	1,7
ESP8266	1	70
DS3231	1	0.2
CA56-12SRWA	1	20
SA56-11SRWA	6	20*6=120
BA56-12EWA	1	20
SA56-11SRWA	6	20*6=120
Сума		411

Тож, сумарний струм споживання:

$$I_{max} = 3,6 + 1,5 + 50 + 4 + 1,7 + 70 + 0,2 + 20 + 120 + 20 + 120 = 411 \text{ мА}$$

Таким чином, мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення і «землі»:

$$b_{\min I} = \frac{I_{max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,411}{48 \cdot 0,0965} = 0,0887 \text{ мм}$$

Отримане значення $b_{\min I} = 0,0887 \text{ мм}$ менше мінімальної ширини провідника 4 класа точності $b_{\text{пр}}^{\Gamma} = 0,15 \text{ мм}$. Таким чином, оптимальна ширина провідника за постійним струмом для ланцюгів живлення та землі дорівнює 0,15 мм.

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

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається наступним виразом (3.6):

$$b_{\min U} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (3.6)$$

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

$L_{\text{пров}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника ДП, $L_{\text{пров}} = 1106,797 \text{ мм}$

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, $U_{\text{доп}} = 0,05 \cdot E_{\text{п}} = 0,05 \cdot 9 = 0,45 \text{ В}$

$$b_{\min U} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,411 \cdot 1106,797}{0,45 \cdot 0,0965} = 0,183 \text{ мм}$$

3.6.3 Визначення номінального діаметра монтажного отвору

Розрахунок діаметра монтажного отвору виконується за формулою (3.7):

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{МО}} + r, \quad (3.7)$$

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

$\Delta d_{\text{МО}}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра МО, $\Delta d_{\text{МО}} = 0,1 \text{ мм}$

r – різниця між мінімальним діаметром МО і максимальним діаметром вивода елемента, $r = 0,1 \dots 0,2 \text{ мм}$

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{МО}} + r = 0,5 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ мм}$$

3.6.4 Визначення діаметра контактної майданчика

Параметр контактної майданчика представлено на рис.3.5.

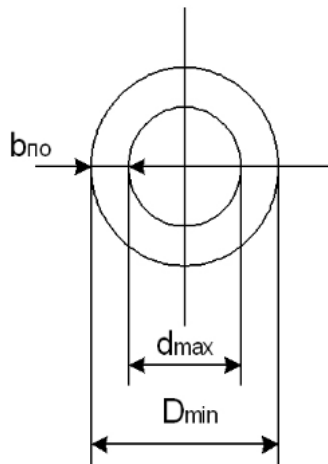


Рисунок 3.13 – Параметри контактного майданчика

Параметри D_{min} та d_{max} (рис.3.5) визначаються формулами (3.8) та (3.10) відповідно:

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (3.8)$$

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

$h_{\phi} = 0,035$ мм – товщина фольги. Коефіцієнт $1,5 \cdot h_{\phi}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину.

0,03 – КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{min1} = 2 \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{KM} \right), \quad (3.9)$$

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

$b_{по}$ – ширина пояса КМ, $b_{по} = 0,05$ мм (див. Табл.3.1);

δ_o – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_o = 0,07$ мм (див. Табл.3.4.2);

δ_{KM} – похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, $\delta_{KM} = 0,05$ мм (див. Табл.3.10).

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (3.10)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм;

Δd – допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0,05$ мм.

Отже,

$$d_{max} = 0,8 + 0,05 + 0,1 = 0,95 \text{ мм}$$

$$D_{min1} = 2 \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{KM} \right) = 2 \left(0,05 + \frac{0,95}{2} + 0,07 + 0,05 \right) = 1,29 \text{ мм}$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 1,29 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,37 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{max} = D_{min} + 0,02, \quad (3.11)$$

Таким чином,

$$D_{max} = 1,37 + 0,02 = 1,39 \text{ мм}$$

3.6.5 Визначення мінімальної ширини провідника

Мінімальна ширина провідника визначається за формулою (3.12):

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (3.12)$$

де b_{min} – мінімальна ширина провідника;

$b_{пр}^r$ – визначається із таблиці класів точності (Табл.3.10). Для четвертого класу точності ДМ $b_{пр}^r = 0,15 \text{ мм}$.

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ мм}$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{max} = b_{min} + 0,02 = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм}$$

3.6.6 Визначення мінімальної відстані між провідником і контактним майданчиком

Параметри мінімальної відстані між провідником і контактним майданчиком представлено на рис.3.14.

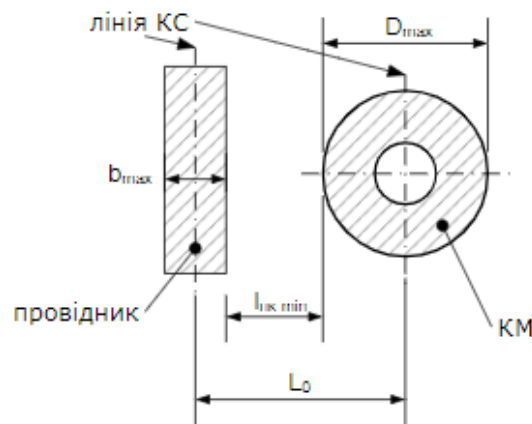


Рисунок 3.13 – Параметри мінімальної відстані між провідником і контактним майданчиком

$$L_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right), \quad (3.13)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів і друкованим провідником, кратні кроку КС, $L_0 = 1,25$ мм;

D_{max} – максимальний діаметр КП;

b_{max} – максимальна ширина провідника;

$\delta_{\text{км}}$ – похибка розташування центру КП щодо вузла КС, $\delta_{\text{км}} = 0,05$ (Табл.3.10);

$\delta_{\text{сп}}$ – похибка, що враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{сп}} = 0,05$ мм

$$L_{\text{ПКМ min}} = 1,25 - \left(\frac{1,39}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,33 \text{ мм}$$

3.6.7 Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)

Параметри мінімальної відстані між краями провідників представлено на рис.3.7.

$$L_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2\delta_{\text{сп}})$$

Таким чином, $L_{\text{ПП min}} = 1,25 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,9$ мм

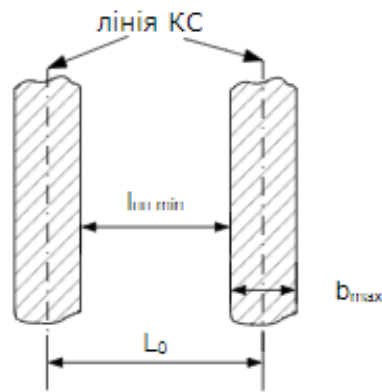


Рисунок 3.14 – Параметри мінімальної відстані між краями провідників

3.6.8 Визначення мінімальної відстані між двома контактними майданчиками

Параметри мінімальної відстані між контактними майданчиками представлено на рис.3.15.

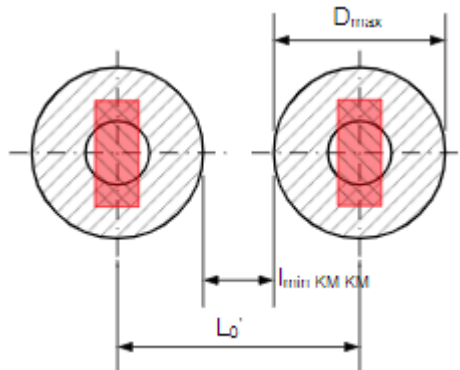


Рисунок 3.15 – Параметри мінімальної відстані між двома контактними майданчиками

$$L_{\min \text{ KM KM}} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta_{\text{KM}}),$$

де L_0 – відстань між центрами сусідніх КМ, $L_0 = 2,5$ мм

$$L_{\min \text{ KM KM}} = 2,5 - (1,39 + 2 \cdot 0,05) = 1,01 \text{ мм}$$

Отримане значення задовольняє значенням 4-го класу точності.

3.7 Проєктування друкованого вузла у середовищі AltiumDesigner

САПР Altium Designer пропонує великі можливості для розробки електронних пристроїв із можливістю подальшої передачі інформації

проектувальнику ПЛІС або друкованої плати. Це досить складне багатофункціональне програмне забезпечення, проте зручне у користуванні, має адаптований до користувачів інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та дозволяє виконати всі необхідні етапи для проектування ДП, визначені завданням.

Під час написання дипломної роботи розглянуто такі можливості програми:

- створення бібліотеки умовно-графічних позначень (УГП);
- створення бібліотеки посадкових місць для КЕ;
- створення принципової електричної схеми;
- створення та трасування ДП.

Процес розробки друкованого вузла у середовищі Altium Designer виконувався у такій послідовності:

1. *Створення проекту друкованої плати (PCB Project)* – набору документів, необхідного для виготовлення друкованої плати. Документи є файлами різних типів, що додаються в проект. Кожен документ у проекті зберігається в окремому файлі.

2. *Створення бібліотеки умовно-графічних позначень.* Altium Designer має у своєму розпорядженні готові бібліотеки компонентів, однак їхнє використання не є оптимальним, оскільки УГП компонентів не відповідають ГОСТу, і, до того ж, бібліотека не містить вітчизняної елементної бази. Тому для коректної роботи при проектуванні друкованого вузла бібліотека УГП та моделі компонентів створювалися самостійно згідно до відповідних ГОСТів. Умовні графічні зображення та посадкові місця компонентів формуються у редакторі бібліотек (Library Editor). Безпосередньо УГП зберігаються у файлі із розширенням .SchLib.

3. *Створення бібліотеки посадкових місць для КЕ.* Контактні майданчики (footprints) створено згідно до розмірів у документації на компонент (datasheet).

Десігнатори падів повинні відповідати пінам на УГП. Контури компонентів розміщено на шарах TopAssembly та BottomAssembly для компонентів на лицьовій та зворотній стороні плати відповідно, 3D моделі компонентів – на шарі Top 3D Body. Далі готові посадкові місця підключено до відповідних компонентів у попередньо створеній бібліотеці УГП [34].

4. *Створення схеми електричної принципової.* На даному етапі велася розробка електричної принципової схема приладу із використанням готових УГП та інструментів Altium Designer відповідно до вимог ТЗ.

5. *Створення та розведення друкованої плати.* Процес розробки ДП відбувався за таким алгоритмом: створення файлу друкованої плати, розміщення конструктивних елементів на монтажному просторі із посадковими місцями відповідно до результатів, отриманих шляхом методу зворотного розміщення, формування контуру друкованої плати, опису стека шарів, установки отворів кріплення, визначення правил трасування та, власне, самого трасування. Результат створення ДВ наведено на рис.3.16.

6. *Створення креслення ДП, складального креслення та відповідної специфікації.* На останньому етапі згенеровано специфікацію на проєкт, що розробляється, та оформлено креслення (у редакторі креслень AutoCAD) із зазначенням розмірів плати та монтажних отворів, умовних позначень отворів та компонентів згідно до специфікації, таблицею отворів (Drill Table) та технічними умовами [34].

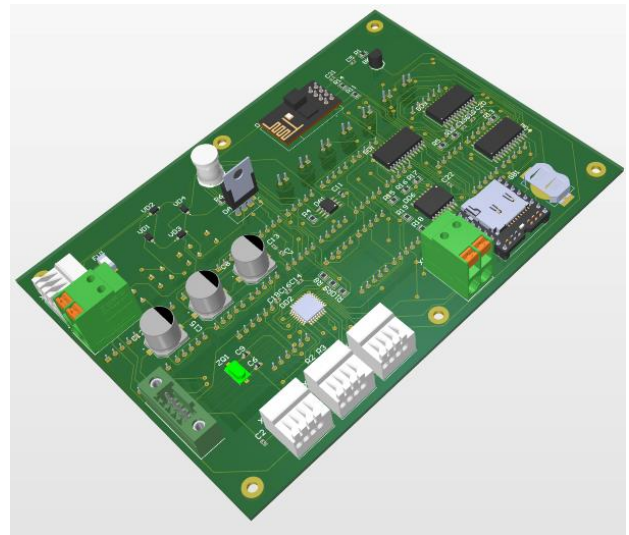
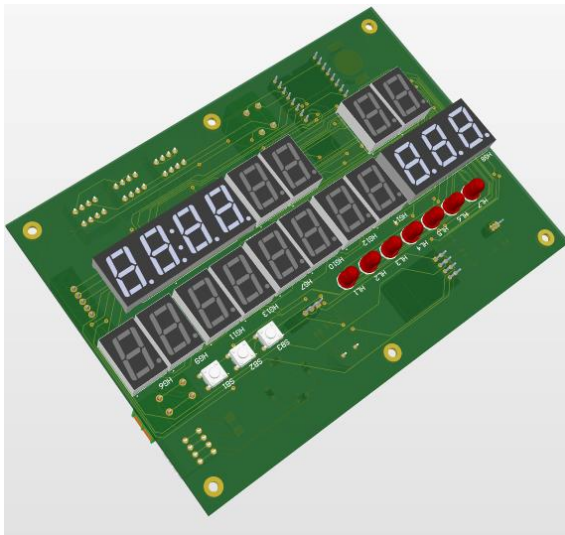


Рисунок 3.16 – Інклюзивний електронний будильник. Друкована плата

Висновок до розділу

Даний розділ присвячено проєктуванню друкованого вузла. Відповідно до компонентної бази, сформованої у Розділі 2, визначено посадкові місця КЕ. Розташовано їх на монтажному просторі методом зворотного розміщення. Викладено загальний огляд на існуючі типи, матеріали, класи точності та методи виготовлення друковаих плат. Проведено конструкторсько-технологічний розрахунок. А також описано методи проєктування друкованого вузла у середовищі Altium Designer. Визначено алгоритм, за яким ведеться розробка плати, від створення проєкту до власне 3Д моделювання.

Таким чином, для даної розробки вибір зупинено на двошаровій друкованій платі 4 класу точності, виготовленій за комбінованим позитивним методом. Для реалізації ДДП обрано сучасний імпортний матеріал FR4-2-35-1,5. Розрахунки підтвердили вибір саме четвертого класу точності. Розведення ДП виконано шляхом використання функції автотрасування певних з'єднань і класів компонентів (Auto Route [35]), та подальшої оптимізації отриманої розводки.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ КОРЕКТНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

4.1 Електричний розрахунок друкованої плати

Зі зменшенням геометричних розмірів конструктивних елементів і зі збільшенням щільності їхнього розміщення між сигнальними провідниками виникає ємнісний та індуктивний зв'язок. При перемиканні елементів по сигнальним ланцюгам течуть високочастотні імпульсні струми з крутими фронтами, які при наявності паразитних зв'язків створюють завади на сусідніх сигнальних провідниках. Останні за певних умов створюють помилкові спрацьовування дискретних елементів.

Паразитні реактивності – це приховані паразитні ємності і індуктивності, що діють у високочастотних ланцюгах. До них відносяться індуктивності, утворені виводами елементів і довгими доріжками; ємності між контактними майданчиками і землею, шаром живлення та доріжками; взаємодії через перехідні отвори і багато інших чинників. Необхідно, щоб значення перешкод не перевищувало допустиму норму.

Вплив ємностей та індуктивності сигнального ланцюга виражається в затримці включення схеми. Час затримки визначається струмом, опором навантаження і опором сигнального провідника.

Для аналізу впливу ємностей і індуктивності на працездатність друкованого вузла, виконаємо електричний розрахунок друкованої плати.

4.1.1 Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається за формулою (4.1):

				13.06	ДК91.403234.001ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		69

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.1)$$

де ρ – питомий об’ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

I_{max} – максимальний струм у провіднику (сума струмів усіх активних елементів), $I_{\text{max}} = 411 \text{ мА}$;

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина друкованого провідника, $l_{\text{пр}} = 1,107 \text{ м}$;

$b_{\text{пр}}$ – мінімальна ширина друкованого провідника, мм;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника (розраховано у попередньому розділі), $t_{\text{пр}} = 0,0965 \text{ мм}$.

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,411 \cdot 1,107}{0,3 \cdot 0,0965} = 0,27 \text{ В} = 270 \text{ мВ}$$

Розраховане падіння напруги близько 5% від напруги живлення.

4.1.2 Визначення потужності втрат двосторонньої ДП

Потужність втрат визначається виразом (4.2):

$$P_{\text{пот}} = 2\pi f C E_n^2 \tan \sigma, \quad (4.2)$$

де $f = 1$, адже розрахунок ведеться на постійному струмі;

$\tan \sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу, з якого виготовлена ДП, $\tan \sigma = 0,002$ для матеріалу FR4;

C – ємність друкованої плати, визначається формулою (4.3).

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.3)$$

де ε – діелектрична проникність, $\varepsilon = 4,5$ для FR4;

S_m – площа металізації, мм^2 ;

h – товщина друкованої плати, мм.

Таким чином,

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 1294,84257}{1,5} = 34,96074939 \text{ нФ.}$$

Тож, потужність втрат:

$$P_{\text{пот}} = 2\pi f C E_n^2 \tan \sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 34,96 \cdot 25 \cdot 0,002 \approx 10,977 \text{ мкВт}$$

4.1.3 Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, розташованими на одній стороні друкованої плати, що мають однакову ширину

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\log \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.4)$$

де ε – діелектрична проникність, $\varepsilon = 4,5$ для FR4

$l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм;

S – відстань між двома паралельними провідниками, мм;

$b_{\text{пр}}$ – ширина друкованого провідника, $b_{\text{пр}} = 0,3$ мм;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, $t_{\text{пр}} = 0,0965$ мм.

$$C = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 25,265 \cdot \left[\log \frac{2 \cdot 0,385}{0,3 + 0,0965} \right]^{-1} \approx 4,733 \text{ пФ}$$

4.1.4 Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини

$$M = 0,02 \cdot \left(l_{\text{пр}} \log \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right), \quad (4.5)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття двох паралельних провідників, см;

L_0 – відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників, см.

$$M = 0.02 \cdot \left(22,5 \log \frac{\sqrt{22,5^2 + 0,05^2} + 22,5}{0,05} - \sqrt{22,5^2 + 0,05^2} + 0,05 \right) \\ = 0,88 \text{ нГн.}$$

4.2 Розрахунок основних показників надійності друкованого вузла

Надійність друкованого вузлу визначається надійністю всіх елементів, що встановлюються на ДП, власне самою ДП та пайкою елементів. Відмова одного чи декількох елементів веде до відмови всієї складної ЕОА, при чому ці елементи фактично є невідновлюваними.

Тому найбільш точною кількісною мірою надійності кожного конструктивного елемента є час напрацювання його до відмови. Оскільки для повної характеристики надійності необхідна густина розподілу часу безвідмовної роботи даного типу конструктивного елемента $f(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda(t)$, то маючи ці залежності можна визначити імовірність відмови, середній час безвідмовної роботи.

Інтенсивність відмов електрорадіоелементів являється експериментальною величиною і залежить від ряду факторів – температури навколишнього середовища, теплових ударів, вологості, режиму роботи і т.д.

Для розрахунку інтенсивності відмов елемента будемо використовувати базову інтенсивність відмов λ_0 – тобто при нормальних умовах. Ця величина є експериментальною і наведена у довідниках для різних елементів. Будемо використовувати дані із джерела [36]. Також необхідно врахувати режим роботи елементів, температурний режим та зовнішні впливи. Для цього для врахування режиму роботи елемента будемо використовувати коефіцієнт навантаження КН, для врахування температурного режиму будемо використовувати поправочний коефіцієнт температурного режиму α_t , для врахування зовнішніх впливів – α_e . Останні два також є довідниковими значеннями, тому значення для α_t і α_e будемо

використовувати із джерела [37].

Оскільки коефіцієнт навантаження є недовідниковим значенням, тому розрахуємо його для кожного з типів конструктивних елементів. Він визначається як відношення навантаження в робочому режимі до навантаження номінального.

4.2.1 Розрахунок коефіцієнтів навантаження

Резистори. Для резисторів K_R визначається за потужністю, що розсіюється на резисторі. Цілком логічно, що найбільша потужність буде виділятися на тому з резисторів, через який протікає струм, а струм, що протікає через резистор, обернено пропорційний його опору (чим більший опір, тим менший струм), тому розглянемо резистори з найменшим номінальним опором для потужності 0,25 Вт – резистори номіналом 4,7 кОм як найгірший випадок, оскільки для більших, опорів коефіцієнт навантаження буде меншим, тому взявши для всіх резисторів коефіцієнт навантаження в найгіршому випадку, ми таким чином отримаємо гірші показники, але це краще для конструкторського розрахунку, оскільки створюватиме певний запас по надійності.

Тож,

$$K_{HR} = \frac{U^2}{R \cdot P_{\text{ном}}} = \frac{5^2}{4,7 \cdot 10^3 \cdot 0,25} = 0,02,$$

Конденсатори. Для конденсаторів коефіцієнт навантаження визначається за напругою. Розраховуємо для найгіршого випадку для електролітичних конденсаторів в колі з напругою 3,3 В:

$$K_{HC} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{3,3}{10} = 0,33$$

Діоди. Для діодів коефіцієнт навантаження визначимо за напругою. Розраховуємо для найгіршого випадку:

					ДК91.403234.001ПЗ	Лист
				13.06		73
Змін.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$K_{\text{нД}} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{220}{1000} = 0,022$$

Світлодіоди. У цьому випадку розраховуватимемо $K_{\text{н}}$ за струмом, оскільки струми, за яких працюють ці елементи, значно ближчі до максимальних значень, ніж у випадку напруги, тому вибираємо гірший випадок:

За схемою $I_{\text{роб}} = 20\text{мА}$

$$K_{\text{нТ}} = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{0,02}{0,02} = 1$$

Стабілізатор. Для обраного стабілізатора напруги і струму коефіцієнт навантаження визначимо за струмом. Маємо два стабілізатора з різними параметрами стабілізації. Для DA_1 максимальний пропускний струм – 1,5 А. Візьмемо це значення за номінальний струм, а для DA_2 – 800 мА.

Таким чином, відповідні коефіцієнти навантаження:

$$K_{\text{нCDA}_1} = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{1,3}{1,5} = 0,86$$

$$K_{\text{нCDA}_2} = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{0,48}{0,8} = 0,6$$

Котушка індуктивності. Для обраної котушки індуктивності коефіцієнт навантаження визначимо за струмом:

$$K_{\text{нС}} = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{0,15}{0,2} = 0,75$$

Кварцовий резонатор. Обираємо $K_{\text{н}}$ рівний 0,8, оскільки даний елемент є критично важливим для функціонування мікроконтролера, тому необхідний певний запас по надійності.

Мікросхеми. Обираємо $K_{\text{н}}$ рівний 1, оскільки мікросхеми забезпечують повне функціонування схеми (АТmega328 та драйвери для 7-сегментних індикаторів). Припускається, що всі мікросхеми працюють у відповідних режимах при струмах та напругах, що забезпечують стабільне функціонування їх

протягом довгого часу як гарантує datasheet на кожному з мікросхем.

Решта елементів. Для усіх інших елементів вибираємо $K_n = 1$.

4.2.2 Інтенсивність відмов друкованого вузла

Інтенсивність відмов друкованого вузла визначаємо як інтенсивність відмов металізованих отворів. Дані для розрахунку часу напрацювання до першої відмови занесені до таблиці 4.1. Кліматичне виконання приладу УХЛ 3.0, що диктує максимальну температуру роботи в діапазоні від -60°C до $+40^{\circ}\text{C}$, спираючись на цю інформацію обираємо α_t з відкритих джерел.

Даний друкований вузол відноситься до наземної стаціонарної ЕРА, тому $\alpha_e = 10$. Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці дозволяють виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Таблиця 4.1 – Показники для найгіршого випадку розрахунку надійності

Компонент	N	$\lambda_{0e} * 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$	K_n	α_t	α_e	$\lambda_{0e} * 10^{-6} * K_n * \alpha_e * \alpha_t$
Резистори керамічні (0,125 Вт)	7	0,044	0,02	0,2	10	0.00176
Резистори керамічні (0,25 Вт)	12	0,044	0,02	0,2	10	0.00176
Конденсатори керамічні	19	0,022	0,5	0,4	10	0.044
Конденсатори електrolітичні	3	0,173	0,33	0,2	10	0.11418
Діоди	4	0,025	0,22	0,9	10	0.0495
Світлодіоди	6	0,025	0.3	0,9	10	0.0675

Продовження таблиці 4.1

Стабілізатори	2	0,028	0,86	0,9	10	0.21672
Кварцовий резонатор	1	0,03	0,8	1	10	0.24
DF-плеєр	1	0, 025	1	1,2	10	0.3
Мікросхеми	6	0,025	1	1,2	10	0.3
Датчик температури	1	1,5	1	1,2	10	18
Кнопки	3	0,175	1	1	10	1.75
Перехідні отвори	95	0,000017	1	1	10	0.00017
Роз'єми	7	0,015	1	1	10	0.15
Пайки виводу	472	0,000069	1	1	10	0.00069
Друкована плата (шари)	2	0,001	1	1	10	0,01
Сума	21,2363					

Фактична інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{pi} = 21,2363 * 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} \quad (4.7)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{21,2363 \cdot 10^{-6}} = 47089,1822 \text{ (год)}$$

Ймовірність безвідмовної роботи протягом року:

$$P_{piч}(t) = e^{-\lambda p t}, \quad (4.8)$$

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

Таким чином,

$$P_{\text{річ}}(t) = e^{-21,2363 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,830249$$

Ймовірність відмов протягом року:

$$Q_{\text{річн}} = 1 - P_{\text{річн}} \quad (4.9)$$

$$Q_{\text{річн}} = 1 - P_{\text{річн}} = 1 - 0,830249 = 0,169751$$

Значення безвідмовної роботи протягом експлуатації зведено до таблиці 4.2 нижче. Графіки залежностей ймовірності відмов і безвідмовної роботи наведені на Рис.4.1.

Таблиця 4.2 – Значення безвідмовної роботи та відмов за час t (год)

t, год	P(t)	Q(t)
10	0,999788	0,99984
100	0,997879	0,99844
1000	0,978988	0,98448
10000	0,808671	0,85518
100000	0,119597	0,20922

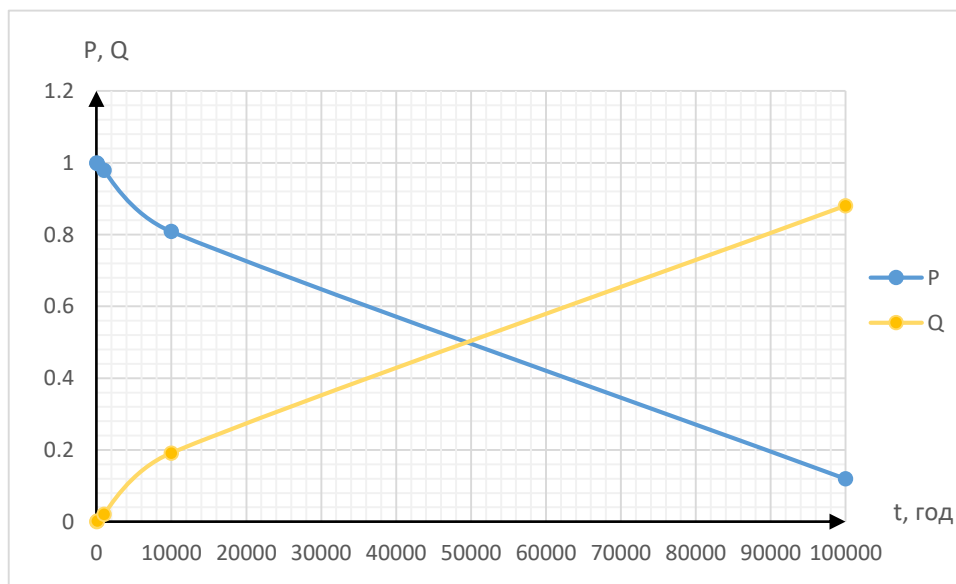


Рисунок 4.1 – Графік ймовірностей безвідмовної роботи P(t) та відмов Q(t)

Тож, з графіку видно, що час безвідмовної праці становить приблизно 5 років, що повністю задовільняє вимоги, викладені у ТЗ.

4.3 Розрахунок віброміцності

Для визначення віброміцності друкованого вузла необхідно врахувати такі параметри матеріалу FR-4:

- модуль Юнга $E = 3,02 \cdot 10^{10}$ Па,
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,22$,
- показник згасання $\varepsilon = 0,06$,
- питома щільність $\nu = 2,05 \cdot 10^4$ Н/м³,
- питома густина $\rho = 2050$ кг/м³,
- a, b – геометричні розміри плати ($a = 110$ мм, $b = 155$ мм),
- $\delta_{\text{ДП}}$ – товщина ДП ($\delta_{\text{ст}} = 1,5$ мм).

Маса друкованої плати (ДП):

$$m_{\text{ДП}} = ab\delta_{\text{ДП}}\rho \quad (4.10)$$

Таким чином,

$$m_{\text{ДП}} = 110 \text{ мм} \cdot 155 \text{ мм} \cdot 1,5 \text{ мм} \cdot 2050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \approx 50 \text{ г}$$

Тепер необхідно знайти масу всіх елементів, які використовуються в схемі.

Маси елементів зведено до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Маса елементів

Компонент		Кількість	Маса, г	Загальна маса, г
Резистори	R-0805	15	0,04	0,6
	R-0402	4	0,01	0,04
Конденсатори	C-0402	16	0,01	0,16
	C-0603	3	0,028	0,084
	Electrolytic capacitors	3	0,3	0,9
Кварцевий резонатор		1	0,0723	0,072

Продовження таблиці 4.3

DF-плеєр		1	4,46	4,46
Мікросхеми	ATMEGA328	1	2,2	2,2
	MC34063	1	0,000012	0,000012
	LM1117T	1	6	6
	MAX7219CWG	2	0,73	1,46
	ESP8266	1	17	17
	DS3231	1	2,1	2,1
Датчик температури		1	3	3
Семисигментні індикатори	CA56-12SRWA	1	8,5	8,5
	SA56-11SRWA	12	2,04	24,48
	BA56-12EWA	1	8,64	8,64
Діоди	1N4007FL	4	0,02	0,08
	WP7113ID	1	0,3	0,3
Плавкий запобіжник		1	7,15	7,15
Котушка індуктивності		1	3,636	3,636
Батарейка		1	0,447	0,447
Кнопки		3	0,2	0,6
Роз'єми	691382030005	1	3,22	3,22
	1017503	2	4,52	9,04
	1-2834016-4 TE	4	2,18	8,72
Сума		112,889		

Визначаємо коефіцієнт мас K_M , що визначає співвідношення маси ЕРЕ до маси плати за формулою (4.11):

$$K_M = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_{\text{ЕРЕ}}}{m_{\text{ДП}}}}} \quad (4.11)$$

Таким чином,

$$K_M = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{112,889 \text{ Г}}{50 \text{ Г}}}} \approx 0,554037$$

Визначимо коефіцієнт α :

$$\alpha = \pi^2 \left| 1 + \frac{a^2}{b^2} \right| = \pi^2 \left(1 + \frac{110^2 \text{ мм}^2}{155^2 \text{ мм}^2} \right) \approx 14,84$$

Визначимо циліндричну жорсткість за формулою (4.12):

$$D = \frac{E \cdot \delta^3}{12(1 - \mu^2)} \quad (4.12)$$

Таким чином,

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \text{ Па} \cdot 15^3 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3}{12(1 - 0,22^2)} \approx 8,925 \text{ Нм}$$

Визначимо частоту власних коливань друкованої плати, закріпленої в 4-х точках за формулою (4.13):

$$f_c = \frac{K_M \cdot \alpha}{2\pi a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{v \cdot \delta}} \quad (4.13)$$

де

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Таким чином,

$$f_c = \frac{0,554037 \cdot 14,84}{2\pi \cdot 0,11^2 \text{ м}^2} \cdot \sqrt{\frac{8,925 \text{ Нм} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{2,05 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \cdot 15 \cdot 10^{-4} \text{ м}}} \approx 182 \text{ Гц}$$

Визначимо амплітуду вібрації на частоті власних коливань:

$$A = \frac{0,25n}{f_c^2},$$

де n – коефіцієнт перевантажень; при $n = 2$ отримаємо:

$$A = \frac{0.25 \cdot 2 \text{ м/с}^2}{(182 \text{ Гц})^2} \approx 0,0000275 \text{ мм}$$

Визначимо коефіцієнт динамічності:

$$K_d(f) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 \varepsilon^2}},$$

де f – частота вібрації ($f = 5 \dots 300 \text{ Гц}$).

Отже, при $f = 5 \text{ Гц}$

$$K_d(f) = K_d(5) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{5 \text{ Гц}}{182 \text{ Гц}}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{5 \text{ Гц}}{182 \text{ Гц}}\right)^2 0,06^2}} \approx 1,001$$

при $f = 105 \text{ Гц}$

$$K_d(f) = K_d(105) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{105 \text{ Гц}}{182 \text{ Гц}}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{105 \text{ Гц}}{182 \text{ Гц}}\right)^2 0,06^2}} \approx 1,497$$

при $f = f_c = 300 \text{ Гц}$

$$K_d(f) = K_d(300) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{300 \text{ Гц}}{182 \text{ Гц}}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{300 \text{ Гц}}{182 \text{ Гц}}\right)^2 0,06^2}} \approx 0,581$$

Порахуємо динамічний прогин:

$$W_d(f, n) = K_d(f) \cdot A_d(n) \quad (4.14)$$

Тож, при $f = 5 \text{ Гц}$

$$W_d(f, n) = 1,001 \cdot 0,0000275 \text{ мм} \approx 0,00002752 \text{ мм}$$

при $f = 105 \text{ Гц}$

$$W_d(f, n) = 1,497 \cdot 0,0000275 \text{ мм} \approx 0,00004117 \text{ мм}$$

при $f = 300 \text{ Гц}$

$$W_d(f, n) = 0,581 \cdot 0,0000275 \text{ мм} \approx 0,000001598 \text{ мм}$$

Визначимо еквівалентне рівномірне розподілене динамічне навантаження:

$$P_d = \frac{W_d \cdot D}{c_1 \cdot b^4},$$

де

$$c_1 = 0.00406 + 0.018 \cdot \lg\left(\frac{a}{b}\right) = 0.00406 + 0.018 \cdot \lg\left(\frac{0.110 \text{ м}}{0.155 \text{ м}}\right) \approx 0.0014$$

Тож, на частоті $f = 300$ Гц

$$P_d = \frac{0,001598 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot 8,925 \text{ Нм}}{0.0014 \cdot 0,155^4 \text{ м}^4} \approx 0.00179 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

Визначимо максимальний розподілений згинальний момент:

$$M_{max} = c_2 \cdot P_d \cdot b^2,$$

де

$$c_2 = 0.0479 + 0.18 \cdot \lg\left(\frac{a}{b}\right) = 0.0479 + 0.18 \cdot \lg\left(\frac{0.110 \text{ м}}{0.155 \text{ м}}\right) \approx 0,0211$$

Таким чином, на частоті $f = 300$ Гц отримаємо:

$$M_{max} = c_2 \cdot P_d \cdot b^2 = 0,0211 \cdot 0.00179 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 0,155^2 \text{ м}^2 \approx 0,9 \text{ Н}$$

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n_1} = \frac{105 \text{ МПа}}{2.5} = 42 \text{ МПа}$$

Перевіримо виконання умови віброміцності:

$$\sigma_{max} = \frac{6M_{max}}{10^6 \cdot \delta^2} \ll [\sigma]$$

Тобто:

$$\sigma_{max} = \frac{6 \cdot 0,9 \text{ Н}}{10^6 \cdot 0,0015^2 \text{ м}^2} \approx 2,42 \text{ МПа} \ll [\sigma] = 42 \text{ МПа}$$

Звідси видно, що умова віброміцності виконується:

$$\sigma_{max} \ll [\sigma].$$

Тобто, ДП не потребує додаткових елементів для зменшення перевантажень при вібраціях.

Висновок до розділу

У даному розділі проведено розрахунки, що підтверджують коректність обраних конструкторських рішень, пов'язаних із обраною елементною базою, типом та класом точності друкованої плати.

У результаті виконання електричного розрахунку визначено падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику, що становить близько 5% від напруги живлення, обчислено ємність ($C = 34,96$ пФ) та потужність втрат двосторонньої ДП ($P_{\text{пот}} = 10,98$ мкВт), підраховано ємність між двома сусідніми провідниками, розташованими на одній стороні друкованої плати, що мають однакову ширину ($C = 4,733$ пФ), а також визначено взаємну індуктивність двох паралельних провідників однакової довжини ($0,88$ нГн).

Розрахунок надійності показав, час безвідмовної роботи пристрою становить приблизно 5 років, що повністю задовольняє вимоги, викладені у ТЗ. З результатів розрахунку віброміцності можна зробити висновок, що ДП не потребує додаткових елементів для зменшення перевантажень при вібраціях

					ДК91.403234.001ПЗ	Лист
				13.06		
Змін.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		83

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Структура програми

Структуру програми наведено на рис.5.1.

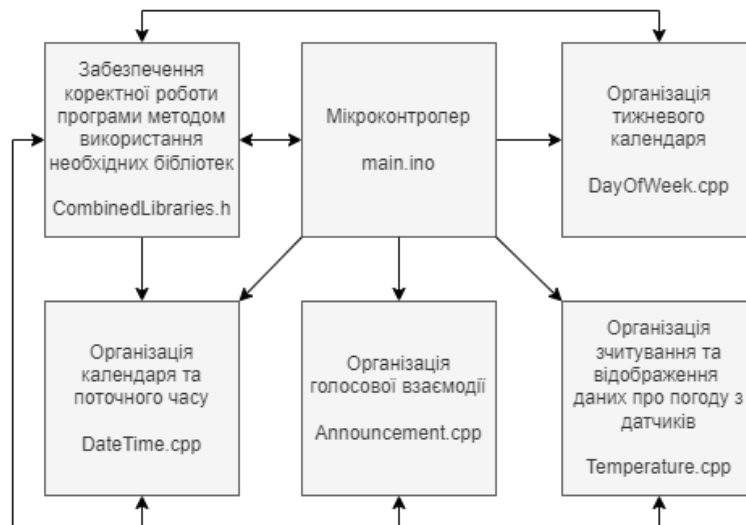


Рисунок 5.1 – Блок-схема програмного забезпечення

Файл `main.ino` є основним файлом скетчу Arduino, який містить функції `setup()` та `loop()`. Він включає необхідні бібліотеки та визначає підключення виводів для різних компонентів. Він також містить заголовки для інших файлів і викликає відповідні функції з цих файлів, коли це необхідно.

У файлі `DayOfWeek.cpp` реалізовано функцію `lightUpDayOfWeek()`, що визначає номери виводів для керування світлодіодами та вмикає/вимикає світлодіоди на основі введенного дня тижня.

Файл `Temperature.cpp` містить реалізацію функції `getOutdoorTemperature()` та `getIndoorTemperature()`. У даному файлі визначено номери виводів температурних датчиків і використано відповідні бібліотечні функції для зчитування значень температури.

У файлі `Announcement.cpp` реалізовано функції відтворення аудіоповідомлень для голосової взаємодії пристрою із кінцевим користувачем. У даному файлі містяться функції, що відповідають за керування аудіоплеєром та

доступу до SD-карти, а також використання наданих аудіофайлів для оголошення дати, часу та погоди.

Файл `DateTime.cpp` використовує функції бібліотеки RTC для зчитування поточного часу і дати з модуля годинника реального часу. Конкретні підключення та конфігурації виводів для модуля RTC вказані у головному файлі скетчу.

Заголовочний файл `CombinedLibraries.h` містить всі необхідні бібліотеки для ефективної взаємодії описаних файлів та функцій між собою.

5.2 Опис програми

5.2.1 Опис бібліотек

Необхідні бібліотеки для реалізації повної функціональності приладу:

`Wire.h`. Ця бібліотека забезпечує підтримку зв'язку I2C, який використовується для взаємодії з датчиками, дисплеями та іншими пристроями. Вона необхідна для зв'язку між мікроконтролерами та різними периферійними пристроями.

Бібліотеки `OneWire.h` та `DallasTemperature.h` використовуються для роботи з шиною Dallas Semiconductor 1-Wire та датчиками температури DS18B20. Вони необхідні для зчитування значень температури.

Бібліотека `RTCLib.h` забезпечує функціональність годинника реального часу. Вона використовується для роботи з годинником реального часу (RTC) і може надати пристрою можливість точно відстежувати час.

`MD_MAX72xx.h`. Ця бібліотека забезпечує підтримку світлодіодних матричних дисплеїв.

`SoftwareSerial.h` забезпечує програмну реалізацію послідовного зв'язку, дозволяючи пристрою спілкуватися з іншими пристроями за допомогою

додаткових програмно визначених послідовних портів.

Бібліотека DFPlayer_Mini_Mp3.h використовується для керування модулем DFPlayer Mini MP3, який забезпечує відтворення аудіо.

SD.h. Ця бібліотека забезпечує підтримку читання і запису даних на SD-карти.

Бібліотека VoiceRecognitionV3.h` використовується для реалізації функції розпізнавання голосу.

5.2.2 Опис функцій

Функція *updateTimeDisplay()*:

- оновлює відображення часу на основі поточного часу, отриманого від модуля RTC;
- перетворює значення годин та хвилин у формат відображення;
- відображає значення часу на дисплеї за допомогою функції *showNumberDecEx()*.

Функція *updateTemperatureDisplay()*:

- оновлює дисплей температури на основі поточної зовнішньої температури, отриманої від датчика DHT;
- перетворює значення температури у формат відображення;
- показує значення температури на дисплеї температури за допомогою функції *showNumberDecEx()*.

Функція *handleVoiceCommands()*:

- обробляє голосові команди для різних функцій;
- встановлює логічні змінні на основі розпізнаних голосових команд.

Функція *handleTemperatureDisplay()*:

- обробляє функціонал відображення температури;

- перемикається між відображенням внутрішньої та зовнішньої температури кожні 3 секунди;
- викликає різні функції для відображення температури та обробки звукових повідомлень на основі режиму відображення.

Функція *displayTime()*:

- відображає поточний час на відповідному часовому дисплеї;
- отримує значення години, хвилини та секунди з модуля RTC;
- викликає функцію *setSegments()* для встановлення окремих цифр на дисплеї.

Функція *displayDate()*:

- відображає поточну дату на відповідному дисплеї дати;
- витягує значення дня, місяця та року з модуля RTC;
- викликає функцію *writeDigitNum()* для встановлення окремих цифр на дисплеї дати.

Функції *announceTime()*, *announceDayOfWeek()*, *announceDate()*, *announceWeather()*:

- обробляють звукові повідомлення про час, день тижня, дату та інформацію про погоду;
- отримують відповідні значення з модуля RTC та інших датчиків;
- перетворюють значення в аудіофайли та відтворення.

Функція *announceMonth()*:

- відповідає за оголошення місяця через відтворення звуку;
- отримує на вхід ціле число *month*;
- використовує інструкцію *switch-case*, щоб зіставити значення *month* зі значенням *month* і відтворити відповідний аудіофайл для цього місяця;

- коли знайдено збіг, відтворюється відповідний аудіофайл для цього місяця за допомогою функції `playAudioFile()`.

Функція `lightUpDayOfWeek()` відповідає за ввімкнення відповідного світлодіода дня тижня на основі наданого параметра `'dayOfWeek'`. Вона вимикає всі світлодіоди, встановлюючи їхні виводи у стан LOW за допомогою циклу `'for'`. Після цього іде перевірка, чи `'dayOfWeek'` знаходиться в діапазоні від 1 до 7 (включно), і реалізується ввімкнення відповідного світлодіоду дня тижня (відповідний вивід встановлюється на стан HIGH).

Функція `getOutdoorTemperature()` відповідає за відображення температури з виносного датчика. Вона:

- отримує зовнішню температуру, зчитуючи значення температури з датчика DHT;
- повертає значення температури у градусах Цельсія;

Функція `getIndoorTemperature()`:

- отримує температуру в приміщенні, запитуючи температуру у датчика DS18B20 і зчитуючи з нього значення температури;
- повертає температуру в приміщенні у градусах Цельсія.

Функція `announceNumber()`:

- відповідає за оголошення числа через відтворення звуку;
- приймає на вхід ціле число `number`;
- перетворює число у рядок `numberString` за допомогою `String(number)`;
- перебирає кожну цифру в рядку `numberString`, використовуючи цикл `for`;
- відтворює відповідний аудіофайл для кожної цифри, викликаючи функцію `playAudioFile()`.

Функція *playAudioFile()*:

- відповідає за відтворення аудіофайлу за його *fileName*;
- якщо файл успішно відкрито, починає відтворення звуку;
- чекає у циклі, доки відтворення не завершиться;
- закриває аудіофайл.

Висновок до розділу

У даному розділі дипломного проєкту визначено структуру програми для пристрою, а також визначено основні функції та бібліотеки, необхідні для реалізації його повної функціональності. Архітектура програми базується на модульному дизайні, з окремими файлами для різних функціональних можливостей. Основні функції, визначені для пристрою, включають відображення поточного часу і дати, керування світлодіодами для позначення дня тижня, отримання показань вологості, тиску, зовнішньої і внутрішньої температури, оголошення чисел і місяців, а також відтворення аудіофайлів. Дотримуючись визначеної структури програмного забезпечення та використовуючи визначені функції та бібліотеки пристрій зможе повністю реалізувати свої функціональні можливості та забезпечити безперебійну роботу користувача.

					ДК91.403234.001ПЗ	Лист
				13.06		
Змі.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		90

ВИСНОВКИ

У ході виконання даного дипломного проєкту велася розробка інклюзивного електронного годинника для людей похилого віку із проблемами зору. Пристрій має розширену функціональність та побудований на основі мікроконтролера ATmega328P. Результатом розробки є друкований вузол, виконаний відповідно до технічного завдання. У якості простору для визначення та досягнення поставлених цілей на проєктування було обрано Altium Designer та AutoCAD. При розробці досліджуваного приладу створено технічне завдання на виріб, розроблено структурну та принципову схеми, проведено розрахунки для підтвердження коректності рішень, а також конструкторську документацію.

У першому розділі проведено аналіз ринку на наявні рішення, виділено основні переваги та недоліки подібних існуючих розробок. Проведено аналіз ТЗ. Виявлено проблематику та розглянуто способи її вирішення.

У другому розділі розроблено структурну схему приладу, що описує його принцип роботи та зв'язок окремих блоків між собою. На основі даного аналізу спроектовано схему електричну принципову та обрано елементну базу, що повністю відповідає поставленим вимогам для коректної роботи пристрою. Додатково проведено розрахунки електричної схеми, необхідні для підтвердження та підбору номінальних значень окремих блоків та елементів схеми.

У третьому розділі зроблено вибір ДП за усіма необхідними параметрами. Таким чином, прилад побудовано на сучасній елементній базі із використанням SMD- та DIP-компонентів. Для розробки обрано двосторонню друковану плату, виготовлену з FR4-2-35-1,5 комбінованим позитивним методом. Для конструювання обрано 4-й клас точності, який забезпечує достатню щільність трасування та монтажу з урахуванням необхідних вимог викладених у ТЗ. Також

				13.06	ДК91.403234.001ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		91

у даному розділі міститься конструкторсько-технологічний розрахунок елементів друкованого монтажу. Він дозволив з'ясувати ширину доріжок, діаметри отворів та контактних площадок, а також мінімальні відстані між компонентами. Розміщення КЕ на монтажному просторі виконано за допомогою зворотного методу.

У четвертому розділі містяться результати проведення електричного розрахунку, розрахунку віброміцності та надійності ДП. У процесі електричного розрахунку перевірено падіння напруги на найдовшому провіднику, потужність витрат та ємність між двома сусідніми провідниками, індуктивність двох паралельних провідників однакової довжини. З аналізу основних параметрів надійності можна зробити висновок, що вимоги по надійності виконуються у повному обсязі. Середній час напрацювання до першої відмови приладу становить 5 років, що цілком задовольняє вимоги ТЗ. ДП не потребує додаткових елементів для зменшення перевантажень при вібраціях. За потреби можна ще більше підвищити надійність шляхом використання замість дискретних конденсаторів і резисторів, інтегральних збірок (інтегральні збірки мають інтенсивність відмов на порядок нижче, аніж у дискретних компонентів), або ж шляхом мінімізації кількості перехідних отворів, але це значно ускладнить процес проєктування ДП, а також збільшить габаритні розміри, вартість та час на проєктування ДП.

П'ятий розділ містить результати розробки програмного забезпечення для даного пристрою мовою програмування C++. Описано структуру коду, призначення бібліотек, функцій та окремих блоків. Таким чином, впроваджено усю необхідну функціональність годинника.

Підсумовуючи усе вище сказане, можна стверджувати, що кінцева розробка повністю відповідає поставленим цілям та вимогам, викладеним у технічному завданні. Пристрій досить простий для повторювання, має відносно

невисоку собівартість та досить високу надійність. Усю необхідну конструкторську документацію, що містить результати конкретних рішень для реалізації приладу, наведено у комплекті разом із даною пояснювальною запискою.

У додатках наведено технічне завдання на проектування та відомості щодо публікації статті категорії «Б» у фаховому виданні Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського на основі напрацювань з дипломного проєкту.

					ДК91.403234.001ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		93

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Цифрові настільні годинники з голосовим управлінням. Інтернет-магазин «Росетт» : веб-сайт. URL: <https://roset.ua/prom.net/ua/p1096405937-tsifrovye-nastolnye-chasy.html>
2. Apple previews innovative accessibility features combining the power of hardware, software, and machine learning. apple.com : веб-сайт. URL: <https://www.apple.com/newsroom/2022/05/apple-previews-innovative-accessibility-features/>
3. Accessibility features on your Samsung smart watch. samsung.com : веб-сайт. URL: <https://www.samsung.com/us/support/answer/ANS00080311/>
4. Fitbit Versa Specifications. Mobile Mob : веб-сайт. URL: <https://mobilemob.com.au/blogs/news/fitbit-versa-specifications>
5. Casio Pro Trek. Time Unique : електронний портал. URL: <https://timeunique.com/en/casio-pro-trek/>
6. Reizen Talking Atomic Alarm Clock. MaxiAIDS.com : веб-сайт. URL: <https://www.maxiaids.com/reizen-talking-atomic-alarm-clock>
7. Serene Innovations CA-360 Central Alert System - ONLY RECEIVER. diatec : веб-сайт. URL: <https://diatec-diagnostics.ca/en/serene-innovations-ca-360r-central-alert-system>
8. Електронний годинник із звуковою сигналізацією: пат. 3644 Україна: 66227/SU; заявл. 22.08.1973; опубл. 27.12.1994, бюл. № 6-ІІ/1994
9. DayClox Original Memory Loss Digital Calendar Day Clock - "FREE SHIPPING". Senior Care Shop.com : веб-сайт. URL: <https://seniorcareshop.com/products/dayclox-dementia-day-clock>
10. Індикатор 17.5 см. MICROтехнік : веб-сайт. URL: <https://m-teh.com.ua/indikator-1-rozryad-7chervoniy-anod-chorniy-fon-kl-70011->

[bsr/?gclid=Cj0KCQjwmtGjBhDhARIsAEqfDEenmamVIZ349C26CMNgtrcg9IZmQ1LHKEDu8T8gM9orBZBbWouZQQaAhaYEALw_wcB](https://www.youtube.com/watch?v=W5WD7k3HUHY&ab_channel=circuiteffectsproject)

- 11.circuiteffects project. part-1 how to make digital clock using arduino with pixel led strip || arduino digital clock. YouTube : video-hosting. URL: https://www.youtube.com/watch?v=W5WD7k3HUHY&ab_channel=circuiteffectsproject
- 12.Сервер точного часу. time.in.ua : веб-ресурс. URL: <http://time.in.ua/ua/>
- 13.UART Communication Protocol and How It Works. seeedstudio.com : веб-ресурс. URL: <https://www.seeedstudio.com/blog/2022/09/08/uart-communication-protocol-and-how-it-works/>
- 14.I2C. Вікіпедія : веб-ресурс. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- 15.Serial Peripheral Interface. Вікіпедія : веб-ресурс. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- 16.Годинники електронні CX 4622 LED number clock. uAMEGA-X-SHOP : веб-сайт. URL: <https://x-shop.in.ua/ua/p1481763150-elektronnye-chasy-4622.html>
- 17.RC-генератор. um.co.ua : веб-сайт. URL: <http://um.co.ua/4/4-16/4-168672.html>
- 18.Саморобні електронні годинники, елементна база. koshachek.com : веб-сайт. URL: <https://jak.koshachek.com/articles/samorobni-elektronni-godinniki-elementna-baza.html>
- 19.Real Time Clock Модуль (DS1307). arduino.ua : веб-сайт. URL: <https://electronica.in.ua/ua/p1530391929-modul-chasov-realnogo.html>
- 20.DS3231 vs DS1307. arduinogetstarted.com : веб-сайт. URL: <https://arduinogetstarted.com/faq/ds3231-vs-ds1307>
- 21.Secure Digital. Вікіпедія : веб-ресурс. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital

- 22.Модуль SD-card для Arduino (SPI). arduino.ua : веб-сайт. URL:
<https://arduino.ua/prod589-modyl-sd-card-dlya-arduino-spi>
- 23.Модуль SD карти і Arduino. Arduino-DIY.com : веб-сайт. URL:
<https://arduino-diy.com/arduino-SD-karta>
- 24.Підключаємо SD карту пам'яті до Arduino. radiolis : веб-сайт. URL:
<https://radiolis.pp.ua/arduino/47-sd-card-arduino>
- 25.Звуковий модуль WTV020-SD-16P Arduino. Arduino.ua : веб-сайт. URL:
<https://arduino.ua/prod902-zvykovo-modul-arduino-module-mp3-sound-module-wtv020-sd-16p-arduino>
- 26.EasyVR 3 Plus Manual. RoboTechsrl. URL:
<https://fortebit.tech/docs/manuals/easyvr-3/>
- 27.Знайомимось з модулем ESP8266. HobbyTech : веб-портал. URL:
<https://hobbytech-com-ua>
- 28.63121 (Сенсорний вимикач з пультом дистанційного керування).
studizba.com : веб-сайт. URL: <https://studizba.com/files/show/doc/37635-1-63121.html>
- 29.Елементи електронних систем. dstu.dp.ua : веб-сайт. URL:
<https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/3/22/3-22-b3/part1/part1.html>
- 30.Стабілізатор струму світлодіодів на мікросхемі MC34063. OpenVoron :
URL: <http://open.e-voron.dp.ua/stabilizator-toka-svetodiiodov-na-mikrosheme-ms34063/>
- 31.Універсальний пристрій для побудови підвищувальних і знижувальних DC
- DC перетворювачів MC34063. sxem.org : веб-сайт. URL:
<https://sxem.org/mc34063>
- 32.Розрахунок однофазного мостового випрямляча з ємнісним фільтром.
Studwood : веб-сайт. URL:

https://studwood.net/rozrahunok_odnofaznogo_mostovogo_vipryamlyacha_ymnisnim_filtrom

33. Автоматизація вирішення задач конструювання друкованих вузлів.
[Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172
«Телекомунікації та радіотехніка» В.Г.Губар, І. О. Адаменко; КПІ ім.
Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,5 Мбайт). – Київ
: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. –112с.
34. Фізико-теоретичні основи проектування радіоелектронної апаратури.
[Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172
«Телекомунікації та радіотехніка» В.Г.Губар, І. О. Адаменко; КПІ ім.
Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,2 Мбайт). – Київ
: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. –221с.
35. Altium Designer Documentation. AutoRoute. Altium. веб-сайт : URL:
<https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/pcb-cmd-autorouteautoroute-ad?version=18.1>
36. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств : учеб.-метод.
пособие / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян ; под ред. С. М.
Боровикова. -Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.
37. Савельев Л. Я-. Овчинников В. Л. Конструирование ЭВМ и систем:
Учебник длитехн.вузов по спец. «Электрон. выч. маш.» —М.: Высш.
шк., 1984. –248 с.
- ГОСТ 15150-69
- ГОСТ 12.2.007-75
- ДСТУ 3008-2015

ДОДАТОК А

Технічне завдання на проєктування

1. Найменування та область використання

Функціональний електронний годинник для людей похилого віку із вадами зору. Може використовуватись в лабораторних та домашніх умовах.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки описаного пристрою є завдання на дипломний проєкт згідно наказу по НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» №1316-с від 24.05.2023.

3. Мета і призначення розробки

Метою даної роботи є розробка інклюзивного електронного годинника, що дозволить людям, які мають труднощі із зором та використанням традиційних годинників, легко і самостійно зчитувати час і мати доступ до додаткових функцій.

4. Основні етапи розробки

Розробка конструкції складається з наступних етапів:

- 4.1. розробка технічного завдання;
- 4.2. вибір та обґрунтування типу друкованої плати;
- 4.3. вибір та обґрунтування елементної бази;
- 4.4. розміщення конструктивних елементів на друкованій платі;
- 4.5. розробка конструкторської документації.

5. Склад виробу та вимоги до пристрою, що розробляється

Пристрій призначений для людей похилого віку з поганим зором, виконаний в моноблочному виконанні, на лицьовій панелі з семисегментного світлодіодного дисплея повинно виводитися відображення часу, дати та температури навколишнього середовища та температура приміщення.

Пристрій має бути зручним і простим в експлуатації, з контрастним дисплеєм, з висотою цифр 100мм, щоб покращити видимість для людей з поганим зором. Яскравість дисплею має бути змінна від освітлення. Годинник також має бути простим у налаштуванні та мати інтуїтивно зрозумілі елементи керування для налаштування часу та дати, встановлення будильника та перемикання режимів відображення.

6. Технічні вимоги

6.1. Функціональні можливості пристрою

Пристрій, що розробляється, повинен забезпечувати цифрову індикацію в форматі години, хвилини, день тижню, число, місяць, рік, температури навколишнього середовища та приміщення. Пристрій повинен мати голосові нагадування, записані заздалегідь, на кожен день о 9 годині ранку про свята, дні народження та іншу потрібну інформацію на поточний день. Годинник повинен активізувати звукові відповіді на голосові запити про час, температури, або календарний день. Пристрій має мати можливість використання кнопок для встановлення часу, програмування голосових повідомлень. Дублювання управління та передача відомостей про час та температуру передавати по каналу WiFi/Bluetooth.

6.2. Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову повинен бути на менше 30000 год, враховуючи вартість і складність виготовлення даного пристрою.

6.3. Технічні характеристики

З точки зору технічних вимог, годинник повинен мати синхронізацію зі світовим часом за допомогою GSM каналу, або WiFi, яка може бути синхронізована із зовнішнім джерелом часу, наприклад, інтернет-сервером NTP. Пристрій також повинен відображати час у 12-годинному та 24-годинному форматах.

Пристрій повинен мати живлення від електричною мережі, та підтримку

безперебійного живлення для збереження відліку часу та програми голосових сповіщень.

Вид дисплею	світлодіодний семисегментний з висотою цифр 100 мм
Індикація стану	світлова та звукова
Напруга живлення, В	побутова мережа
Споживаний струм, мА	не більше 500
Кількість датчиків температури	2 (вулиця і будинок)
Вимірюваний температурний діапазон, точність	Від -55 до 125 ⁰ С, не гірше +- 1 ⁰ С
Габаритні розміри, мм	не більше 160x120x75
Вага	Не більше 0,5 кг

6.4. Вимоги до технологічності.

Орієнтовані на передові прийоми виготовлення деталей і складання.

6.5. Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації.

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

6.6. Вимоги безпеки експлуатації та обслуговування.

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

6.7. Вимоги до складових частин пристрою, сировини, вихідних і експлуатаційних матеріалів.

Для виробництва пристрою використовують компоненти імпортного виробництва широкого використання. Корпус пристрою виконати з

нешкідливого пластику, в настінному виконанні.

6.8. Вимоги до умов експлуатації.

Кліматичне виконання УХЛ.3 по ГОСТ 15150-69.

6.9. Вимоги до транспортування та зберігання.

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

Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі. Умови транспортування середні (С) по ГОСТ 23216-78.

7. Економічні показники

Економічні показники в умовах даного проекту не розглядаються.

8. Етапи розробки

№ п/п	Найменування етапу розробки курсового проекту	Строки виконання
1	Аналіз технічного завдання	24.03-04.04.2023
2	Розробка схеми електричної принципової	04.04-26.04.2023
3	Вибір та обґрунтування використання елементної бази	26.04-02.05.2023
4	Проектування схеми в Altium Designer	02.05-07.05.2023
5	Розміщення конструктивних елементів на друкованій платі	07.05-16.05.2023
6	Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати	16.05-18.05.2023
7	Проектування плати в Altium Designer	18.05-24.05.2023
8	Електричний розрахунок друкованої плати	24.05-26.05.2023

9	Розрахунок надійності	26.05-30.05.2023
10	Виконання креслення ЕЗ	30.05-01.06.2022
11	Виконання креслення друкованої плати	01.06-03.06.2023
12	Виконання складального креслення друкованого вузла	03.06-05.06.2023
13	Оформлення пояснювальної записки	05.06-09.06.2023

9. Документація

Проект повинен містити наступну документацію:

9.1. пояснювальну записку (формату А4);

9.2. схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А4 відповідно);

9.3. складальне креслення та специфікацію (формату А2, А4 відповідно);

9.4. креслення друкованої плати (формату А1);

9.5. додатки (формату А1-А4).

10. Порядок розгляду й прийняття роботи

Порядок розгляду й прийняття роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах.

У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 разу на тиждень на загальних умовах.

11. Результати роботи

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

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

ДОДАТОК Б

Публікація у фаховому виданні Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Стаття була розглянута рецензентом та прийнята до публікації.

Стаття буде опублікована у Томі 34 (73) № 3, 2023. Електронна версія журналу буде розміщена на сайті в архіві номерів за посиланням <http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/archive> до 30 липня 2023 р.