


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

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

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

“ 16 ” 06 2020р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра


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

на тему Блок керування інкубатором


Виконав: студент IV курсу, групи ДК-61
Якименко Олег Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)


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


(підпис)

Рецензент Провідний інженер ТОВ "Радіонікс" І.О. Адаменко
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

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

Студент 
(підпис)

Київ - 2020 року

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

Факультет електроніки

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

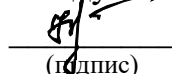
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр телекомунікацій та радіотехніки

Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



(підпис)

Лисенко О.М.

(прізвище ініціали)

« 20 » _____ 03 _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Якименка Олега Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Блок керування інкубатором

керівник проекту Губар Вячеслав Григорович, старший викладач

затверджені наказом по університету від 25.05.2020 року №1196-с
2. Термін подання студентом проекту 10 червня 2020 року
3. Вихідні дані до проекту. Пристрій сільськогосподарського призначення. Використовується в інкубаторах для інкубації яєць. Являє собою плату з роз'ємами для зовнішніх елементів, які впливають на мікроклімат в інкубаційній камері.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:
 - огляд існуючих моделей блоків керування інкубатором , патентний пошук;
 - аналіз технічного завдання;

- розробка структурної схеми;
- розробка принципової схеми;
- вибір і обґрунтування елементної бази;
- розрахунки принципової схеми;
- симуляція блоку резервного живлення;
- проектування друкованого вузла;
- конструкторсько-технологічні розрахунки друкованої плати;
- електричний розрахунок друкованої плати;
- розрахунок надійності друкованої плати;
- розрахунок віброміцності друкованої плати;
- розрахунок теплового режиму;
- проектування програмного забезпечення;
- висновки.

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

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

6. Дата видачі завдання 17.02.20

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання та патентний пошук	17.02.20-26.03.20	виконано
2	Схемотехнічне проектування та вибір елементної бази	26.03.20-02.04.20	виконано
3	Виконання креслень схеми електричної принципової	02.04.20-09.04.20	виконано
4	Конструкторсько-технологічні Розрахунки	09.04.20-23.04.20	виконано
5	Проектування друкованого вузла та трасування у Altium Designer	23.04.20-30.04.20	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.20-03.05.20	виконано
7	Розрахування надійності друкованого вузла	03.05.20-07.05.20	виконано
8	Розрахунок віброміцності друкованої плати	07.05.20-14.05.20	виконано
9	Розрахунок теплового режиму	14.05.20-21.05.20	Виконано
10	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.20-28.05.20	виконано
11	Оформлення пояснювальної записки	28.05.20-8.06.2020	виконано

Студент Ю.О.
(підпис)

Керівник проекту [підпис]
(підпис)

О.О. Якименко
(прізвище та ініціали)

В.Г. Губар
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 101 сторінках, вона містить 5 розділів та 56 джерел в переліку посилань.

Метою даної роботи є розробка блоку управління інкубатором з виходом в інтернет та з можливістю створювати програму інкубації.

У дипломному проекті виконано патентний пошук та аналіз наявних моделей блоків керування. З урахуванням аналізу було розроблено принципову схему, обрано елементну базу та виконано необхідні розрахунки. Для принциповій схеми було розроблено друкований вузол та проведено необхідні розрахунки, що підтверджують правильність розробки.

Також було виконано розробку комплекту конструкторської документації, необхідну для виготовлення пристрою.

По темі дипломного проекту було опубліковано статтю в міжнародній науковій конференції “НАУКОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОГРЕСУ ХХІ СТОРІЧЧЯ” та було взято участь у XIV Міжнародній науково-технічній конференції "Перспективи телекомунікацій 2020".

Ключові слова: блок керування інкубатором, інкубація яєць, віддалене керування інкубатором.

ABSTRACT

The work is presented on 101 pages, it contains 5 sections and 56 sources in the list of links.

The purpose of this work is to develop control block for incubator with internet connection and possibility to create incubation programs for incubator.

The diploma project performed a patent search and analysis of existing models of control units. Considering the analysis, the schematic diagram was developed, the element base was selected and the necessary schematic simulations were executed. A printed assembly was developed for the schematic diagram and the necessary calculations were performed to confirm the correctness of the design.

Also developed a set of design documentation required for the device manufacture.

An article based on diploma project was published in the international scientific conference "SCIENTIFIC SUPPORT OF TECHNOLOGICAL PROGRESS OF THE XXI CENTURY" and took part in the XIV International scientific and technical conference "Perspectives of Telecommunications 2020".

Keywords: incubator control unit; incubation of eggs; remote control of the incubator.






**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Блок керування інкубатором

Київ – 2020 року

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПАТЕНТНИЙ ПОШУК.....	6
1.1 Умови інкубації.....	6
1.2 Аналіз існуючих моделей та патентний пошук.....	7
1.3 Аналіз технічного завдання.....	9
Висновок до розділу.....	13
РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ.....	14
2.1 Розробка структурної схеми блоку керування.....	14
2.2 Розробка принципової схеми та вибір компонентної бази.....	16
2.3 Необхідні розрахунки принципової схеми.....	34
2.4 Симуляція схеми резервного живлення в LTSpice.....	38
Висновок до розділу.....	39
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА.....	41
3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати.....	41
3.2 Вибір класу точності друкованої плати.....	43
3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати.....	45
3.4 Розміщення компонентів.....	45
3.5 Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ.....	50
3.6 Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer.....	60
Висновок до розділу.....	62
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ.....	65
4.1 Електричний розрахунок друкованої плати.....	65
4.2 Розрахунок надійності друкованого вузла.....	70

<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Блок керування інкубатором Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		О.О.Якименко						
Перевірив		М.В. Швайк					1	103
Реценз.		І.О.Адаменко				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕЛ, гр. ДК-61		
Н. Контр.		В. Г. Губар						
Затвердив		В.Г. Губар						

4.3 Розрахунок віброміцності друкованого вузла	78
4.4 Розрахунок теплового режиму	80
Висновки до розділу	84
РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	86
5.1 Процес користування блоком керування інкубатором	86
5.2 Структура файлу програми інкубації та логіка роботи	89
5.3 Вибір способу роботи з мікроконтролером STM32F407VG	92
5.4 Розгортання операційної системи на мікроконтролері	92
Висновки до розділу	94
ВИСНОВКИ	95
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	98

Додаток А Технічне завдання

Додаток Б Публікація у міжнародній науковій конференції “НАУКОВЕ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОГРЕСУ ХХІ СТОРІЧЧЯ”

Додаток В Участь у конференції XIV Міжнародна науково-технічна конференція
"Перспективи телекомунікацій 2020"

Додаток Г Блок керування інкубатором. Перелік елементів

Додаток Д Плата. Специфікація

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		2

Скорочення та умовні позначки

КП	контактна площадка
ДП	друкована плата
КС	крок сітки
ПІД	пропорціонально-інтегрально-диференціально
САПР	система автоматизованого проектування
УГП	умовне графічне позначення
UART	universal asynchronous receiver/transmitter
USB	Universal Serial Bus
OLED	organic light-emitting diode
FPU	floating point unit
GPIO	general purpose input out
RTC	real time clock

					ДК61.272115.001 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Інкубатор для яєць – це пристрій для імітації мікрокліматичних умов інкубації з ціллю штучного отримання молодняка птахів або рептилій.

Найчастіше інкубатори використовують на птахофабриках в промислових масштабах для забезпечення населення курятиною.

Для збільшення прибутків птахофабрики можуть використовувати гормони росту та інші синтетичні препарати. Як наслідок, якість отриманого м'яса погіршується. Тому на ринку почали з'являтися невеликі ферми, які гарантують, що при вирощуванні поголів'я буде використовуватися кормова база виключно природного походження. Також існує частка людей, які створюють власні приватні фермерські господарства, де розводять птицю. Кожному такому господарству потрібні інкубатори. Але не кожен фермер може собі дозволити особисто, щонайменше, двічі на день контролювати хід інкубації. Тому виникає необхідність в автоматичному інкубаторі, який здатний самостійно провести весь процес інкубації. Такі інкубаційні системи вже існують для птахофабрик промислового масштабу. Існуючі інкубатори та контролери інкубаторів ємністю до 100 курячих яєць значно відстають по рівню автономності від своїх промислових аналогів. Зазвичай користувачу потрібно час від часу робити провітрювання [1], доливати воду в резервуари для підтримки потрібної вологості та вручну робити перевертання яєць. Це в свою чергу забирає час у фермерів. Також існує ймовірність недотримання норм інкубації через людський фактор, що призведе до економічних втрат.

Інша проблема - це універсалізація. В невеликих господарствах зазвичай практикується одночасне вирощування, курей, качок, індиків або перепілок. Для кожного виду птиці потрібні різні умови інкубації [2], більш того, навіть в межах одного виду в залежності від особливостей породи, можливі зміни в інкубаційних умовах [3]. Можливість встановлювати ці умови є критично важливою функцією для інкубатору. Це дуже сильно впливає на відсоток успішної інкубації.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		4

Після вивчення ринку та перегляду існуючих патентів було виявлено, що основні зусилля наукового потенціалу було спрямовано на покращення конструктивних особливостей інкубатору. Наприклад, для збільшення енергозбереження або покращення системи повороту. В той час як розвиток блоків керування зупинився на встановленні простого термостату та використання аналогових схем без спроби реалізувати більш розумніші рішення за допомогою мікроконтролеру та зробити процес інкубації більш автоматичним. Саме тому в даному дипломному проекті буде вирішуватись задача створення блоку керування інкубатора з використанням сучасних можливостей та технологій.

В ході дипломного проекту планується виконати пошук оптимальних вже реалізованих моделей інкубаторів. На основі проведеного пошуку створити власну модель інкубатора з оптимальніших складових кожної моделі інкубаторів. Особливу увагу при пошуку моделі буде звернено на рівень автоматизації системи. Головна ціль проектування це зробити якомога автономніший та універсальний блок керування для інкубатора. Також крім фундаментального покращення архітектури інкубаційної системи буде звернено увагу на базові речі, які вже реалізовано у більшості інкубаторів - це способи повороту яєць, способи точного контролю температури, вологості та реалізація провітрювання інкубатора.

Після створення нової моделі блоку керування буде відбуватися проектування принципової схеми та вибір компонентної бази. Оскільки цей пристрій відноситься до побутової електроніки, тому ціна для нього є дуже важливо, тому основним критерієм після мінімальних параметрів для вибору буде саме ціна. Крім того буде виконуватись проектування друкованого вузлу, конструкторські та електричні розрахунки для підтвердження правильності трасування друкованого вузлу.

Розробка в першу чергу націлена на компанії, які планують виробляти інкубатори нового покоління та для людей, які вирішили власноруч створити свій інкубатор.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

Блок керування для інкубатора – це пристрій, який керує всіма процесами в інкубаторі. Він являє собою моноблочну конструкцію. Контролер створюється на основі мікроконтролеру, Певна кількість спеціальних роз'ємів служить для під'єднання датчиків та елементів управління мікроклімату в інкубаторі. Головна функція блоку керування - це підтримка та регулювання потрібного мікроклімату в інкубаційній камері та поворот яєць. Правильне встановлення мікрокліматичних умов дасть змогу інкубувати багато різних видів тварин: від сільськогосподарської птиці до рептилій.

1.1 Умови інкубації

Стандартними умовами інкубації курячих яєць є температура 37,7 °С, вологість близько 60 %. Крім цього потрібно робити поворот яєць. Відсутність повороту може призвести до того, що жовток під дією гравітації прилипне до стінок шкарлупи. Це призведе до безповоротних патологій та смерті зародка. Але інкубатори з цими базовими характеристиками мали великий відсоток невиведених яєць. Все через те, що впродовж формування курчат умови інкубації мають змінюватись. Згідно з [1] для яєць всіх сільськогосподарських порід птиці умови інкубації потрібно змінювати щотижня. Причому у кожного виду повинен бути свій індивідуальний режим.

Також важливу роль в процесі інкубації відіграє стан повітря. Яйце – це живий організм, який теж дихає. Згідно з [3] яйце індика за час інкубації поглинає 9 л кисню та виділяє 6,6 л вуглекислого газу. У випадку, якщо в інкубаторі відсутнє або недостатнє провітрювання, то зародок задихнеться. Тому для нормальної інкубації вміст кисню в повітрі має становити 21 %, а рівень CO₂ не має перевищувати 1 % і знижуватися більш як на 0,3 %. Це досягається за рахунок регулярної вентиляції інкубатору.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		6

Але єдиної істинної моделі інкубації ще немає, бо навіть дотримуючись всіх вищеназваних норм не досягається стовідсоткова виводимість молодняку. Через це люди продовжують займатись дослідженням оптимальної формули. Наприклад в [3] розповідається, що для досягнення однорідності температури яєць, перед інкубацією слід прогріти всі яйця при температурі 22 °С і вже потім підняти температуру до 37,5 °С.

В патенті US 20170020114 Method and device suitable for incubating avian eggs David Vishnia опублікованого 2017 року [4] розповідається спосіб інкубації, який передбачає постійне збільшення та зменшення температури на 1 °С. За день має відбутись така зміни тричі. Тож можна побачити, що у деяких дослідників своє бачення на процес інкубації. Крім того, для кожного виду птиці необхідні свої індивідуальні умови інкубації.

Для того, щоб задовольнити потреби фермерів та дослідників, потрібен блок керування, який може бути запрограмований самим користувачем. Таким чином кожен зможе налаштувати свою програму інкубації для своєї птиці. Також спеціалісти зможуть створювати свої програми інкубації та ділитися ними з фермерами. Таким чином користувач буде сам обирати, яка програма краще йому підходить.

1.2 Аналіз існуючих моделей та патентний пошук

Патентний пошук

Патентний пошук проводився серед українських патентів та патентів США.

Розробники інкубаторних систем патентували в основному конструктивні особливості інкубаторів. Наприклад патент US 20030101471 Method for producing transgenic birds and fish [5] передбачає контроль температуру в інкубаторі на основі виділення яйцями CO₂, такий метод є дуже дорогим, адже якісні датчики CO₂ коштують від 40 доларів США. А в патенті Incubator suitable for use in hatching eggs [6] пропонують обігрівати інкубатор теплою водою, яка надходить по провідникам, які кладуться на яйця. Таким чином досягається більш точніша

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		7

імітація квочки. Але такий процес є не ефективний через втрати енергії на нагрівання води та важко контрольований через інертність самої води. Крім цього в даному патенті вказуються прямі вимоги до блоку керування: контроль температури, вологості, повороту яєць та вентиляції, що є базовими потребами для будь-якого інкубатору.

Тенденції на українському ринку схожі на американські – патентуються конструктивні особливості, а до блоку керування виносять тільки бажані вимоги. Наприклад в патенті UA117927 Малогабаритний інкубатор [7] патентується інкубатор каркасної основи на який одягається теплоізоляційний матеріал. Щодо блоку керування, то автор надає стандартні рекомендації які писались мною вище, а також згадує, що до блоку керування можна додати модуль WI-FI для віддаленого моніторингу за станом речей в інкубаторі.

Аналіз існуючих моделей

На ринку представлено безліч різних моделей блоків керування для інкубаторів. Поділимо їх умовно на цінові категорії.

Найдешевші контролери, які претендують для використання в автоматичному інкубаторі це контролери типу "Теплуша Люкс 72 ІБ" [8]. Даний контролер виконаний з найдешевших компонентів. Має один семисегментний дисплей, які по чергово показує вологість, температуру та скільки часу лишилось до наступного повороту яєць. По суті цей пристрій це термостат, який має таймер для повороту та може показувати вологість. Датчики температури та вологості мають бути резистивного типу причому точність таких датчиків не зазначається. В даному контролері контроль вологості ручний. У випадку надзвичайних ситуацій сигналізація відсутня, тому фермеру потрібно весь час спостерігати за інкубатором, також потрібно вручну регулювати температурою в залежності від тижня інкубації. Такий контролер підходить для інкубації, але має надзвичайно низький рівень автоматизації.

Наступний за класом блоки керування це подібні до ZL-7918A [9]. Цей блок керування вже має повну автоматизацію всіх процесів: контроль вологості,

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

температури, вентиляція, поворот яєць та освітленість. Має звукову сигналізацію у випадку надзвичайних ситуацій. Але в даному інкубаторі неможливо скласти програму інкубації, дивитися за станом мікроклімату через веб-застосунок. Також фермер має бути весь час бути присутнім неподалік від інкубатору, щоб почути звуковий сигнал тривоги. Такий контролер вже значно вищий за класом ніж попередній, але все ще не має повної автоматизації процесу та не має якісних сповіщень про надзвичайні ситуації.

Вища категорія контролерів для інкубатора це типу ZL-7901A [10]. Такі контролери є найоптимальнішими серед розглянутих, мають всі функції, як контролери попереднього класу тільки ще мають вже якісний дисплей та розумний ПІД [11] алгоритм контролю температури, що значно підвищує точність встановлення температури та зменшує температурні коливання в інкубаторі. Але такі контролери все ще мають всі недоліки що й інкубатори попереднього класу.

Таким чином на ринку ще не має жодного контролеру, для якого можна писати сценарій інкубації, який має віддалені сповіщення та віддалений моніторинг та контроль за мікрокліматом в інкубаторі.

1.3 Аналіз технічного завдання

Основна ідея та новизна пристрою полягає у тому, що повинна бути можливість розробити програму інкубації. Тобто кожен бажаючий повинен мати змогу написати власну програму інкубації. Звичайно писати програми на інкубаторі використовуючи декілька кнопок і примітивний екран дуже не зручно. Використання сенсорного великого екрану є не рентабельним, адже його ціна майже така як у всього блоку керування у конкурентів, також користувач буде ним користуватись не кожен день, а можливо навіть тиждень, тому встановлення такої деталі є нерозумним. Чудовим та дешевим виходом з ситуації є використання наявних у користувача засобів розширення інтерфейсу. Це може бути смартфон, планшет чи комп'ютер. Тому інкубатор мусить забезпечити можливість комунікації з пристроями користувача.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Серед таких інтерфейсів може бути дротовий через USB. Але використання дротів є дуже незручним. Також в такому разі потрібно бути безпосередньо біля інкубатору. Інший варіант це використання Bluetooth, таке рішення не набагато краще за дротовий, адже користувачу все одно потрібно бути безпосередньо поряд з інкубатором.

Найбільш ефективний спосіб це використання бездротового WI-FI підключення до мережі інтернет [12]. На даний момент ця технологія дуже розвивається, через низьку ціну, практично в кожній квартирі та будинку вже присутній власний WI-FI роутер, який забезпечує доступ до мережі з будь-якого місця в домі. Таким чином забезпечення блока керування модулем WI-FI дасть змогу розширити інтерфейс інкубатора за допомогою веб додатків, до яких буде доступ з будь-якої точки планети. Крім цього при наявності доступу до інтернету, інкубатор може оперативно сповіщати користувача у випадку надзвичайних ситуацій в інкубаторі, навіть, якщо користувач знаходиться за десятки кілометрів від пристрою.

Таким чином забезпечення з'єднання інкубатора з інтернетом дає можливість реалізувати такі функції:

- розширення інтерфейсу керування інкубатором за допомогою web додатків без суттєвого збільшення кінцевої ціни інкубатора;
- віддалений моніторинг мікроклімату в інкубаторі;
- можливість створювати власні та завантажувати вже створені раніше програми інкубації;
- оперативні віддалені сповіщення користувача про надзвичайні ситуації (недотримання клімату, зникнення електроенергії).

Крім функцій, що перелічені вище, блок керування має забезпечувати базові функції: контроль температури, вологості, поворот яєць та провітрювання.

Контроль температури

Найпоширеніший спосіб контролю температури є метод гістерезису. Суть методу полягає у ввімкненні нагрівального елемента, коли температура падає

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

нижче якогось значення та вимикати, коли температура піднімається вище якогось показника. Але такий спосіб є доволі неточний і може призводити до суттєвих відмінностей реальної температури в інкубаторі від встановленої. Найточнішим способом встановлення температури в середовищі відбувається за допомогою ПІД контролера. Таким методом користуються контролери оптимальнішої моделі блоків керування інкубаторів серед розглянутих вище.

Контроль вологості

Найпопулярніший спосіб контролю вологості в інкубаторах - це природне випаровування. Спосіб полягає у тому, що на дно інкубатора кладеться резервуар з водою і вода випаровується природним шляхом. Точну вологість повітря таким способом встановити важко, підтримувати ще важче. Більш того фермер має самостійно перевіряти наявність води в резервуарі і доливати при необхідності. Більш ефективний спосіб контролювати вологість це використання ультразвукового випаровувача [13]. Кожен такий випаровувач має свою характеристику скільки він випаровує води в секунду, тобто є можливість точно розрахувати кількість води, яку необхідно випаровувати для підтримки заданої вологості повітря в інкубаторі. Також з'являється можливість використовувати більш об'ємні резервуари з водою, які будуть знаходитись ззовні інкубатора, таким чином інкубатор буде забезпечений водою на весь час інкубації.

Поворот яєць

Вже запатентовано та описано безліч систем повороту яєць. Найпопулярнішою в промисловості є система у якої яйця стоять у лотках вертикально і лотки нахиляються на 45 ° за допомогою механізму. Така система значно економить місце, та є зручною для використання при багатошаровій інкубації яєць, але через неприродне положення яєць, інкубація деяких видів тварин неможлива та навіть для курей ефективність інкубації є невисокою.

Інший спосіб повороту яєць полягає у тому, що яйця кладуть у природному положенні між перетинками, які в свою чергу утворюють сітку. При русі сітки

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

рухаються і яйця. Такий спосіб значно програє у компактності попередньому способі, але є універсальним для всіх типів яєць, та є набагато ближчим до природньої інкубації, тому ефективність інкубації є більшою. Оскільки згідно ТЗ універсалізація - це головна ціль даного блоку керування, тому було вирішено обрати другий тип. Точний рух сітки має забезпечувати кроковий двигун.

Провітрювання

Вентиляція в більшості інкубаторів реалізована за допомогою невеликих отворів в інкубаторі, а в деяких взагалі фермер має самостійно на деякий час знімати кришку інкубатора і провітрювати. Провітрювання є дуже важливим у процесі інкубації адже яйце це живий організм, який теж дихає, тому без повітря належної якості ембріони просто задихнуться. Тому було вирішено для вентиляції використовувати два вентилятори: один працює на вдув повітря інший на видув, але щоб уникнути теплові втрати вентилятори мають бути невеликими, не більше 4 см в діаметрі. Таким чином вентилятори забезпечують провітрювання та змішування повітря в інкубаційній камері.

В сільській місцевості дуже часто бувають раптові вимкнення електроенергії. Таким чином інкубаційні умови перестануть виконуватись і відбудеться загибель ембріонів, тому є критично важливим автоматичний перехід на батарейне живлення. Це дасть відстрочку для фермера увімкнути резервний генератор живлення. Автоматичний перехід на батарейне живлення буде здійснювати блок керування.

Таким чином дана розробка значно полегшить інкубацію фермерам та дасть змогу всім бажаючим написати власні програми інкубації. Крім того відкривається можливість інкубувати екзотичні тварини.

В результаті конструювання буде розроблено блок керування інкубатора, що здатний приєднуватись до мережі WI-FI, здатний запам'ятовувати програми інкубації, автоматично переходити на резервне живлення, має необхідні роз'єми для підключення драйверу крокового двигуна, нагрівальних елементів, ультразвукових випаровувачів та іншої периферії.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		12

Висновок до розділу

У розділі було розглянуто умови інкубації, які потрібно дотримуватись для успішної інкубації та було визначено, що кожний вид птиці має свої унікальні умови інкубації, мікроклімат повинен трохи змінюватись в залежності від дня інкубації. Також було виявлено, що зараз все ще не має єдиної думки щодо правильного методу інкубації. Через це багато дослідників мають свої власні погляди як має проходити інкубація, тому дуже важливо, щоб інкубатор можна було запрограмувати на конкретну програму інкубації.

В ході аналізу існуючих моделей було зроблено умовний поділ за ціною та функціональністю. Вийшло три основні моделі, кожна з них з різною точністю та автономністю справлялась з інкубацією, але жодна з моделей не має можливості до складання програм інкубації, віддаленого контролю, моніторингу за станом мікрокліматом та сповіщення про надзвичайні ситуації.

Для забезпечення можливості створювати програми інкубації потрібний зручний інтерфейс. Використання сенсорного екрану є економічно недоцільним, тому було вирішено вивести інтерфейс на рівень мережевих Web додатків. Можливість підключення інкубатора до мережі також вирішило проблеми оперативного сповіщення та віддаленого контролю.

Для контролю температури було вирішено використати ПІД алгоритм, для контролю вологості було вирішено використовувати ультразвукові випаровувачі.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		13

РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми блоку керування

Загальна структурна схема приладу зображена на рисунку 2.1.1.

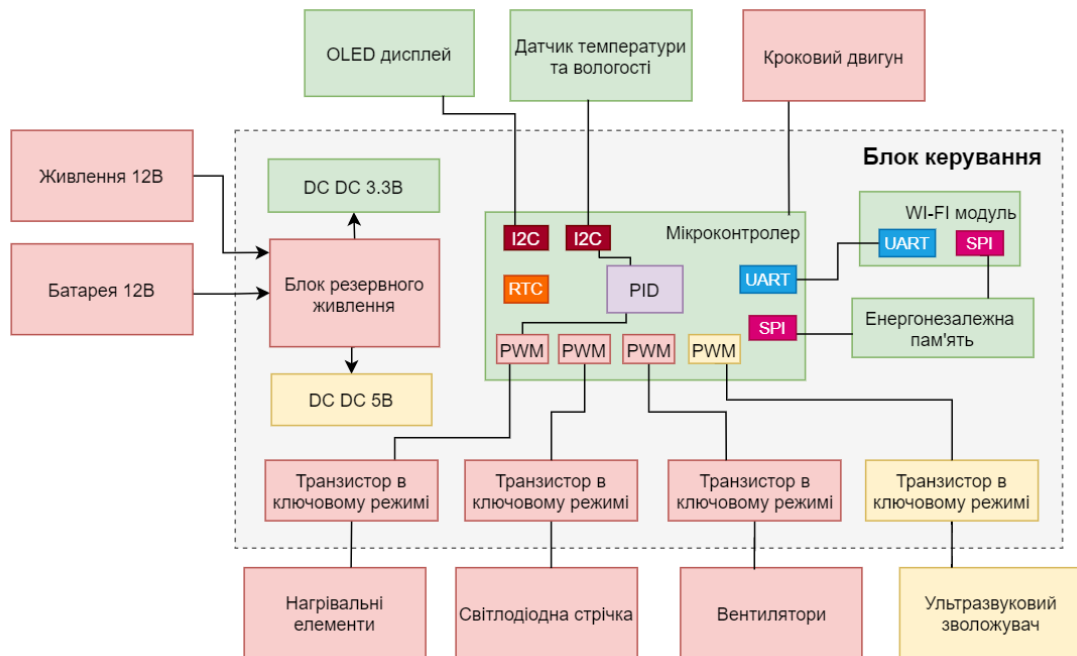


Рисунок 2.1.1 – Загальна структурна схема приладу

До блоку керування входять компоненти, що є на платі, датчик температури та вологості та OLED дисплей [14]. Інші елементи структурної схеми користувач може встановити сам за власним бажанням. Основні критерії до вибірових користувачем компонентів:

- Мати відповідні роз'єми для підключення;
- Робоча напруга живлення 12 В (5 В для ультразвукових випаровувачі);
- Сумарна споживана потужність всіх елементів не має перевищувати 90 Вт.

Схема живиться або від блоку живлення на 12 В або від акумулятору на 12 В у випадку, якщо не буде основного джерела живлення. Для того, щоб обирати яким саме живленням жити схему використовується блок резервного живлення. Всередині блоку реалізована пріоритетна схема вибору живлення, тому, навіть якщо батарея буде мати вищу напругу живлення за основне джерело живлення, то

на блок керування буде надходити енергія саме з основного джерела живлення. Тобто пріоритетна схема вибору живлення надає можливість використовувати класичні інкубатори [15]. Такий акумулятор при повному заряді на виході має напругу не 12 В, а 14,4 В.

Після блоку резервного живлення відбувається стабілізація напруги на 3,3 В та 5 В для живлення інших структурних елементів схеми.

Загалом живляться від 12 В такі структурні блоки:

- DC-DC перетворювачі;
- Нагрівальні елементи;
- Світлодіодна стрічка;
- Вентилятори;
- Кроковий двигун.

Від 5 В:

- Ультразвукові зволожувачі.

Від 3,3 В:

- Мікроконтролер;
- WI-FI модуль;
- Енергонезалежна пам'ять;
- OLED дисплей;
- Датчик температури та вологості.

Для збереження програм інкубації та мікрокліматичних показників інкубатора використовується блок енергонезалежної пам'яті.

Для з'єднання блоку керування з мережею Інтернет використовується блок WI-FI модулю. Обмін даними з мікроконтролером відбувається за допомогою UART [16]. Запис програми інкубації в енергонезалежну пам'ять відбувається за допомогою інтерфейсу SPI [17].

Датчик температури та вологості підключається до мікроконтролеру за допомогою інтерфейсу I2C [18]. Також за цим же протоколом підключається

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		15

OLED дисплей. На екрані буде відображатись температура та вологість в інкубаційній камері, день інкубації та стан підключення до мережі інтернет.

Для контролю мікрокліматичними показниками інкубатора використовуються нагрівальні елементи, вентилятори, ультразвукові випаровувачі та світлодіодна стрічка. Керування конкретною потужністю цих блоків регулюється за допомогою PWM [19], який генерує мікроконтролер. PWM сигнал подається на польовий транзистор, що працює в ключовому режимі. В свою чергу транзистор вже комутує потрібну напругу живлення для конкретного блоку.

Кроковий двигун використовується для системи повороту яєць. Контролюється він за допомогою чотирьох сигнальних дротів, які під'єднані до драйверу крокового двигуна, який вже контролює безпосередньо двигун.

2.2 Розробка принципової схеми та вибір компонентної бази

Принципова схема блоку керування представлено на ДК61.272115.001 ЕЗ.

В даному розділі буде описуватись процес розробки принципової схеми блоку керування, логічне обґрунтування необхідності компонента та вибір конкретної моделі від конкретного виробника. Обиратись компоненти будуть в першу чергу за необхідними мінімальними характеристиками. У якщо безліч компонентів підходять за характеристика, то обирати компонент спираючись на його ціну.

Блок резервного живлення

Блок керування живиться від напруги 12 В, а також у якості резервного живлення від батареї номінальна напруга якої складає теж 12 В. Але реальна вихідна напруга батареї в зарядженому стані сягає 14,4 В. Таким чином використати просту схему резервного живлення на діодах [20] не вийде. Також є інша проблема – мікросхема має пропускати струм до 9 А, що є досить багато. Рациональніше пропускати струм через транзистор, а керувати транзистором вже за допомогою мікросхеми. Використання мікросхем типу LT4414 [21] має таку

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		16

саму проблему: блок керування буде живитись від більшої напруги живлення, а не від основної. Тому потрібна схема в якій можна встановити пріоритет для лінії живлення. Такі мікросхеми існують, наприклад LT4417 [22]. В цій мікросхемі пріоритетність встановлюється за допомогою резисторів, які утворюють подільники напруги. Але ціна такої мікросхеми сягає 10\$ без урахування доставки, що є безумовно дуже дорого для такого роду задач. Тому було вирішено розробити власну схему резервного живлення з доступних компонентів. Ознайомитись з нею можна на рисунку 2.2.1.

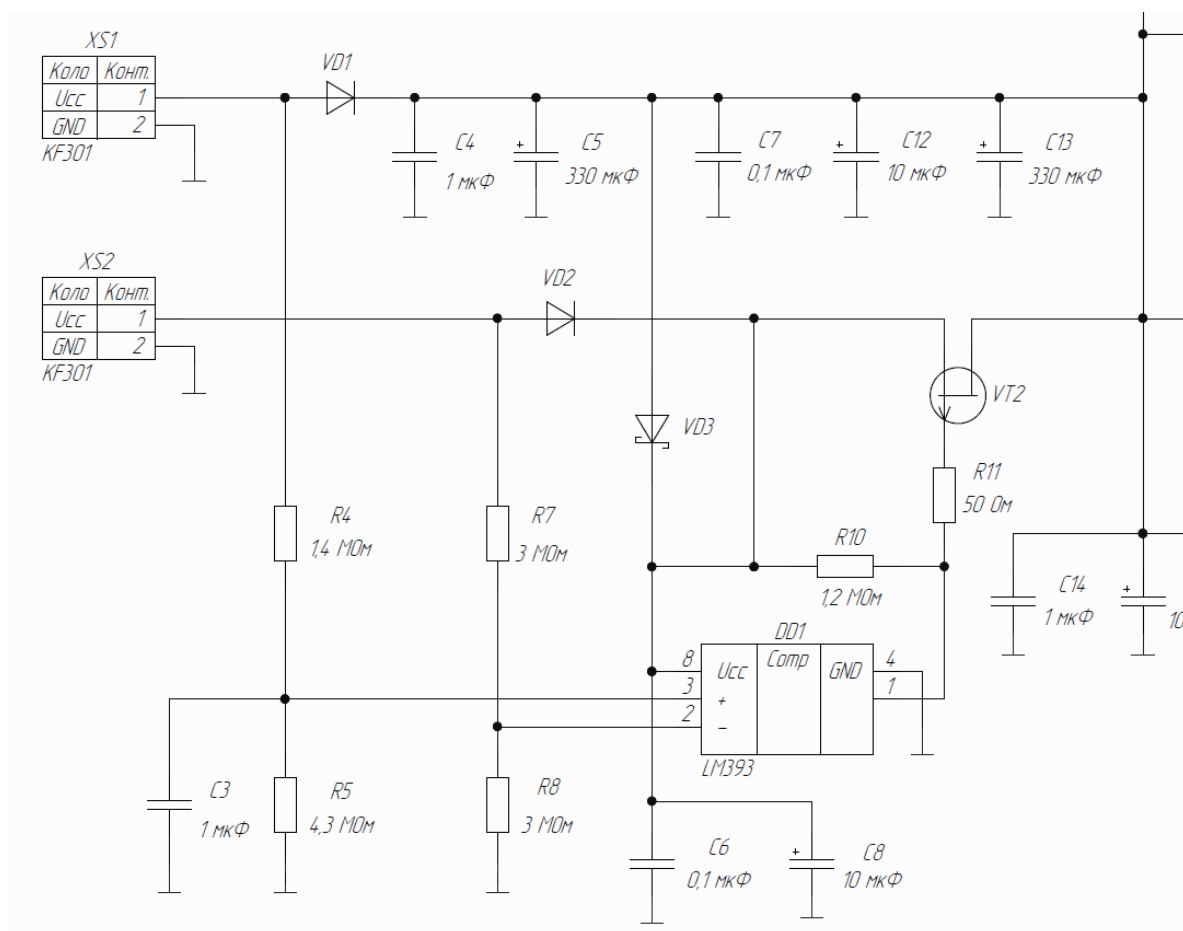


Рисунок 2.2.1 – Схема блоку резервного живлення

В основі схеми є компаратор DD1, який порівнює напруги живлення з двох входів і керує транзистором VT2, який пропускає напругу від роз'єму XS2 до якого підключається резервне живлення. Але напруга живлення від XS2 надходить до входу компаратора через подільник напруги на два утворений резисторами R7, R8, таким чином на вході компаратора DD1, вхідна напруга від

батареї буде нижча за напругу від основного джерела живлення. Резистори R4, R5 необхідні для зменшення напруги в 0,8 разів для забезпечення подачі на вхід компаратора значення напруги нижче за його напругу живлення.

Вихід компаратора має бути з відкритим колектором, таким чином буде реалізовано узгодження рівнів з керуючим транзистором. Також мікросхема компаратора має живитись хоча б від 20 В. Таку ж напругу мають витримувати його входи. Повністю задовольняє ці параметри компаратор **LM393** [23] компанії Texas Instruments, цей компаратор має низьке енергоспоживання (близько 400 мкА) є дуже поширеним та найдешевшим серед аналогів.

Живиться компаратор відразу за допомогою двох джерел живлення, підключених через діод Шотткі VD3 по схемі резервного живлення [20]. Єдиний критерій до діода Шотткі це витримувати зворотну напругу до 20 В, тому було обрано діод **1N5822** компанії IGMOPNRQ [24].

Роз'єм для живлення

Вхідним роз'ємом для підключення основного живлення є XS1, для резервного живлення використовується роз'єм XS2.

Для такої задачі можна обійтися й без роз'єму використавши просту пайку, але в такому разі пристрій стане важким при розборі та ремонту. Головний критерій роз'єму це спроможність пропускати струм як мінімум 10 А та витримувати напругу як мінімум 16 В, також має бути надійне та просте кріплення. Під ці характеристики чудово підходить роз'єм **KF301-2P** [25] від компанії LOLOIY. Він може пропускати струм до 15 А є компактним. Основною особливістю цього роз'єму є те, що в нього дроти вставляються та закручуються. Таким чином таке з'єднання по надійності майже як пайка і не потребує додаткових роз'ємів на дротах.

Транзистор

Керуючий сигнал з виходу компаратору повинен комутувати живлення від батареї. В такому разі задача стоїть в розриві саме кола живлення, а не землі, тому

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		18

буде використовуватись польовий транзистор з індукованим Р каналом. В принциповій схемі це транзистор VT2.

З важливих характеристик це максимальна напруга затвор виток має бути мінімум 16 В, мінімальний струм, має бути не менший за 10 А та мінімальна напруга сток виток має бути не менша за 16 В. Також для зменшення виділення тепла та збільшення ефективності опір каналу у відкритому стані має бути мінімальним не більшим за 7 мОм. Серед великої кількості транзисторів є багато схожих за характеристиками, але від різних компаній, різною ціною та ступенем доступності.

Варті уваги транзистори AON6407 [26] та IPD90P03P4-04 [27], обидва можуть пропускати струм до 90 А, витримувати напругу сток виток до 30 В, мають опір відкритого каналу 4,5 мОм, єдина різниця в технічних параметрах це тепловий опір. Перший транзистор має 55 К/Вт, а другий 62 К/Вт, але у другому пораховано, що при площі охолодження 6 см² опір вже стане 40 К/Вт, причому опір кристал корпус кращий у другого транзистора, що свідчить про кращі охолоджувальні властивості. Також дуже важливу роль має ціна. Другий транзистор дешевший за перший в 4 рази. Враховуючи вище перераховані характеристики кращим вибором для даного блоку керування є транзистор **IPD90P03P4-04** від компанії Infineon.

Діоди на входах живлення

Щоб забезпечити захист джерел живлення та захист від підключення блоку живлення чи батареї неправильної полярності на входи потрібно поставити діоди VD1 та VD2.

Діод повинен мати якомога менше падіння напруги на ньому, повинен пропускати струм як мінімум 9 А. Використання діодів Шотткі для цієї задачі є недоцільним через те, що мінімальне падіння напруги на ньому складе 0,5 В. При струмі 10 А виходить, що потрібно розсіювати 5 Вт енергії, що є дуже багато, особливо враховуючи, що діоди мають велике значення теплового опору(близько 50 К/В в кращому випадку).

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Однак існує інший клас приладів – це ідеальний діод. Ідея полягає в тому, що замість класичного діода використовується транзистор, яким керує спеціальна мікросхема в залежності від напруги на стоку та витоку транзистора. Якщо використати мікросхему ідеального діоду ISL6146 [28] у зв'язці з транзистором AOD424 [29], то сумарна вартість одного діоду складе близько 3 \$.

Але на ринку діодів було знайдено діод вищій за класом ніж діод Шоттки. Це діод SM74611 [30]. Падіння напруги на цьому діоді складає всього 26 мВ, максимальний прямий струм складає 15 А. Тобто при струмі 9 А на діоді буде виділятися всього 0,234 Вт енергії. При цьому він здатний витримувати зворотну напругу до 30 В. Його ціна теж близько 3 \$.

Маючи приблизно однакові параметри з системою ідеального діоду доцільніше використати діод **SM74611** від компанії Texas Instruments через те, що в такому разі в схемі буде використовуватись менше компонентів таким чином схема стане компактнішою.

DC-DC перетворювачі напруги

В схемі блоку керування потрібна фіксована напруга живлення 5 В і 3,3 В. Для цього потрібно використати DC-DC перетворювачі DD2 для 5 В та DD3 для 3,3 В.

Від 5 В будуть живитися ультразвукові зволожувачі повітря. Сумарний струм для живлення 3,3 В не перевищує 1 А, а для 5 В не перевищує 2 А. Вхідна напруга живлення може змінюватись від 12 В до 14,4 В. Для цієї задачі чудово підходять фіксовані DC-DC перетворювачі. Вони будуть виконувати відразу роль стабілізатора та DC-DC перетворювача. Серед великого різноманіття мікросхем було виділено Semtech TS30012 [31], Diodes Incorporated AP1509 [32].

TS30012 має функцію м'якого старту(без стрибків струму) та має вищу ефективність (92 % проти 80 %), але його вартість вища в 10 разів(0,2 \$ проти 2 \$). Оскільки ця плата відноситься для побутової електроніки, тому ціна є критичним параметром, а плата **AP1509** від компанії Diodes Incorporated задовольняє всім технічним характеристикам, які вимагає схема, тому було обрано саме її.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Мікросхема AP1509 існує в модифікаціях як на фіксовану вихідну напругу 3,3 В так і на 5 В, тому для 5 В було обрано теж цю мікросхему. Вся необхідно обв'язка до цих мікросхем була встановлена за рекомендаціями з документації [32] на цей DC-DC перетворювач.

Датчик температури та вологості

Датчик температури та вологості є одним з найважливіших елементів блоку керування, адже на основі даних з цього датчику буде регулюватись температура та вологість в інкубаційній камері. Тому до вибору потрібно віднестись максимально відповідально. Цей датчик буде встановлено на окрему від блоку керування плату, яка поміщено в середину інкубаційної камери.

Серед вимог до сенсору згідно технічного завдання точність вимірювання температури має бути як мінімум ± 0.3 °С, а точність вимірювання вологості повітря в інкубаційній камері має бути як мінімум ± 10 %. Вибір конкретного сенсору буде відбувати за допомогою методу матриці параметрів [33].

Обирати будемо серед таких моделей сенсорів:

- Si7020-A20 [34];
- HDC1080 [35];
- SHT30-DIS-B2.5KS [36];
- SHTC1 [37];
- SHTC3 [38].

По таким параметрам:

- Ціна;
- Найгірша точність вимірювання температури;
- Найгірша точність вимірювання вологості;
- Типова точність вимірювання вологості;
- Час реакції температурного сенсору;
- Час реакції сенсору вологості повітря;
- Струм споживання.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		21

На основі значень з документації на компоненти складу матрицю параметрів X.

Таблиця 2.2.1 – Матриця параметрів X

	Ціна	Точність температури	Точність вологості найгірша	Точність вологості типова	Час реакції вологість	Час реакції температура	Струм споживання
Si7020-A20	1,80	0,30	4,00	3,00	18,00	5,10	180,00
HDC1080	1,30	0,20	3,00	2,00	15,00	15,00	220,00
HTU20D	1,60	0,30	5,00	3,00	10,00	10,00	500,00
SHT30-DIS	0,78	0,20	5,00	2,00	8,00	3,00	1500,00
SHTC1	1,30	0,30	5,00	3,00	8,00	5,00	465,00
SHTC3	3,40	0,20	3,50	2,00	8,00	5,00	900,00
Ваговий коефіцієнт	0,40	0,20	0,12	0,16	0,05	0,05	0,02

В сумі вагові коефіцієнти мають дати одиницю. Оскільки всі дані температурні сенсори задовольняють умови технічного завдання найважливішим є параметр ціни. Чим дешевша собівартість кінцевого приладу, тим більше грошей вийде отримати за розробку у майбутньому.

Наступний по важливості параметр це точність вимірювання температури, за ним точність вимірювання вологості. Час реакції це доволі відносна величина і сам виробник вказував, що час реакції більше залежить від умов експлуатації датчику, тому цей показник має такий низьку важливість. Струм споживання на фоні споживання нагрівальних елементів у яких він одиниці ампер, дуже незначний, тому цей параметр важливий в даній розробці лише як доволі умовний показник якості самого сенсора.

На основі матриці X було створено матрицю приведених параметрів Y. Особливість цієї матриці в тому, що за умови, якщо більшому значенню параметра, відповідає менша якість – він має бути перерахований за формулою:

$$Y_{ij} = \frac{1}{X_{ij}}, \quad (2.2.1)$$

де $i = \overline{1, n}$ – кількість обраних ІС;

$j = \overline{1, m}$ – кількість параметрів ІС, що аналізуються.

Отримана після розрахунку матриця приведених параметрів Y наведена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.2 – Матриця приведених параметрів Y

Si7020-A20	0,5556	3,3333	0,2500	0,3333	0,0556	0,1961	0,0056
HDC1080	0,7692	5,0000	0,3333	0,5000	0,0667	0,0667	0,0045
HTU20D	0,6250	3,3333	0,2000	0,3333	0,1000	0,1000	0,0020
SHT30-DIS	1,2821	5,0000	0,2000	0,5000	0,1250	0,3333	0,0007
SHTC1	0,7692	3,3333	0,2000	0,3333	0,1250	0,2000	0,0022
SHTC3	0,2941	5,0000	0,2857	0,5000	0,1250	0,2000	0,0011
Ваговий коеф	0,40	0,20	0,12	0,16	0,05	0,05	0,02

На основі матриці Y , було створено матрицю приведених параметрів A за формулою:

$$A_{ij} = \frac{\max Y_{ij} - Y_{ij}}{\max Y_{ij}}, \quad (2.2.2)$$

де $\max Y_{ij}$ – максимальний елемент у стовпчику;

Y_{ij} – значення елемента, який нормується.

Отримана після розрахунку матриця нормованих параметрів A наведена у таблиці 2.3.

Таблиця 2.2.3 – Матриця нормованих параметрів A

Si7020-A20	0,5667	0,3333	0,2500	0,3333	0,5556	0,4118	0,0000
HDC1080	0,4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4667	0,8000	0,1818
HTU20D	0,5125	0,3333	0,4000	0,3333	0,2000	0,7000	0,6400
SHT30-DIS	0,0000	0,0000	0,4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8800
SHTC1	0,4000	0,3333	0,4000	0,3333	0,0000	0,4000	0,6129
SHTC3	0,7706	0,0000	0,1429	0,0000	0,0000	0,4000	0,8000
Ваговий коеф	0,40	0,20	0,12	0,16	0,05	0,05	0,02

Порахуємо значення оціночної функції Q для всіх компонентів:

$$Q_i = \sum_{j=1}^m A_j * b_j, \quad (2.2.3)$$

де b_j – ваговий коефіцієнт.

Значення оціночної функції для всіх компонентів наведено у таблиці 2.4. Зеленим кольором виділено найкращий компонент.

Таблиця 2.2.4 – Значення оціночної функції Q

Назва сенсору	Q
Si7020-A20	0,43
HDC1080	0,23
HTU20D	0,43
SHT30-DIS	0,07
SHTC1	0,36
SHTC3	0,36

Отже, фактично по всім параметрам кращим є датчик **SHT30-DIS** від компанії Sensirion, який є ліпшим за інші моделі по всім параметрам, крім струму споживання. Обмін даними з мікроконтролером відбувається за допомогою протоколу I2C.

WI-FI модуль

Згідно технічного завдання блок керування повинен мати вихід до інтернету. Найкращий спосіб це зробити це встановити WI-FI модуль. На принциповій схемі це компонент DD7.

Модуль повинен бути впаюваним для того, щоб забезпечити простий та надійний монтаж на друкований вузол. Для задач обміну невеликих порцій даних вистачить модуля будь-якої потужності. Для створення локального web

інтерфейсу на основі модуля для первинного налаштування потрібно, щоб модуль мав як мінімум 4 Мб енергонезалежної пам'яті. Для обміну даними з головним мікроконтролером має бути інтерфейс UART та для запису програми інкубації в зовнішню енергонезалежну пам'ять потрібний інтерфейс SPI. Оскільки ці критерії задовольняють більшість існуючих модулів, основним критерієм вибору є в першу чергу ціна.

Найдешевшими та найпопулярнішими модулями серед багатьох є безумовно лінійка WI-FI модулів серії ESP від компанії Espressif [39]. На даний момент ці модулі є дуже популярними. В магазині Aliexpress можна купити ці модулі вже від 2 \$ враховуючи доставку в Україну.

Серед лінійки існують 3 основні ядра [39].

ESP32-S2 – частота роботи до 240 МГц, має багато периферії такої як USB, I2C, I2S, ADC, DAC, PWM, camera interface. Енергонезалежна пам'ять до 16 Мб. Для блоку керування інкубатора така кількість периферії є зайвою. Але ціна даного модуля складає 7 \$.

ESP32-D0WD/V3 – даний різновид має всі характеристики, що й попередній різновид, але додатково має Bluetooth інтерфейс. Даний є значно дешевшим за попередній, його ціна 2,5 \$.

ESP8266EX – дане ядро має найслабші характеристики. Частота роботи до 160МГц. Серед периферії тільки UART, I2C, PWM, ADC та SPI. Має енергонезалежну пам'ять до 4 Мб. Але дана модифікація є надзвичайно компактною, її фізичні розміри 1,8 см на 2 см, що є найменшим результатом серед інших модулів. Ціна даного модуля складає 1,71 \$. Отже дана модифікація повністю задовольняє всім вимогам.

На основі кожного ядра створено декілька вже кінцевих модулів, які мають різну кількість енергонезалежної пам'яті та різний тип антени. Для блоку керування було обрано **ESP-WROOM-02D** з 4 Мб енергонезалежної пам'яті та PCB антеною, що звільнить від відповідальності купувати ще звичайну антену окремо.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Вся необхідна обв'язка необхідна для даного модуля вказана в документації [40].

Енергонезалежна пам'ять

За розрахунками, які детально описані в розділі 5.2, максимальний розмір однієї програми інкубації може складати 3,5 Мб пам'яті. Тому пам'яті у WI-FI модулі не вистачить навіть на 2 програми інкубації не кажучи вже про додаткові резервні записи стану мікроклімату в інкубаторі для синхронізації з сервером у випадку, якщо мережа на деякий час зникне. Пам'яті потрібно як мінімум 16 Мб, але краще 32 Мб. Проаналізувавши ринок було визначено, що 32 Мб коштує в 4 рази дорожче ніж 16 Мб пам'ять, тому було обрано 16 Мб об'єм. До самої мікросхеми особливих вимог не було, тому було обрано найпоширенішу та найдешевшу - **w25q128** [41] від компанії Winbond. На принциповій схемі це компонент DD6.

Елемент АБО

Запис в енергонезалежну пам'ять програми інкубації можна було зробити двома шляхами.

Перший шлях полягав в у тому, що дані з WI-FI модулю за допомогою UART передаються на контролер, після чого за допомогою DMA перенаправляються на інтерфейс SPI, який вже записує програму в пам'ять. Схематично зображено на рисунку 2.2.2.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

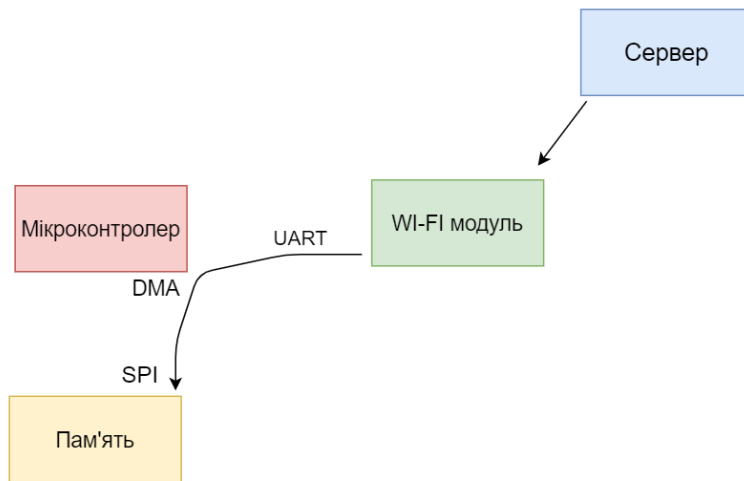


Рисунок 2.2.2 – Варіант трансферу даних з серверу до пам'яті через мікроконтролер

Інший спосіб полягає у тому, що ESP напряду за допомогою SPI записує програму до пам'яті. І коли настане час, мікроконтролер теж буде за допомогою свого SPI писати чи читати з пам'яті. Схематично зображено на рисунку 2.2.3.

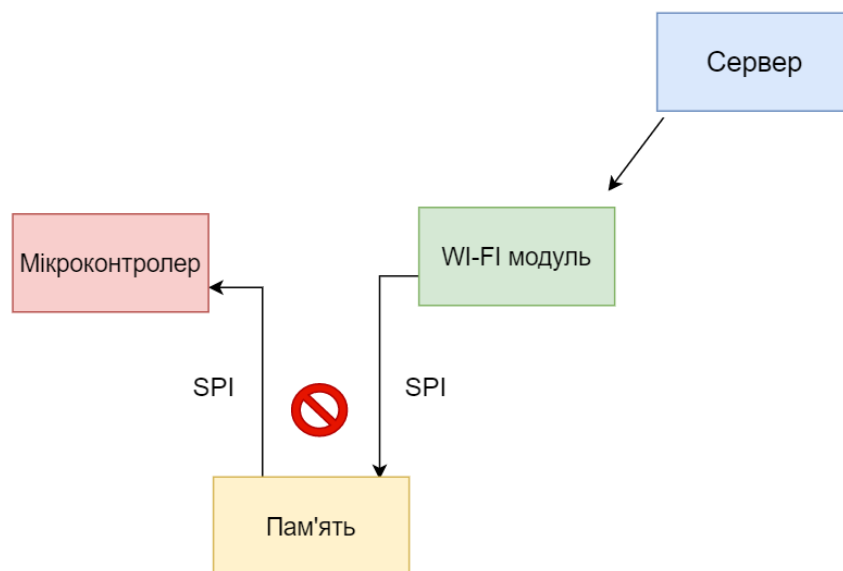


Рисунок 2.2.2 – Варіант трансферу даних з серверу до пам'яті через Wi-Fi модуль

Але виникає ймовірність конфлікту. У випадку, якщо під час запису інший пристрій почне записувати або зчитувати дані, то виникне коротке замикання.

Вирішити конфлікт можна встановивши логічний елемент АБО на всі чотири лінії SPI. Таким чином вдасться гарантовано уникнути коротких замикань, але конфліктні ситуації вже у користуванні пам'яттю ще можливі.

Для вирішення цієї проблеми необхідно визначитись з пристроєм, який буде пріоритетнішим. Це буде WI-FI модуль, оскільки користувач повинен мати можливість в будь-який момент змінити параметри інкубації чи програму інкубації. Тому WI-FI модуль буде під'єднано до мікроконтролера за допомогою додаткового сигнального провідника, який буде сповіщати відбувається запис у пам'ять чи ні. Таке включення схематично зображено на рисунку 2.2.3.

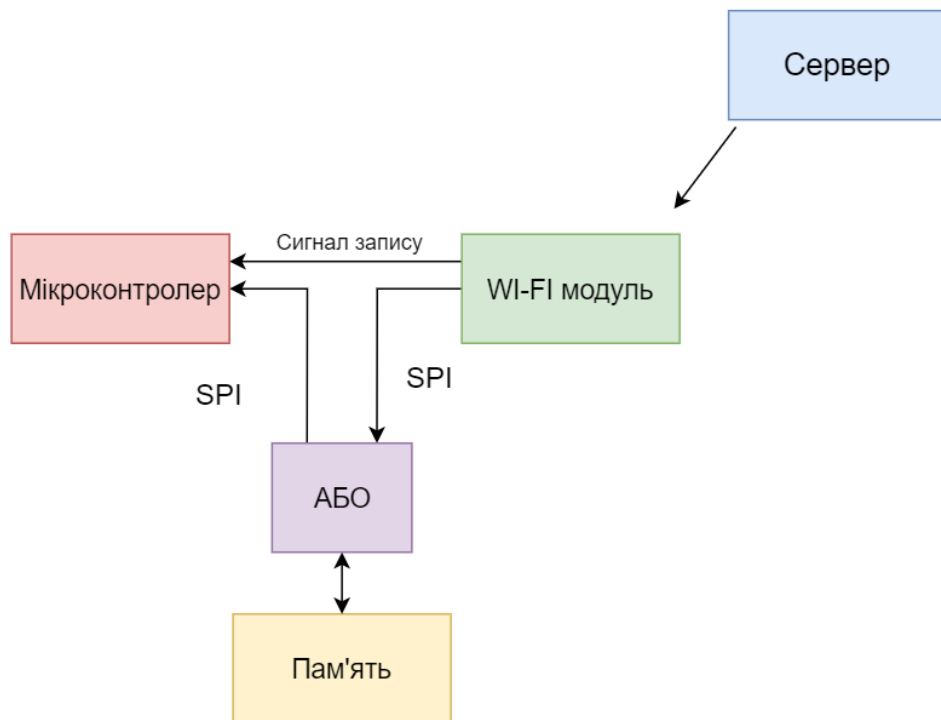


Рисунок 2.2.3 – Схематичне під'єднання мікроконтролера та WI-FI модулю до пам'яті

У якості елемента було обрано мікросхему **74НС32** [42] від компанії Diodes incorporation, яка має якраз 4 канали АБО, є дешевою та поширеною. На принциповій схемі елемент позначено як DD5.

Транзистор комутації живлення для периферії

Більшість периферії блоку керування живиться від напруги 12 В, а активний рівень управляючого сигналу на рівні 3,3 В. За таких умов не вийде використовувати транзистор з індукованим Р каналом, бо не вийде створити різницю потенціалів на затвор-виток у нуль Вольт, через це транзистор буде завжди відкритий. Але для цієї задачі чудово підходить транзистор з індукованим N каналом. Для відкриття транзистора такого типу потрібно створити різницю потенціалів між затвором та витоком на рівні 3,3 В. Закриття буде відбуватись при 0 В. Навантаження має бути підключене до стоку транзистора. На принциповій схемі це транзистори VT1, VT3-VT8.

При виборі транзистора потрібно задовольнити такі вимоги:

- Опір каналу при активному сигнальному рівні не більше 7 мОм;
- Може витримувати як мінімум 20 В на контактах сток-виток;
- Може пропускати мінімум 10 А струму.

Цим параметрам задовольняють тисячі транзисторів. Тому було обрано найдешевший - **AOD424** [29] від компанії Alpha&Omega. Він має опір каналу при 3,3 В в 5,7 мОм здатний пропускати струм до 45 А та витримує напругу сток-виток до 20 В, що повністю задовольняє поставлені умови.

Дисплей

При проектуванні взагалі не передбачалось дисплею, так як телефон чи комп'ютер повністю його заміняє. Але при використанні інкубатору в реальних умовах, якщо є постійний доступ до інкубатору, то набагато зручніше просто візуально подивитись його параметри та день інкубації, чим діставати для цього телефон. Також фермеру для того, щоб переконатись, що процес інкубації пішов, бажано мати якісь показники саме на інкубаторі, а не тільки в телефоні. Таким чином буде наочно показано, що інкубатор реагує на команди з віддаленого керуючого пристрою.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		29

Дисплей буде закріплений на передній частині корпусу та буде відображати стан підключення до мережі WI-FI, день інкубації, температуру та вологість в інкубаційній камері. По вимогам він має мати простий інтерфейс обміну даними, який присутній у мікроконтролерів та бути якомога дешевшим, тому було обрано модуль OLED дисплею [43] з інтерфейсом I2C та полосаю іншого кольору у верхній частині екрану, у якій буде дуже зручно відображувати стан підключення до WI-FI та стан підключення до мережі інтернет. Ринкова ціна модулю 2 \$, що повністю задовольняє поставлені вимоги.

Роз'єми

Для роботи схеми потрібно три 4х контактні роз'єми XS5, XS6 , XS8 без вимоги по максимальному струму та 7 2х контактних роз'єми XS4, XS7, XS10-XS15, зі здатністю пропускати до 2 А. Також роз'єми мають мати гарну фіксацію і легкість в експлуатації.

Для сигнальних роз'ємів було обрано **JST-XH** [44] компанії JST. Роз'єми цієї категорії мають гарну фіксацію, маленькі габаритні розміри та багато модифікацій на кількість сигнальних ліній, зокрема є для 4 сигнальних ліній.

Роз'єм 2х контактний було обрано **MF42-RP-02** [45] від компанії Ninigi. Вони дуже компактні за рахунок того, що провідники розташовані не горизонтально, а вертикально. Можуть пропускати до 7 А струму, що повністю задовольняє поставлені вимоги.

Резистори та світлодіоди та котушки

Резистори в даній схемі потрібні лише для підтяжки сигнальних ліній до землі чи до живлення для запобігання короткого замикання, тому потужності 0,125 Вт буде більш ніж достатньо. Таку потужність розсіює корпус SMD 0805. Було обрано резистори компанії Uni-Ohm з точністю 1 %.

Світлодіоди в даній схемі потрібні лише для діагностування несправностей під час експлуатації, тому особливих вимог до них немає. Було обрано світлодіоди в корпусі SMD 0805 зеленого кольору.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

В схемі використовуються всього 2 котушки індуктивності для DC-DC перетворювача з індуктивністю 47 мкГн. Для такої індуктивності було обрано котушку в корпусі CD127R компанії Dsida.

Конденсатори

В схемі блоку керування конденсатори виконують тільки функції фільтрації шумів, тому точність не є критичним параметром. Для фільтрації шумів біля контакту живлення кожної мікросхеми було встановлено 2 конденсатори: один з ємністю 100 нФ для високочастотних завад, а один 10 мкФ для низькочастотних. Також на вході було встановлено конденсатор підвищеної ємності для збільшення надійності живлення всієї схеми. Інші конденсатори були встановлені згідно документації кожного компонента.

До ємності 3 мкФ було використано керамічні конденсатори SMD розміром 0805 від компанії TDK з точністю 10% та розрахований на напругу 50 В.

Для великих ємностей було використано електrolітичні конденсатори. Конденсатор великої ємності було обрано у корпусі SMD 8x10, а конденсатори на 10 мкФ і менше були обрані в корпусі SMD 4x5,4 теж від компанії TDK, але вже розраховані на напругу 25 В та з точністю 20%.

Мікроконтролер

Мікроконтролер обирається в останню чергу так як на початку ще не відомо, які інтерфейси знадобляться та в якій кількості.

Отже, згідно до принципової схеми ДК61.272115.001 ЕЗ мікроконтролер потребує такі інтерфейси: 2 одиниці I2C, UART, SPI та 12 GPIO, п'ять з них з функцією PWM. Оскільки програма інкубації буде виконуватись на основі часових параметрів з реального світу, то також потрібно, щоб був наявний модуль RTC. Враховуючи те, що на мікроконтролері буде виконуватись ПД алгоритм, який передбачає виконання операції диференціювання та інтегрування, мікроконтролер має мати модуль FPU та підвищену продуктивність роботи. До

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		31

споживання струму вимог немає. На мікроконтролері має бути можливість розгорнути операційну систему реального часу.

Почати вибір варто з сімейства мікроконтролерів. Існує 3 найвідоміших сімейства:

- AVR [46];
- PIC [47];
- STM на основі ARM cortex [48].

AVR хоч і популярна, але на даний момент вже застаріла. Максимальна частота роботи 20МГц при цьому випускаються мікроконтролери тільки 8-бітні. Тобто це сімейство не задовольняє вимоги по продуктивності.

Сімейство PIC по продуктивності є значно потужнішим за AVR, деякі моделі контролерів мають FPU. Але ціна є доволі високою у порівнянні з AVR та STM. Крім того, спільнота, яка займається розробкою PIC є дуже невеликою, тому можуть виникнути проблеми з програмуванням та портуванням операційної системи реального часу.

Одним із найпопулярніших є сімейство STM. Контролери можуть мати робочу частоту до 300 МГц, тому продуктивність цих мікроконтролерів є дуже високою при низькому споживанні струму. Також завдяки популярності існує у вільному доступі безліч роз'яснень по роботі цих контролерів. Крім того вже існують готові інструкції по встановленню FreeRTOS [49] та інших операційних систем реального часу. При цьому ціна цих контролерів є невисокою. Отже вирішено використовувати сімейство STM.

Контролери STM поділяються на такі підвиди:

- з низьким енергоспоживанням;
- бездротові (але зі стеком 802.15.4, а не з 802.11 - тому замінити WI-FI модуль не вдасться);
- типової потужності;
- підвищеної потужності.

Перші два підвиди не підходять, бо за призначенням мають використовуватись в інших цілях. В модулях типової потужності відсутні модулі FPU. Тому було вирішено обрати модулі підвищеної потужності. Серед них найдоступніший та оптимальніший, який відповідає заданим вимогам є **STM32F407VGT**.

Згідно документації [50] до виводів живлення має бути підключено 15 конденсаторів керамічних та один електролітичний.

Програмування мікроконтролера користувачами не передбачається, тому його вихід BOOT0 підключений завжди до землі.

До входу RST підключений RC ланцюжок, який робить автоматичне скидання контролера при кожному увімкненні живлення. Розрахунок значень номіналів буде наведений нижче у розділі 2.3.

Батарея для мікроконтролера

Для того, щоб RTC мікроконтролера працював завжди та час не збивався після кожного вимкнення пристрою було вирішено додати батарейне живлення. Для цього у мікроконтролера є спеціальний контакт Vbat. Згідно документації [50] струм цього контакту всього 2 мкА. Нехай орієнтовне, максимально можливе використання пристрою блоку керування 7 років (61320 годин).

Ємність батареї для того, щоб енергії вистачило на цей час розраховується за формулою:

$$C = I * t = 61320 * 2 * 10^{-6} = 122,6 \text{ mA} * \text{год} \quad (2.2.4)$$

Дуже поширеною і компактною є батарейка у формі таблетки **CR2032**, з ємністю 220 мА*год якої більш ніж вистачить більше ніж на 10 років безперервної роботи.

Перелік елементів до схеми наведений в додатках (ДК61.272115.001ПЕЗ).

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		33

2.3 Необхідні розрахунки принципової схеми

Розрахунок резисторів компаратора

Спершу буде розраховано резистори для подільників напруги для формування вхідних напруг на компаратор DD1. Нехай максимальний струм споживання системи автоматичного резервного живлення це 415 мкА. З них 400 мкА це струм живлення. Оскільки вхідний струм входів компаратора має бути 25 нА, то сумарний струм, який пропускає подільник напруги має бути як мінімум 2,5 мкА. Таким чином 25 нА складе 1 % від 2,5 мкА. При напрузі 14 В сумарний опір резисторів має бути 5,6 МОм.

Подільник напруги зображено на рисунку 2.3.1.

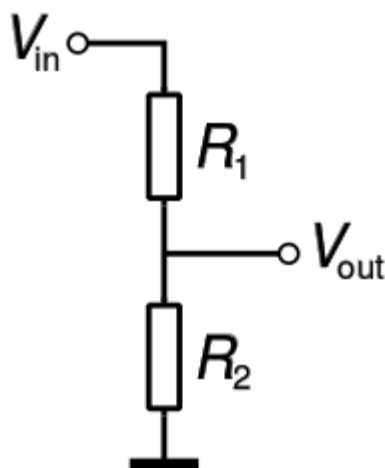


Рисунок 2.3.1 – Подільник напруги

Формула подільника напруги:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.3.1)$$

Таким чином, щоб поділити напругу навпіл, потрібно, щоб резистори R_1 та R_2 були рівними. Тобто резистори мають бути близько 2,8 МОм. Найбільш підходящим номіналом резистора з ряду E48 є резистор 3 МОм. Таким чином резистори на принциповій схемі (номери резисторів з принципової схеми) R_7 , R_8 , що поділяють напругу від батареї мають бути номіналом по 3 МОм.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Інша умова компаратора – вхідна напруга на входи має бути на 2 В нижче за напругу живлення. Тобто за умови, якщо напруга живлення компаратора складає 12 В, максимальна напруга на входах компаратора має бути не більша ніж 9,5 В. Нехай вхідна напруга буде 9 В. Таким чином коефіцієнт ділення має бути $9/12 = 0,75$.

$$R2 = 5,6 * 0,75 = 4,2 \text{ МОм}$$

В номінальному ряді E48 є резистор 4,3 МОм, тому виберемо його.

$$R1 = 5,6 - 4,2 = 1,4 \text{ Мом}$$

Такий номінал є в ряді E48.

Таким чином вихідна напруга за таких резисторах складе:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R2}{R1 + R2} = 12 * \frac{4,3}{5,7} = 9,05 \text{ В}$$

Що повністю задовольняє поставлені умови. Отже резистор $R1 = 1,4 \text{ МОм}$ $R2 = 4,3 \text{ МОм}$. На принциповій схемі це резистори R4 та R5 відповідно.

Залишилось розрахувати резистор R10, який буде ставитись на відкритий колектор компаратора. Оскільки всього на компаратор має витратитись 415 мкА (величина задана на початку розрахунків) з них вже витрачено 5 мкА (R2 R3, R7 R8) на вже розраховані резистори та 400 мкА споживає сам компаратор, на відкритий колектор залишається 10 мкА. Оскільки в документації не було знайдено значень опору відкритого каналу вихідного транзистору, то будемо вважати, що він дорівнює нулю. Тоді розрахуємо резистор за законом Ома.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{10 * 10^{-6}} = 1,2 \text{ МОм} \quad (2.3.2)$$

Отже опір резистору колектору R10 має бути 1,2 МОм.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Розрахунок резистору для світлодіоду

Світлодіоди в даній схемі використовуються при напрузі 5 В та 3,3 В.

Згідно документації струм світлодіода має бути 5 мА, а пряме падіння напруги має бути 2,2 В.

За 2 законом Кіргофа:

Для 3,3 В

$$U_{\text{res}} = 3,3 - 2,2 = 1,1 \text{ В}$$

Для 5 В

$$U_{\text{res}} = 5 - 2,2 = 2,8 \text{ В}$$

За законом Ома:

Для 3,3 В

$$R = \frac{1,1}{5 * 10^{-3}} = 220 \text{ Ом}$$

Резистор такого номіналу є в стандартному резистивному ряді E48, тому візьмемо його для резисторів R2 та R25.

Для 5 В

$$R = \frac{2,8}{5 * 10^{-3}} = 560 \text{ Ом}$$

Резистор такого номіналу є в стандартному резистивному ряді E48, тому візьмемо його для резистора R1.

Розрахунок автоматичного скидання для мікроконтролера на основі RC ланцюжку.

Для того, щоб при увімкненні живлення контролер автоматично виконував операцію скидання було встановлено до його контакту nRST простий RC

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		36

ланцюжок. Оскільки активний рівень цього піну нуль, то підтяжка через резистор буде до живлення, а до землі буде підтяжка через конденсатор.

Згідно документації [50] фізичний рівень логічного нуля мінімум складає до 0,8 В. Максимальний час, за який відбувається скидання – 3 мс.

Нехай для достовірності стан скидання буде 6 мс. Конденсатор візьмемо на 1 мкФ.

Формула заряду конденсатора:

$$U_c = U_{cc} * \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right), \quad (2.3.3)$$

де U_c – миттєва напруга на конденсаторі, В;

U_{cc} – напруга живлення, В;

R – значення резистору, Ом;

C – значення конденсатору, Ф;

t – час, який пройшов з моменту увімкнення живлення, с.

З неї було виведено формулу резистору та відразу пораховано його значення:

$$R = -\frac{t}{\ln\left(\frac{U_{cc} - U_c}{U_{cc}}\right) * C} = -\frac{6 * 10^{-3}}{\ln\left(\frac{3,3 - 0,8}{3,3}\right) * 1 * 10^{-6}} = 21,6 \text{ кОм} \quad (2.3.4)$$

Найближчим у резистивному ряді E48 до цього значення є резистор 22 кОм.

Перевіримо за допомогою формули заряду конденсатору, яка буде напруга на конденсаторі при резисторі та конденсаторі $R = 22 \text{ кОм}$ $C = 1 \text{ мкФ}$ через 6 мс після увімкнення.

$$U_c = U_{cc} * \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = 3,3 * \left(1 - e^{-\frac{6 * 10^{-3}}{22 * 10^3 * 1 * 10^{-6}}}\right) = 0,788 \text{ В}$$

А повний заряд конденсатора відбудеться через:

$$5 * RC = 0,11 \text{ с}$$

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		37

Отримані значення цілком задовольняють тому встановимо $C=1$ мкФ $R=22$ кОм. На принциповій схемі це R9 та C9.

Для перевірки правильності розрахунків було проведено моделювання в LTSpice. Результат можна побачити на рисунку 2.3.2.

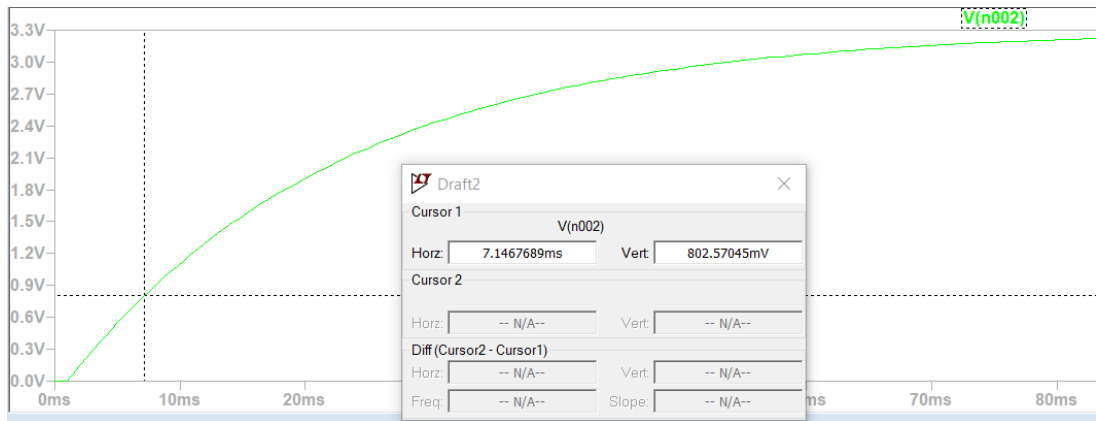


Рисунок 2.3.2 – Результат моделювання в LTSpice утримання логічного нуля протягом 7 мс

2.4 Симуляція схеми резервного живлення в LTSpice.

Спершу було створено принципову схему резервного живлення в LTSpice, яку можна побачити на рис. 2.4.1.

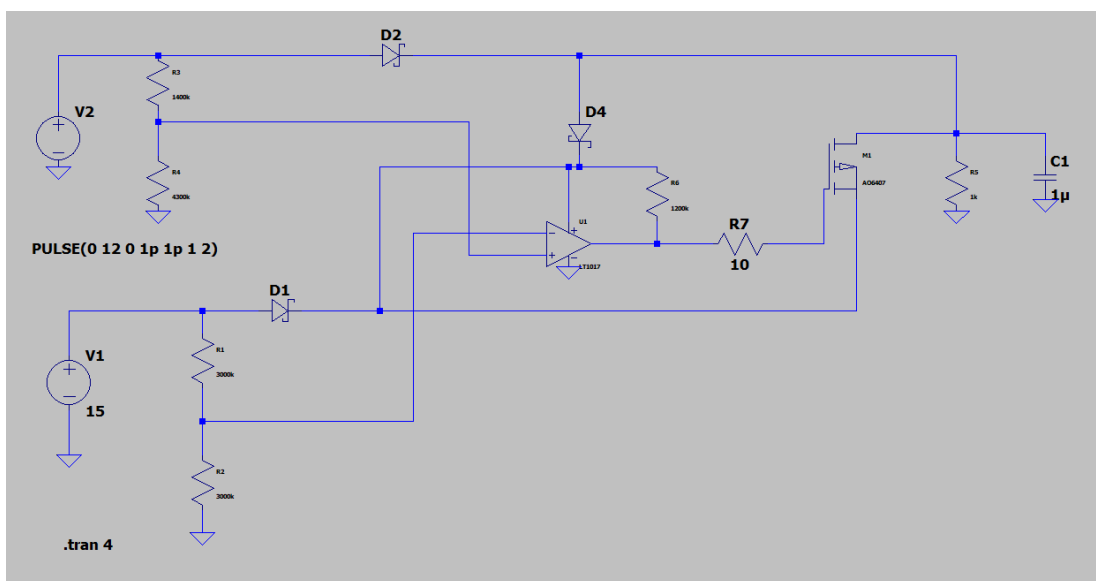


Рис 2.4.1 – Принципова схема резервного живлення в LTSpice.

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

ДК61.272115.001 ПЗ

Арк.

38

Після чого було перевірено її роботу. Під час моделювання основне джерело вимикалось та вмикалось, що викликало перехід на батарейне живлення. Графіки можна переглянути на рисунку 2.4.2. Синя лінія – це вихідна напруга. Зелена – напруга основного живлення. Червона – напруга батареї.

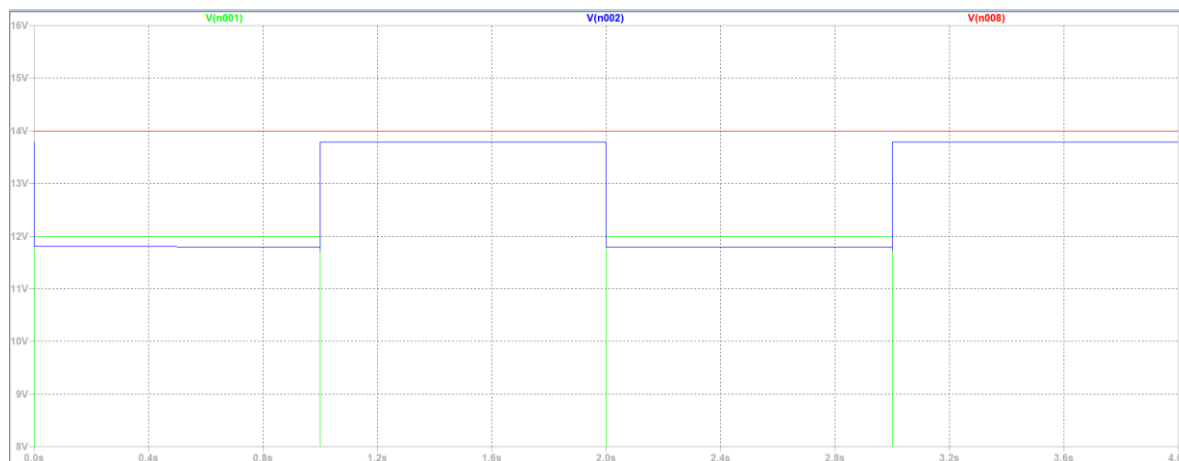


Рис 2.4.2 – Графіки, що показують роботу резервного живлення.

Робота схеми повністю задовольняє вимоги згідно технічного завдання.

Висновок до розділу

Головна мета, яку необхідно було досягнути в цьому розділі - це на основі технічного завдання спроектувати принципову схему.

Спершу, після аналізу ТЗ було створено структурну схему, яка зображала всі структурні елементи блоку керування та рівень взаємодії між ними.

Відповідно, на основі структурної схеми було по-кроково розроблено принципову схему з паралельним вибором елементної бази для кожного структурного блоку. Вибір компонентів відбувався спершу за технічними характеристиками, які вимагало ТЗ, а потім по ціновому критерію. Орієнтація була виключно на новітню елементну базу.

Після проектування схеми були зроблені необхідні розрахунки номіналів компонентів для забезпечення роботи схеми. Після чого було проведено симуляцію схеми резервного живлення в LTSpice. Симуляція показала очікувані результати.

Отже, спроектована схема повністю задовольняє вимогам з технічного завдання.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						40
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

При проектуванні друкованого вузла будуть враховані можливості компанії по виготовленню друкованих вузлів JLPCB [51], яка на сьогодні виготовляє в короткі терміни за невелику ціну високої якості плати.

3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати

Друкована плата – діелектрична (склотекстоліт, сапфір, кераміка, гетинакс текстоліт, ситал) пластина, на яку наноситься шар провідника у вигляді сформованих доріжок та малюнків посадкових місць, до яких припаюються електронні компоненти.

Друковані плати поділяють за кількістю провідникових шарів на:

- Одношарові ОДП;
- Двошарові ДДП;
- Багатошарові БДП.

Одношарові плати - це плати, у яких тільки один провідниковий шар. В професійних схемах вже ніколи не використовуються. На даний момент такий тип плати використовується тільки в аматорських проектах, в яких виготовляють друковані плати самі для себе через відносно легкий технологічний процес виготовлення.

Двошарові плати – це плати, у яких два провідникових шари. Найбільш поширені у використанні для простих проектів. Складність виготовлення не набагато важча за ОДП, тому ціна виготовлення дуже низька та складає близько 40 \$ на м². ДДП дозволяє значно збільшити щільність монтажу у порівнянні з ОДП.

Багатошарові плати – це плати, у яких 4 і більше провідникових шари. Використовуються у випадках, коли треба досягти якомога більшої щільності розміщення компонентів та зменшення впливу електромагнітних завад, паразитних ємностей та індуктивностей на живлення. Ціна на такі плати зі

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		41

збільшенням кількості шарів росте експоненційно. Вже за 4 шари вимагають близько 80\$ за м², що в два рази більше за двошарові плати.

Згідно до технічного завдання розміри плати можуть бути досить великі, до 150 на 150 мм. Велика щільність розміщення компонентів не потребується, пристрій не має високочастотних сигнальних дротів, тому двошарової плати буде більш ніж достатньо.

При виборі матеріалу згідно до ТЗ потрібно, щоб матеріал мав високі запаси міцності, мав великий опір діелектрика та витримував великий діапазон температур.

Оскільки жодних особливих умов та високочастотних ліній в роботі блока керування не передбачено, тому використання як матеріал друкованої плати сапфір чи кераміку є недоцільним. Матеріали такі як СЕМ-3, СЕМ-1, FR-1/FR-2 вже застаріли і практично не використовуються у зв'язку з їх поганими характеристиками. Найпоширеніший та найоптимальніший на сьогодні є матеріал FR-4 TG з температурою склування 130-140 °С [52]. Також цей матеріал використовується для виготовлення плат в компанії JLPCB, в якій планується виготовлення плати для даного друкованого вузла. Матеріал має таку популярність через його характеристики: робоча температура до 140 °С, міцність на вигин 345 МПа, тангенс втрат менше 0,02, пробивна напруга 50 кВ, поверхневий опір 10⁶ МОм, гігроскопічність 0,2 %. Всі ці характеристики роблять матеріал дуже зручним до використання у якості матеріалу для друкованих плат. Всі ці параметри повністю задовольняють вимоги згідно до технічного завдання.

Оскільки прилад буде використовуватись в домашніх умовах, то не потребує особливих умов до вібростійкості, тому візьмемо товщину матеріалу FR-4 1,5 мм. Це забезпечить зручне використання матеріалу при виготовленні друкованого вузла та забезпечить запас по віброміцності (у виключних ситуаціях) та зменшить ймовірність випадкового пошкодження плати.

Товщину фольги було обрано 35 мкм. Такої товщини цілком достатньо для забезпечення хорошої провідності для провідників з запасом надійності при шліфуванні.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Отже, було обрано двошарову друковану плату з матеріалу **FR4-35-1,5**.

3.2 Вибір класу точності друкованої плати

Клас точності друкованої плати передбачає структурування та визначення комплексу технологічних параметрів, які і визначають основні параметри плати.

В першу чергу, коли говорять про поділ на класи точності друкованого вузла, то мають на увазі значення мінімальної ширини друкованого провідника та відстань між елементами друкованого монтажу.

Документом ГОСТ 23571-86 визначено п'ять класів точності ДП. Значення параметрів кожного класу можна переглянути в таблиці 3.2.1. Оскільки обладнання теж має свою похибку, то розрахунки також необхідно робити з урахуванням похибок, які наведено в таблиці 3.2.2.

Таблиця 3.2.1 – Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{\text{пр}^r}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	Γ	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

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

ДК61.272115.001 ПЗ

Арк.

43

Таблиця 3.2.2 – Допустимі похибки виконання елементів ДМ

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

Оскільки в блоці керування є компонент мікроконтролер, у якого відстань між контактними майданчиками 0,2 мм, а ширина контакту 0,3 мм, то максимально можливою шириною доріжок є ширина, яка відповідає четвертому класу точності. Цей клас точності потребує високотехнологічного обладнання, але не такого дорогого, як для п'ятого класу і зустрічається вже у більшості виробників друкованих плат. Також четвертий клас точності це максимальний, який може виготовити компанія JLPCB. Крім того, для інших корпусів мікросхем можливе прокладання доріжок між контактними майданчиками.

Це значно спростить трасування та зменшить сумарну довжину сигнальних провідників. Але значення з таблиці 3.2.1 є мінімальним і стандарт не забороняє використовувати більшу ширину доріжок. Для зменшення паразитного опору, за можливістю, буде використовуватись ширина доріжки 0,2 мм. У випадку ліній живлення, де протікає значний струм, буде використовуватись мінімально необхідна ширина доріжок для кожного виду живлення. Необхідні розрахунки для цього буде проведено у підрозділі 3.5. Перехідні отвори використовуватися з діаметром 0,5 мм, але, за потребою, можна використати і менший. Мінімум можливим розміром для перехідного отвору є розмір 0,2 мм.

Тож було вирішено обрати четвертий клас точності друкованої плати. Вибір повністю задовольняє вимоги технічного завдання.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати

Метод виготовлення друкованої плати визначає яким чином буде відбуватись травлення міді, яка не буде використовуватись у якості посадкових місць та провідних доріжок.

Розглянемо позитивний та негативний метод.

Негативний метод зазвичай виконують на ранніх стадіях виготовлення, тому діелектрична основа піддається тривалій обробці розчинниками, що погіршує зчеплення з міддю.

Комбінований позитивний метод є більш сучасним і має декілька переваг, таких як: зменшення часу дії електролітів на діелектрик, що збільшує зчеплення з міддю, можливість створення плат з високою точністю, простота виготовлення перехідних отворів, що доречно для ДДП, яку ми використовуємо.

Отже, на основі вище зазначених даних, було вирішено для виготовлення ДП використати комбінований позитивний метод.

3.4 Розміщення компонентів

Одним із важливих етапів конструювання приладу є розміщення компонентів на платі. Фактично, від розміщення залежить собівартість виготовлення, так як чим оптимальніше буде виконана ця задача, тим менші будуть розміри плати і менша довжина зав'язків, що буде підвищувати надійність.

Виконуватись розміщення буде на основі таких критеріїв:

- Мінімальна сумарна довжина з'єднань;
- Близьке розташування взаємозв'язаних компонентів.

Описуватись розміщення дискретних компонентів, таких як: транзистори, конденсатори, резистори, світлодіоди - враховуватись не буде через їх малий розмір та малу кількість зв'язків. Також транзистори в рамках даної схеми є завжди частиною роз'ємів.

Кожний блок має зв'язки з живленням, тому зв'язки живлення враховуватись теж не будуть. Адже це додасть до кожного елемента по 2 зв'язки,

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		45

що тільки підвищить складність розміщення без жодного впливу на кінцевий результат.

Блок керування має в сумі 15 роз'ємів, дев'ять з них має один зв'язок з мікроконтролером. Кожен з цих роз'ємів вже розміщений на основі даних з технічного завдання і зміні положення не підлягає. Тому при розміщенні, роз'єми з одним зв'язком з контролером теж враховуватись не будуть. По причині малого впливу на сумарну довжину провідників у порівнянні з роз'ємами, які мають багато зв'язків. Враховуватись при розміщенні будуть лише роз'єми, які мають два і більше зв'язки з мікроконтролером.

Мікросхеми, які відповідають за живлення будуть розміщуватись у вільному форматі, якомога ближче до роз'ємів живлення.

Почнемо розміщення компонентів.

Маємо множину посадкових місць:

$$P = \{P1, P2 \dots P24\}$$

Та множину елементів, яка складається з роз'ємів та мікросхем:

$$X = \{XS1, XS2 \dots XS15, DD1, DD2 \dots DD6\}$$

Роз'єми XS7, XS8 розглядаються як один роз'єм через те, що XS8 не має жодного сигнального зв'язку і відповідає за живлення компоненту, який входить в структуру інкубатора. Початкове розміщення мають всі роз'єми крім XS9. Його потрібно встановити в кінці, адже він має лише один зв'язок і його розташування не є критичним.

Початкове розміщення компонентів можна переглянути на рисунку 3.4.1.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		46



Рисунок 3.4.1 – Початкове розміщення елементів

Червоним виділено роз'єми для живлення. Почнемо розміщення зі встановлення мікросхем, які відповідають за формування живлення, а саме мікросхеми DD3, DD2, DD1. Вони мають бути розміщені якомога ближче до роз'ємів живлення. Спершу встановимо DD1 у місце P14. Ця мікросхема відповідає за резервне живлення, тому має стояти найближче до роз'ємів. Після мікросхеми резервного живлення напруга йде на стабілізатори DD2 DD3, тому вони мають бути розміщені якомога ближче до DD1. У встановленні з мінімальними довжиною зв'язків є 2 варіанти: перший полягає у тому, щоб встановити DD3 в P15, а DD2 в P8 або навпаки. Оскільки мікросхема DD3 відповідає за живлення елементів XS13 та XS12 було вирішено помістити мікросхему DD3 в місце P8, а мікросхему DD2 в місце P15.

Отримали наступне розміщення компонентів(рис 3.4.2)

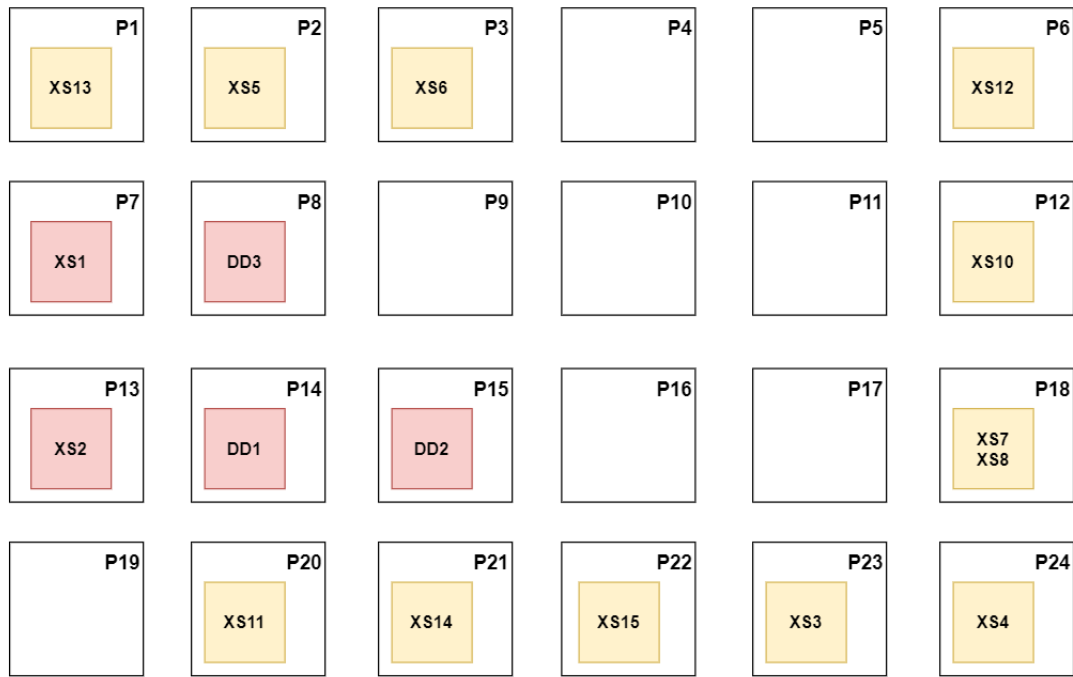


Рисунок 3.4.2 – Розміщення після розміщення мікросхем, які формують живлення

Наступна фаза розміщення - це складання матриці зв'язків. Як писалось раніше, через велику кількість роз'ємів в матрицю увійдуть елементи які мають хоча б два зв'язки один між одним. Матрицю можна переглянути в таблиці 3.4.1.

Таблиця 3.4.1 – Матриця зв'язків

	XS3	XS5	XS7/XS8	DD4	DD5	DD6	DD7
XS3	0	0	0	2	0	0	0
XS5	0	0	0	2	0	0	0
XS7/XS8	0	0	0	4	0	0	0
DD4	2	2	4	0	4	0	3
DD5	0	0	0	4	0	4	4
DD6	0	0	0	0	4	0	0
DD7	0	0	0	3	4	0	0
Сума	2	2	4	15	12	4	7

Розміщення буде відбуватись послідовним алгоритмом [33].

Вже розміщено початковими умовами роз'єми XS3, XS5, XS7/XS8.

Найбільшу кількість зв'язків має мікросхема DD4. Це мікроконтролер, тому спочатку встановимо його на плату. Він має хоча б 1 зв'язок з усіма роз'ємами. Роз'єми XS7 та XS3 знаходяться поряд на монтажній площині. Також з роз'ємом XS7 мікроконтролер має найбільшу кількість зв'язків, тому DD4 має бути встановлено біля цих роз'ємів. Єдиний варіант - це встановлення в комірку P17.

Наступним компонентом по кількості зв'язків є компонент DD5 з 12 зв'язками. З цих зв'язків більшість компонентів ще не встановлена, тому зв'язки є тільки з компонентом DD4. Отже, цей компонент потрібно встановити поряд з компонентом DD4. Є 2 варіанти розміщення. В комірку P16 або в комірку P11. Оскільки цей компонент має ще 8 не встановлених зв'язків з двома різними компонентами, то цей компонент повинен мати біля себе ще, як мінімум, дві вільні комірки для встановлення елементів. Ця умова не виконується при встановленні в комірку P16, тому було виконане встановлення в комірку P11.

Наступний компонент, який має найбільшу кількість зв'язків - це DD7. Він має три зв'язки з DD4 і чотири зв'язки з DD5, тому цей компонент має бути встановлений поряд з DD5 і по діагоналі з компонентом DD4, щоб забезпечити мінімальну кількість зв'язків. Єдина вільна комірка, яка виконує умови - це P10, тому встановлення виконане в цю область.

Остання мікросхема, яку потрібно розмістити - це DD6. Тут все просто - має 4 зв'язки з DD5, тобто повинна бути розміщена поряд з нею. Єдина вільна комірка, що залишилась - це P5. Тому розміщення відбулось саме в цю комірку.

Останнім елементом для розміщення залишився роз'єм XS9. Він має один зв'язок з DD4, тому має встановитись якнайближче до нього. Єдина вільна комірка, яка залишилась біля цієї мікросхеми - це P16, тому розміщення виконане туди.

Кінцевий варіант розміщення можна переглянути на рисунку 3.4.3. Зображені зв'язки, лише у яких дві і більше лінії для того, щоб не навантажувати схеми. Кожен роз'єм має як мінімум один зв'язок з DD4.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

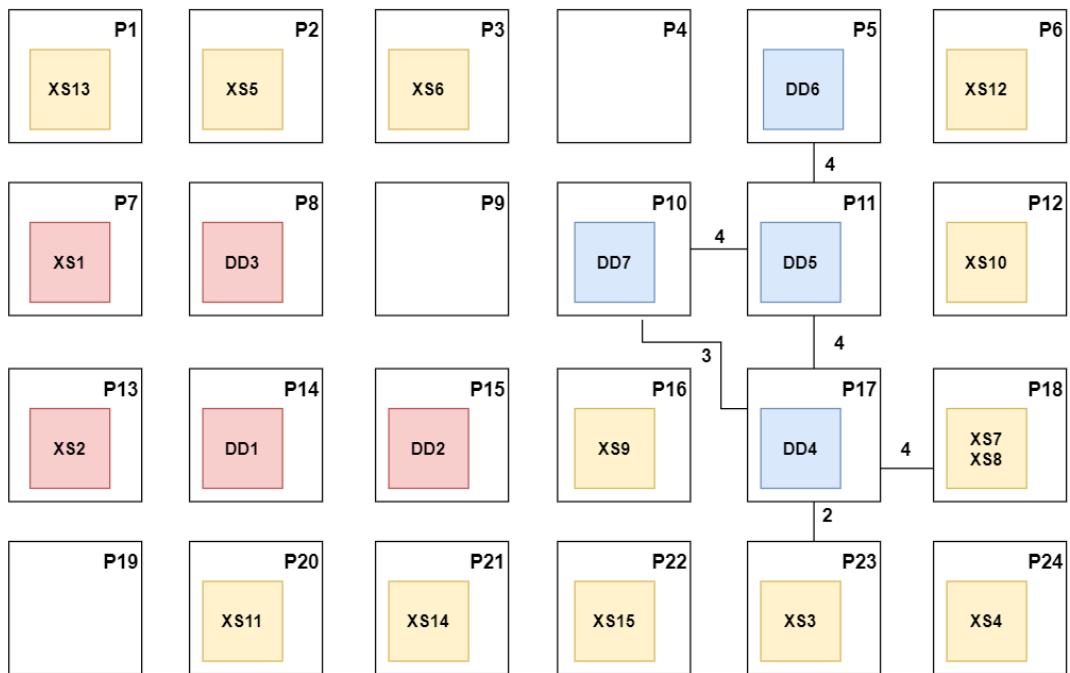


Рисунок 3.4.3 – Кінцевий варіант розміщення

Усі інші компоненти буде розміщено на вільних монтажних просторах. Фільтруючі конденсатори будуть розміщені якнайближче до входу живлення на мікросхемі.

Розміщення в даному форматі на рисунку 3.4.3 є оптимальним і дозволить зменшити сумарну довжину провідників, що підвищить надійність та зменшить фізичні розміри плати.

3.5 Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ

Розрахунки виконують по методиці згідно з ГОСТ 23751-86.

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника з урахуванням постійного струму для ланцюгів живлення та землі.

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму b_{min} (мм) для ланцюгів живлення та “землі” визначається виразом:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \times t_{пров}}, \quad (3.5.1)$$

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

$j_{доп}$ - допустима щільність струму для ДП, що виготовлені комбінованим позитивним методом, $\frac{A}{mm^2}$, за ОСТ 4.010.022-85 $j_{доп} = 48 \frac{A}{mm^2}$;

$t_{пров}$ – товщина друкованого провідника, що визначається виразом (3.5.2), мм.

Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом.

Згідно методу виготовлення:

$$t_{пров} = h_{ф} + h_{ГМ} + h_{ХМ}, \quad (3.5.2)$$

де $h_{ф}$ - товщина фольги та залежить від матеріалу, $h_{ф} = 0,035$ мм;

$h_{ГМ}$ - товщина шару гальванічно осадженої міді, $h_{ГМ} = 0,055$ мм;

$h_{ХМ}$ - товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{ХМ} = 0,0065$ мм.

$$t_{пров} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,097 \text{ мм}$$

Параметр I_{max} у виразі (3.5.1) визначається як сума струмів, що споживають всі активні елементи схеми. В схемі блоку керування є три різні лінії живлення: 12 В – вхідна основна та 5 В і 3.3 В які приймаються з DC-DC перетворювачів. Для кожної групи мінімальна ширина провідника буде рахуватися окремо.

Спершу визначимо споживання в перетворювачів. Відповідну інформацію можна знайти в таблицях 3.5.1 для напруги живлення 3,3 В та в таблиці 3.5.2 для напруги живлення 5 В.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5.1 – Споживання для напруги живлення 3,3 В

Напруга живлення, В	3,3
Найменування	Споживання, мА
HL2	15
HL3	15
Температурний сенсор (XS3)	10
OLED екран (XS5)	50
WI-FI модуль (DD7)	500
Пам'ять (DD6)	4
Елемент АБО (DD7)	50
Мікроконтролер (DD4)	200
Сума	844
Загальна потужність, Вт	2,7852
Споживання при 12В, А	0,2321

Таблиця 3.5.2 – Споживання для напруги живлення 5 В

Найменування	Споживання, А
Випаровувач (XS12)	1
Випаровувач (XS13)	1
HL1	0,015
Сума	2,015
Загальна потужність, Вт	10,075
Споживання при 12В, А	0,839583333

Тепер ми маємо повні дані для того, щоб створити таблицю споживання для напруги живлення 12 В. Сама таблиця наведена в таблиці 3.5.3.

Таблиця 3.5.3 – Споживання для напруги живлення 12 В

Найменування	Споживання, А
DC-DC-5V(DD3)	1
DC-DC-3.3V(DD2)	0,3
Нагрівальні елементи (XS14, XS15)	3
Вентилятори(XS10, XS11)	1
Кроковий двигун(XS8)	2
Світлодіодна стрічка(XS4)	1
Компаратор(DD1)	0,0004
Сума	8,3004
Загальна потужність, Вт	99,6048

Тепер можемо порахувати мінімальну ширину провідника за струмом для кожної напруги.

Для 12 В

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \times t_{пров}} = \frac{8,3004}{48 \times 0,097} = 1,783 \text{ мм}$$

Для 5 В

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \times t_{пров}} = \frac{2,015}{48 \times 0,097} = 0,433 \text{ мм}$$

Для 3.3 В

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \times t_{пров}} = \frac{844 \times 10^{-3}}{48 \times 0,097} = 0,18 \text{ мм}$$

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

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

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{t_{пров} * U_{доп}}, \quad (3.5.3)$$

де ρ - питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, $\rho = 0,0175 * \frac{\text{ом*мм}^2}{\text{м}}$;

$L_{пров}$ - довжина найдовшого друкованого провідника на ДП, м;

$U_{доп}$ - допустиме падіння на пруги на друкованому провіднику $U_{доп} = 5\% * E_{п}$, В.

В даній роботі присутні відразу три напруги живлення, тому розрахунки виконались для трьох різних провідників з різними падіннями напруги та для найдовшого сигнального провідника, оскільки в сигнальному провіднику не потрібно пропускати великий струм.

Для напруги живлення 12В

$$L_{пров} = 0,4 \text{ м}$$

$$U_{доп} = 0,05 * 12 = 0,6 \text{ В}$$

$$I_{max} = 8,3 \text{ А}$$

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{t_{пров} * U_{доп}} = \frac{0,0175 * 8,3 * 0,4}{0,097 * 0,6} = 0,998 \text{ мм}$$

Для напруги живлення 5 В

$$L_{пров} = 0,079 \text{ м}$$

$$U_{доп} = 0,05 * 5 = 0,25 \text{ В}$$

$$I_{max} = 2,015 \text{ А}$$

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{t_{пров} * U_{доп}} = \frac{0,0175 * 2,015 * 0,079}{0,097 * 0,25} = 0,1149 \text{ мм}$$

Для напруги живлення 3,3 В

$$L_{пров} = 0,415 \text{ м}$$

$$U_{доп} = 0,05 * 3,3 = 0,165 \text{ В}$$

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		54

$$I_{max} = 0,844 \text{ А}$$

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{t_{пров} * U_{доп}} = \frac{0,0175 * 0,844 * 0,415}{0,097 * 0,165} = 0,383 \text{ мм}$$

Для сигнальних ліній

$$L_{пров} = 0,149 \text{ м}$$

$$U_{доп} = 0,05 * 3,3 = 0,165 \text{ В}$$

$$I_{max} = 10 \text{ мА}$$

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{t_{пров} * U_{доп}} = \frac{0,0175 * 10 * 10^{-3} * 0,149}{0,097 * 0,165} = 0,00163 \text{ мм}$$

Враховавши розрахунки максимального постійного струму та максимального падіння напруги, а також фізичної можливості вмістити на плату провідники певних розмірів, було обрані такі значення ширини провідників:

- Для 12В: 2мм з запасом від 1,73мм який було отримано в розрахунку за постійним струмом;
- Для 5В: 0,6мм з запасом від 0,1149мм, який було отримано з розрахунку максимального падіння напруги;
- Для 3,3В: 0,6мм з запасом від 0,383мм, який було отримано з розрахунку максимального падіння напруги;
- Для сигнального провідника: 0,23мм з урахуванням ефекту підтривлення.

Визначення номінального діаметру монтажного отвору

Визначення відбувається за формулою:

$$d \geq d_{вс} + \Delta d_{мо} + r, \quad (3.5.4)$$

де $d_{вс}$ - діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору, мм;

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		55

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

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

Якщо цього дотриматись, то вийде якісне заповнення МО при пайці та оптимальна вага цієї пайки.

Блок керування має три різні елементи, які потребують монтажного отвору.

Це три типи роз'ємів:

- KF301 у якого $d_{\text{вс}} = 1$ мм;
- JST-ХН-2m54 у якого $d_{\text{вс}} = 0,9$ мм;
- MF42-RP-02 у якого $d_{\text{вс}} = 1,5$ мм.

Розрахуємо для кожного елемента значення d :

Для KF301 $d \geq 1 + 0,1 + 0,2 = 1,3$ мм

Для JST-ХН-2m54 $d \geq 0,9 + 0,1 + 0,2 = 1,2$ мм

Для MF42-RP-02 $d \geq 1,4 + 0,1 + 0,2 = 1,7$ мм

Для CR2025 $d \geq 1,2 + 0,1 + 0,2 = 1,5$ мм

Посадкові місця для цих компонентів були створені з урахуванням даних параметрів. Відповідно було встановлені наступні значення для отворів:

Для KF301 $d = 1,4$ мм

Для JST-ХН-2m54 $d = 1,2$ мм

Для MF42-RP-02 $d = 1,8$ мм

Для CR2025 $d = 1,6$ мм

Визначення діаметру контактної майданчику

Діаметр контактної майданчику визначається за формулою:

$$D_{\text{min}} = D_{\text{min}1} + 1,5h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (3.5.4)$$

де $D_{\text{min}1}$ – мінімальний ефективний діаметр контактної майданчику, мм;

$h_{\text{ф}}$ – товщина мідної фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035$ мм.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		56

Мінімальний ефективний діаметр контактної майданчику розраховується за формулою:

$$D_{min1} = 2(b_{по} + \delta_0 + \frac{d_{max}}{2} + \delta_{км}), \quad (3.5.5)$$

де d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП, мм;
 $b_{по}$ – ширина пояса КМ, для четвертого класу точності $b_{по} = 0,05$ мм;
 $\delta_{км}$ – похибка розташування центру отвору відносно вузла КМ відносно КС, для четвертого класу точності $\delta_{км} = 0,05$ мм;
 δ_0 – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, для четвертого класу точності $\delta_0 = 0,07$ мм.

Максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП визначається за формулою:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (3.5.6)$$

де d – діаметр просвердленого отвору, мм;
 Δd – відхилення від номінального діаметру отвору, $\Delta d = 0,05$ мм.

Тепер в нас є всі формули для підрахунку. Оскільки в блоці керування використовується три різні роз'єми, тому розрахунок буде проводитись теж для трьох роз'ємів.

Для KF301:

$$d_{max} = 1,4 + 0,05 + 0,15 = 1,6 \text{ мм}$$

$$D_{min1} = 2*(0,05 + 0,07 + \frac{1,5}{2} + 0,05) = 1,94 \text{ мм}$$

$$D_{min} = 1,84 + 1,5*0,035 + 0,03 = \mathbf{2,0225 \text{ мм}}$$

Для JST-ХН-2m54:

$$d_{max} = 1,2 + 0,05 + 0,15 = 1,4 \text{ мм}$$

$$D_{min1} = 2*(0,05 + 0,07 + \frac{1,4}{2} + 0,05) = 1,74 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = 1,74 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,8225 \text{ мм}$$

Для MF42-RP-02:

$$d_{\max} = 1,8 + 0,05 + 0,15 = 2 \text{ мм}$$

$$D_{\min 1} = 2 \cdot (0,05 + 0,07 + \frac{1,9}{2} + 0,05) = 2,34 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = 2,24 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,4225 \text{ мм}$$

Для CR2025

$$d_{\max} = 1,6 + 0,05 + 0,15 = 1,8 \text{ мм}$$

$$D_{\min 1} = 2 \cdot (0,05 + 0,07 + \frac{1,9}{2} + 0,05) = 2,14 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = 2,24 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,2225 \text{ мм}$$

Таким чином були розраховані мінімальні значення діаметру контактного майданчику. З врахуванням розрахунків, що виконані вище було вирішено встановити такі діаметри контактних майданчиків.

$$\text{Для KF301 } D = 2,5 \text{ мм}$$

$$\text{Для JST-ХН-2m54 } D = 2,1 \text{ мм}$$

$$\text{Для MF42-RP-02 } D = 3 \text{ мм}$$

$$\text{Для CR2025 } D = 2,5 \text{ мм}$$

Максимальна ширина контактного майданчику:

$$D_{\max} = D + 0,02 = 3 + 0,02 = 3,02 \text{ мм}$$

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника з урахуванням ефекту підтравлення

$$b_{\min} = b_{\text{пр}^r} + 1,5h_{\phi} + 0,03, \quad (3.5.7)$$

де $b_{\text{пр}^r}$ - мінімальна ширина провідника, мм.

Мінімальна ширина провідника для четвертого класу точності ДМ:

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		58

$$b_{\text{пр}} = 0.15 \text{ мм}$$

Отже:

$$b_{\text{min}} = b_{\text{пр}} + 1.5h_{\text{ф}} + 0.03 = 0.15 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 0.23 \text{ мм}$$

Максимальна ширина провідника:

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

Визначення мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком

Мінімальна відстань між провідником та контактним майданчиком визначається за формулою:

$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right), \quad (3.5.8)$$

де L_0 - відстань між центрами отвору та друкованого провідника, що є кратним кроку КС, $L_0 = 1,9$ мм (найгірший випадок);

$b_{\text{км}}$ - ширина КМ, мм;

$b_{\text{пр}}$ - ширина провідника, мм;

$\delta_{\text{км}}$ - похибка розташування центру КМ відносно КС, $\delta_{\text{км}} = 0,05$ мм;

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

$$l_{\text{ПКМ min}} = 1.9 - \left(\frac{3,02}{2} + 0.05 + \frac{0.25}{2} + 0.05 \right) = 0,165 \text{ мм}$$

Визначення мінімальної відстань між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)

$$l_{\text{пп min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2\delta_{\text{сп}}) \quad (3.5.9)$$

$$L_0 = 1.9 \text{ мм}$$

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

$$l_{пп\ min} = 1,9 - (0.25 + 2 * 0.05) = 1,55\ \text{мм}$$

Визначення мінімальної відстані між двома контактними майданчиками

$$l_{КМ\ min} = L'_0 - (D_{max} + 2\delta_{КМ})$$

де L'_0 – відстань між центрами сусідніх КМ, $L'_0 = 5,5$ мм.

$$l_{КМ\ min} = L'_0 - (D_{max} + 2\delta_{КМ}) = 5.5 - (3.02 + 2 * 0.05) = 2,38\ \text{мм}$$

Визначення розмірів прямокутного КМ

Щоб пайка була виконана правильно при будь-якому способі пайки, ширина КМ робиться на 0,2 мм більше від розміру виводу. Тобто по 0,1мм на кожную сторону.

Величина виступу залежить від способу пайки, але, в цілому, він має бути більший за 0,3 мм. Робити виступ більше 1мм недоцільно, бо припій розтечеться на весь майданчик і не утвориться капля. Це зменшить надійність.

В даній роботі різні виводи, але якщо, наприклад, вивід 1 мм х 2 мм, то КМ має бути мінімум 1,2 мм х 2,3 мм.

3.6 Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer

Altium Designer – САПР професійного рівня, що надає широкі можливості розробнику для створення електронних пристроїв високої складності. На відмінно від багатьох інших САПР Altium Designer є максимально комплексною та забезпечує розробника можливістю пройти повний цикл розробки друкованих вузлів в межах однієї програми без застосовування допоміжних. Розробнику надаються повні можливості із розробки електричних принципових схем, додавання реалістичних моделей та перегляд плати у 3D, генерація 3D моделей автогенератором за заданими розмірами корпусу, проектування та трасування друкованих плат з різною кількістю шарів (ОДП, ДДП та БДП) та генерація всієї можливої конструкторської документації на пристрій, який було спроектовано.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

В ході розробки курсового проекту було використано такі можливості САПР:

- Створення бібліотеки умовно графічних позначень компонентів;
- Створення бібліотеки посадкових місць й прикріплення до них реалістичних 3д моделей корпусів;
- Створення схеми електричної принципової;
- Трасування ДДП;
- Створення конструкторської документації.

Створення проекту друкованого вузлу

Першим кроком в розробці друкованого вузлу є створення проекту, де буде міститись вся необхідна документація та бібліотеки, які будуть використовуватись. Звичайно, що зручно, якщо все потрібне пов'язане з проектом знаходиться в одному місці. В даній ситуації таким місцем є PCB Project, який об'єднує все, що пов'язано з проектом в собі. Там можуть бути бібліотеки УГП, бібліотеки контактних майданчиків, схеми електричні принципів. Готове трасування. Якщо узагальнити, то весь процес розробки знаходиться саме в цьому зручному контейнері, який створюється на початку нового проектування в САПР Altium Designer

Створення бібліотеки умовних графічних позначень

За замовчуванням Altium Designer містить у собі багато готових бібліотек для багатьох різних компонентів з різних стандартів. Але дуже часто трапляється, що в якійсь бібліотеці не повний лістинг компонентів. Особливо часто трапляється, що немає якихось специфічних компонентів накреслених по стандарту. Також кожна компанія може виставити свій стандарт. Тому було вирішено відразу зробити свою особисту бібліотеку УГП компонентів. В даній САПР це робиться доволі швидко і зручно. В даному проекті було створено 26 УГО елементів.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		61

Створення бібліотеки посадкових майданчиків

За замовчуванням Altium Designer має багато бібліотек готових посадкових майданчиків під найрозповсюдженіші моделі корпусів. Але дуже часто буває, що потрібно використати якийсь специфічний компонент, якого немає в жодній бібліотеці. Тому було створено особисту бібліотеку посадкових майданчиків для всіх електричних компонентів, використаних у блоці керування. Також до кожного посадкового місця було приєднано реалістичну 3D модель. САПР може згенерувати по заданим характеристикам її самостійно або імпортувати вже готову .step модель. У даній роботі було використано обидва методи.

Створення схеми електричної принципової

За допомогою вбудованого у САПР редактора принципівих схем, і з використанням бібліотеки УГП, яку було створено самостійно, було накреслено схему електричну принципову. Процедура є простою і являє собою послідовно додавання на креслення УГП компонентів та з'єднання їх лініями.

Трасування друкованої плати

Трасувати провідники можна двома методами. Перший метод - це автоматичне трасування. Полягає в тому, що програма сама трасує плату. Але результуюче трасування зовсім неоптимальне. Потрібно витратити велику кількість часу на редагування для досягнення оптимального результату.

Інший метод - це трасування вручну. Цей метод полягає в тому, що людина власноруч з'єднує провідники. Це займає доволі багато часу, але результат є оптимальним.

В даній роботі спочатку проводилось автоматичне трасування, але результат вийшов жахливий. Тому кінцевий варіант трасування робився вручну.

Висновок до розділу

Головною задачею в даному розділі було спроектувати друкований вузол.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						62
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

У якості типу було обрано двошарову друковану плату. Такі плати є дешевими у виробництві та дають можливість створити вузол з високою щільністю компонентів та з невеликою сумарною довжиною провідників. У якості матеріалу було обрано FR4-35-1,5. Він має прекрасні характеристики та є найрозповсюдженішим з матеріалів. Як метод виготовлення друкованої плати було обрано комбінований позитивний метод.

Для провідників було обрано четвертий клас точності. Виготовлення плат з таким класом точності є недорогим, бо не потребує спеціального надточного обладнання та дозволяє досягти високу щільність розміщення компонентів. Також провідників такого класу точності потребує мікроконтролер STM32F407VG через малі розміри його контактів.

Розміщення компонентів на монтажному просторі виконувалось за допомогою послідовного методу. Частина компонентів, а саме роз'єми, вже були розміщені у зв'язку з функціональними потребами пристрою. Іншу частину було розміщено за допомогою методу. Основним критерієм розміщенням була мінімізація сумарної довжини провідників та близьке розташування взаємозв'язаних компонентів.

Перед трасуванням проведено конструкторсько-технологічний розрахунок елементів друкованого монтажу.

Спершу було проведено розрахунок мінімальної ширини провідників. Оскільки в схемі існують різні напруги живлення, то розрахунок проводився для кожної окремо. В ході розрахунків було встановлено такі розміри для ширини доріжок:

Для 12В: 2мм;

Для 5В: 0,6 мм;

Для 3,3В: 0,6 мм;

Для сигнального провідника: 0,23 мм.

Також був розрахований мінімальний діаметр контактної майданчику. Оскільки в схемі чотири різні роз'єми, то розрахунок проводився для кожного окремо. Отримано такі результати:

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Для KF301 D = 2,5 мм;

Для JST-ХН-2m54 D = 2,1 мм;

Для MF42-RP-02 D = 3 мм;

Для CR2025 D = 2,5 мм.

Для проектування використовувався САПР Altium Designer через його зручність та великі функціональні можливості. Трасування виконувалось ручним методом.

В результаті було отримано готовий друкований вузол.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						64
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

4.1 Електричний розрахунок друкованої плати

В процесі виготовлення друкованого вузлу можуть виникнути паразитні явища, які можуть негативно впливати на роботу приладу.

Особливо сильно можуть бути виражені ці явища при збільшенні щільності розміщення, та зі зменшенням геометричних розмірів плати. Також ми можемо зустрітись з такими явищами при неякісному трасуванні. Наприклад, якщо ДДП провідники розміщені паралельно один до одного.

Основними характеристиками паразитичних явищ є індуктивність та ємність плати.

Вплив паразитних явищ виявляється в затримках під час перемикання логічних рівнів. Такі затримки утворюються в наслідок перезаряду паразитних індуктивностей та ємностей.

Плата виготовлена комбінованим позитивним методом. Розрахунок буде проводитись згідно ГОСТ Р 50621-93.

Розрахунок падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.

Падіння напруги на найдовшому провіднику розраховується за формулою нижче:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.1.1)$$

де ρ – питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу

виготовлення ДП, $\rho = 0.0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

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

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, мм. $t_{\text{пр}} = 0.097 \text{ мм}$;

I_{max} – максимальний струм провідника, А;

$b_{\text{пр}}$ - ширина провідника, мм.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Оскільки в схемі присутні три різні напруги живлення, то розрахунок буде проводитись для кожної напруги. Також додатково буде проведено розрахунок для найдовшого сигнального провідника через значну різницю в струмі, який протікає в провіднику живлення та сигнальному.

Для напруги живлення 12 В

$$L_{\text{пров}} = 0,4 \text{ м}$$

$$b_{\text{пр}} = 2 \text{ мм}$$

$$I_{\text{max}} = 8,3 \text{ А}$$

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 8,3 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,097} = 0,3 \text{ В}$$

Для напруги живлення 5 В

$$L_{\text{пров}} = 0,079 \text{ м}$$

$$b_{\text{пр}} = 0,6 \text{ мм}$$

$$I_{\text{max}} = 2,015 \text{ А}$$

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 2,015 \cdot 0,079}{0,6 \cdot 0,097} = 47,9 \text{ мВ}$$

Для напруги живлення 3,3 В

$$L_{\text{пров}} = 0,415 \text{ м}$$

$$b_{\text{пр}} = 0,6 \text{ мм}$$

$$I_{\text{max}} = 0,844 \text{ А}$$

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,844 \cdot 0,415}{0,6 \cdot 0,097} = 105,32 \text{ мВ}$$

Для сигнальних ліній

$$L_{\text{пров}} = 0,149 \text{ м}$$

$$b_{\text{пр}} = 0,23 \text{ мм}$$

$$I_{\text{max}} = 10 \text{ мА}$$

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		66

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 * 10 * 10^{-3} * 0,149}{0,23 * 0,097} = 1,2 \text{ мВ}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5 % від напруги живлення, такий результат повністю відповідає вимогам згідно до технічного завдання. Тобто ширина всіх провідників обрана правильно.

Розрахунок потужності втрат ДДП

Розрахунок потужності втрат ДДП розраховується за формулою.

$$P_{\text{вт}} = 2\pi f * C * E_{\text{п}}^2 * tg\sigma, \quad (4.1.2)$$

де f – частота, $f = 1$ Гц бо розрахунок проводиться на постійному струмі;
 $tg\sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу друкованої плати;
 $E_{\text{п}}$ – напруга живлення, $E = 12$ В , оскільки інші напруги живлення є нижчими;
 C – ємність друкованої плати.

Ємність розраховується за формулою:

$$C = \frac{0,009 * \varepsilon * S_m}{h}$$

де ε – діелектрична проникність, $\varepsilon = 4,5$ для FR-4;
 S_m – площа металізації, $S_m = 18604,5$ мм²;
 h – товщина друкованої плати, мм.

$$C = \frac{0,009 * \varepsilon * S_m}{h} = \frac{0,009 * 4,5 * 18604,5}{1,5} = 502,33 \text{ нФ}$$

Оскільки при виготовленні друкованого вузлу плата буде покриватись лаком, необхідно обрахувати $tg\sigma$ за формулою:

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

$$tg\sigma = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{мат.ДП}} * tg\sigma_{\text{мат.ДП}} + 2 * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * h_{\text{шару лаку}} * tg\sigma_{\text{лаку}}}{2 * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * h_{\text{шару лаку}} * \varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{мат.ДП}}}$$

де $\varepsilon_{\text{лаку}}$ – діелектрична проникність лаку УР-231 ТУ 6-21-14-90, $\varepsilon_{\text{лаку}} = 4.5$;
 $h_{\text{мат.ДП}}$ – товщина друкованої плати, $h_{\text{мат.ДП}} = 1.5 * 10^{-3}$ м;
 $tg\sigma_{\text{мат.ДП}}$ – тангенс кута діелектричних втрат матеріалу ДП, $tg\sigma_{\text{лаку}} = 0.002$;
 $\varepsilon_{\text{мат.ДП}}$ – діелектрична проникність FR4, $\varepsilon_{\text{мат.ДП}} = 4.5$;
 $h_{\text{шару лаку}}$ – товщина шару лаку, $h_{\text{шару лаку}} = 10 * 10^{-6}$ м;
 $tg\sigma_{\text{лаку}}$ – тангенс кута діелектричних втрат лаку УР-231 ТУ 6-21-14-90,
 $tg\sigma_{\text{лаку}} = 0.03$.

Обрахунки дають такий результат:

$$tg\sigma = \frac{4.5 * 1.5 * 10^{-3} * 0.002 + 2 * 4.5 * 10 * 10^{-6} * 0.03}{2 * 4.5 * 10 * 10^{-6} + 4.5 * 1.5 * 10^{-3}} = 0.0024$$

$$P_{\text{вт}} = 2\pi f * C * E_{\text{п}}^2 * tg\sigma = 2 * 3,14 * 1 * 502,33 * 10^{-9} * 12^2 * 0,0024 = 908,52 \text{ нВт}$$

Отриманий результат є мізерним, тому втратами можна знехтувати.

Розрахунок ємності між двома сусідніми провідниками, що розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину.

Розраховується за формулою:

$$C = 0,12 * \varepsilon * l_{\text{пр}} \left[\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.1.3)$$

де S – відстань між двома паралельними провідниками, мм;

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

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

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

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		68

Для блоку керування:

$$S = 0,2 \text{ мм}$$

$$b_{\text{пр}} = 0,23 \text{ мм}$$

$$t_{\text{пр}} = 0,097 \text{ мм}$$

$$l_{\text{пр}} = 95 \text{ мм (найгірший випадок)}$$

Оскільки плата покривається лаком, то діелектрична проникність зміниться і її треба перерахувати за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * (h_{\text{мат.ДП}} + 2 * h_{\text{шару лаку}})}{2 * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * h_{\text{шар лаку}} + \varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{мат.ДП}}},$$

де $\varepsilon_{\text{лаку}}$ – діелектрична проникність лаку УР-231 ТУ 6-21-14-90, $\varepsilon_{\text{лаку}} = 4,5$;

$h_{\text{мат.ДП}}$ – товщина друкованої плати, $h_{\text{мат.ДП}} = 1,5 \text{ мм}$;

$\varepsilon_{\text{мат.ДП}}$ – діелектрична проникність склотекстоліту FR4, $\varepsilon_{\text{мат.ДП}} = 4,5$;

$h_{\text{шар лаку}}$ – товщина шару лаку, $h_{\text{шар лаку}} = 10 * 10^{-6} \text{ м}$.

Розрахунки дають такий результат:

$$\varepsilon = \frac{4,5 * 4,5 * (1,5 * 10^{-3} + 2 * 10 * 10^{-6})}{2 * 4,5 * 10 * 10^{-6} + 4,5 * 1,5 * 10^{-3}} = 4,55$$

$$C = 0,12 * \varepsilon * l_{\text{пр}} \left[\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 * 4,55 * 95 \left[\lg \frac{2 * 0,2}{0,23 + 0,097} \right]^{-1} \\ = 586,3 \text{ пФ}$$

Розрахунок взаємної індуктивності двох паралельних друкованих провідників однакової довжини

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right), \quad (4.1.4)$$

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

L_0 - відстань між вісьовими лініями двох паралельних провідників, см.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		69

Для блоку керування:

$$l_{\text{пр}} = 9,5 \text{ см}$$

$$L_0 = 0,043 \text{ см}$$

$$M = 0,02 \left(9,5 \lg \frac{\sqrt{9,5^2 + 0,043^2} + 9,5}{0,043} - \sqrt{9,5^2 + 0,043^2} + 0,043 \right) \\ = 0,314 \text{ нГн}$$

В результаті електричного розрахунку було обчислено максимальне падіння напруги на провіднику, потужність втрат, взаємна ємність паралельних провідників та індуктивність.

Максимальне падіння напруги на провідниках не перевищувало 5 % від напруги живлення для всіх значень напруги живлення та сигнального провідника. Це повністю задовольнило поставлені в технічному завданні умови.

Потужність втрат склала 908,52 нВт. Це значення є дуже мізерним, тому ним можна знехтувати.

Взаємна ємність та індуктивність вийшли 586,3 пФ та 314 пГн відповідно. Ці значення є теж мізерними, тому впливати на роботу схеми не будуть.

4.2 Розрахунок надійності друкованого вузла

Згідно до ГОСТ 27.002 – 83, надійність — це властивість технічних об'єктів зберігати у встановлених межах часу значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Надійність пристрою залежить від якості виготовлення плати, якості пайки елементів схеми, та, найбільшою мірою, від якості роботи самих компонентів. Якщо вийде з ладу якийсь один компонент, то вийде з ладу весь пристрій. Розрахунки проводились за [53].

Найбільш точною оцінкою надійності конкретного радіоелектронного пристрою є його індивідуальна робота на відмову. На практиці, основними

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

показниками надійності друкованого вузлу є інтенсивність відмов $\lambda(t)$, середній час безвідмовної роботи T_{cp} , ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ та ймовірність відмов $Q(t)$.

Середній час безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_e}, \quad (4.2.1)$$

де λ_e – це інтенсивність відмов всього приладу, год⁻¹.

Інтенсивність відмов всього приладу – це сума інтенсивностей відмов кожного компоненту схеми. Розраховується за формулою:

$$\lambda_e = \sum_{i=1}^n \lambda_{ei} \quad (4.2.2)$$

Інтенсивність відмов λ_{ei} є характеристикою яка залежить від багатьох факторів таких як температура, вологість, теплові удари, вібрації, а також від робочого режиму.

Отже, можемо записати таке рівняння:

$$\lambda_e = \lambda_{0e} K_n K_1 K_2 \dots K_n, \quad (4.2.3)$$

де λ_{0e} - інтенсивність відмов елементу за нормальних умов роботи. Це базова величина, значення якої береться з документації [53], год⁻¹.

Нормальні умови роботи визначаються такими факторами:

- температура $T_{навк.серед} = 20 \pm 5^\circ C$;
- вологість - $65 \pm 15\%$;
- коефіцієнт електричного навантаження $K_n = 1$.

K_1, K_2, \dots, K_n - поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації приладу.

У якості поправочних коефіцієнтів візьмемо два основних:

a_e – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для кімнатної апаратури $a_e = 5$) [53];

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

a_t - поправочний температурний коефіцієнт.[54].

Також буде враховуватись коефіцієнт електричного навантаження для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов. Розраховується за формулою, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі роботи.

$$K_H = \frac{P_{роб}}{P_{ном}}, \quad (4.2.4)$$

Кінцева формула інтенсивності набирає наступного вигляду:

$$\lambda_e = \lambda_{0e} K_H a_t a_t N, \quad (4.2.5)$$

де N – кількість однакових компонентів.

Коефіцієнт електричного навантаження для багатьох компонентів різних через неоднакове навантаження і не є довідковою інформацією, тому будуть проведені ці розрахунки.

Розрахунки коефіцієнтів електричного навантаження

Резистори. Для резисторів коефіцієнт навантаження визначається за допомогою відношення потужності яка на ньому виділяється при роботі блоку керування до номінальної потужності резистора.

Найбільша потужність, яка виділяється на резисторах в даній схемі це 0,025 Вт. Номінальна потужність обраних резисторів корпусу 0805 це 0,125 Вт.

Порахуємо коефіцієнт навантаження за формулою:

$$K_{HR} = \frac{P_{роб}}{P_{ном}} = \frac{0,025}{0,125} = 0,2$$

Конденсатори. Для конденсаторів коефіцієнт навантаження визначається за допомогою відношення напруги до якої він заряджається в схемі до номінальної напруги конденсатору.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		72

В даній схемі присутні два види конденсаторів: електролітичний та керамічний, тому для кожного виду коефіцієнт навантаження буде обраховано окремо.

Найбільша напруга до якої можуть заряджатись конденсатори в схемі це 12 В. Номінальна напруга для електролітичних конденсаторів складає 25 В, а для керамічних 50 В.

Отже коефіцієнт навантаження для електролітичних конденсаторів:

$$K_{Hc} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{12}{25} = 0,48$$

Для керамічних конденсаторів:

$$K_{Hc} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{12}{50} = 0,24$$

Діоди. Для діодів коефіцієнт навантаження визначається відношенням струму, який протікає в діоді до його номінального струму. В схемі використовуються два типи діодів: силові, які мають витримувати струм до 8,3 А, та звичайні, які в схемі пропускають струм до 1 мА.

Отже коефіцієнт навантаження для силового діоду SM74611:

$$K_{HVD} = \frac{I_{роб}}{I_{ном}} = \frac{8,3}{15} = 0,56$$

Для діоду 1N5820:

$$K_{HVD} = \frac{I_{роб}}{I_{ном}} = \frac{0,001}{3} = 0,0004$$

Транзистори. Для транзисторів коефіцієнт навантаження визначається за відношенням струму, який протікає через нього, до його номінального струму, який він може пропускати. В схемі використовуються два типи транзисторів. Перший тип транзистору IPD90P03P4 має пропускати весь струм, що буде протікати в схемі – це 8,3 А. Інші транзистори AOD424 мають пропускати в схемі максимум 2 А.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		73

Отже коефіцієнт навантаження для транзистору IPD90P03P4:

$$K_{HVT} = \frac{I_{роб}}{I_{НОМ}} = \frac{8,3}{90} = 0,093$$

Для транзистору AOD424:

$$K_{HVT} = \frac{I_{роб}}{I_{НОМ}} = \frac{2}{45} = 0,045$$

Мікросхеми. Оскільки функціонал мікросхем використовується майже в повній мірі, то приймемо значення $K_H = 1$. Таким чином буде створений запас у розрахунках.

Решта компонентів. Коефіцієнт навантаження для решти компонентів буде встановлено як $K_H = 1$.

Інтенсивність відмов друкованої плати буде визначатися як інтенсивність відмов її металізованих отворів.

Для розрахунку сумарної інтенсивності відмов було складено таблицю 4.3.1.

Таблиця 4.3.1 – Показники надійності компонентів друкованого вузла

Компонент	N	λ_{0e} , год ⁻¹	K_H	ат	ае	
Конденсатори керамічні	34	0,022	0,24	0,4	10	0,71808
Конденсатори електrolітичні	19	0,173	0,48	0,2	10	3,15552
Резистори	35	0,044	0,2	0,2	10	0,616
Котушки індуктивності	2	0,179	1	0,4	10	1,432
Світлодіоди	3	0,025	1	1	10	0,75
Мікросхеми	7	0,025	1	1,2	10	2,1
Діоди SM74611	2	0,025	0,56	0,9	10	0,252
Діоди 1N5820	3	0,025	0,0004	0,9	10	0,00027

Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ДК61.272115.001 ПЗ

Арк.

74

Кінець таблиці 4.3.1

Компонент	N	λ_{0e} , год ⁻¹	K_H	a_T	a_e	
Транзистори IPD90P03P4	1	0,044	0,093	0,9	10	0,036828
Транзистори AOD424	7	0,044	0,045	0,9	10	0,12474
Плата друкована	2	0,001	1	1	10	0,02
Металізовані отвори	194	0,000017	1	1	10	0,03298
Контакти роз'ємів	34	0,015	1	1	10	5,1
Пайка виводу	449	0,000069	1	1	10	0,30981
Сумарна інтенсивність						14,64823

Показники базової інтенсивності відмов взяті з завищення для отримання більш песимістичної оцінки наробітку на відмову. Таким чином отримані дані будуть давати гарантію, що прилад буде працювати як мінімум середній час напрацювання.

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивностей відмов окремих компонентів:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} = 14,64823 \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$$

де $\lambda_{pi} = N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_H \cdot a_T \cdot a_e$ інтенсивність відмов кожного окремого компоненту, год⁻¹.

Середній час напрацювання до першої відмови розраховується за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{14,64823 \cdot 10^{-6}} = 68267,6 \text{ год}$$

Середній час напрацювання складає 7,9 років. Згідно технічного завдання пристрій має працювати як мінімум 5 років. Умови виконуються з запасом.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-14,64823 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,87957 \quad (4.2.6)$$

Ймовірність відмов протягом року:

$$Q(t) = 1 - 0,88085 = 0,12043 \quad (4.2.7)$$

Таблиця 4.3.2 – Ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови протягом часу T

T	P(T)	Q(T)
1	0,999985	1,46E-05
10	0,999854	0,000146
100	0,998536	0,001464
1000	0,985459	0,014541
10000	0,863741	0,136259
50000	0,480748	0,519252
100000	0,231119	0,768881
1000000	4,35E-07	1
10000000	2,42E-64	1
100000000	0	1

Графічна інтерпретація таблиці зображена на рис 4.2.1.

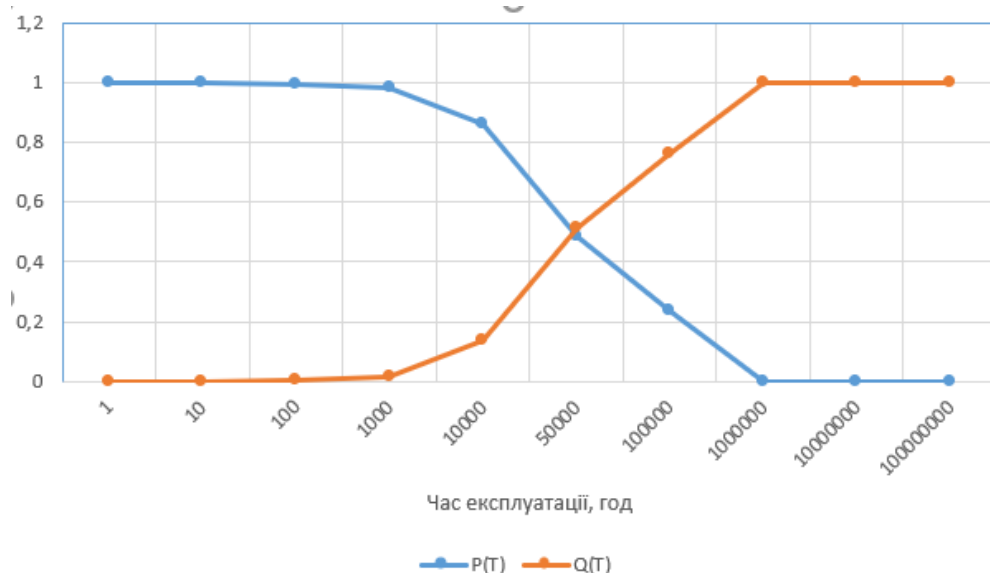


Рисунок 4.2.1 – Графічна інтерпретація ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови протягом часу T

Згідно до рисунку вище графіки перетинаються на відмітці у 50000 годин, що відповідає більш ніж п'яти рокам безвідмовної роботи. Отриманий графічний результат середнього часу напрацювання відповідає раніше порахованому значенню $T_{\text{ср}}$, тому результати можна вважати коректними. Варто зауважити, що в рамках даного дипломного проекту враховано показники лише раптових змін. Розрахунки ж поступових відмов не передбачені згідно до технічного завдання.

Найбільшими чинниками, що погіршують надійність, є велика кількість роз'ємів та велика кількість електролітичних конденсаторів.

Для покращення надійності, електролітичні конденсатори можна замінити на більш сучасні танталові.

Велику кількість роз'ємів, оптимізувати не вийде, бо вони необхідні згідно до технічного завдання. Однак, замість самих роз'ємів можна використати просту пайку прямо до плати. Такий підхід значного підвищить надійність всього приладу, але, в такому разі, прилад стане набагато важчим в експлуатації та буде мати погану ремонтпридатність.

4.3 Розрахунок віброміцності друкованого вузла

Розрахунок проводився за [54].

Основна ціль розрахунку це знаходження власної частоти. У випадку, якщо власна частота більша за 250 Гц, то конструкція є абсолютно жорсткою. В іншому випадку необхідно буде додатково розрахувати такі характеристики як амплітуду вібрацій на власній частоті або динамічний прогин.

Основні матеріалу FR-4:

- Питома щільність $\nu = 20500 \text{ Н/м}^2$;
- Модуль Юнга $E = 3,02 \cdot 10^{10} \text{ Па}$;
- Густина матеріалу $\rho = 2,05 \text{ г/см}^3$;
- Коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,22$.

Плата блоку керування інкубатором має такі габаритні розміри: $a = 10,5 \text{ см}$, $b = 13,5 \text{ см}$, $h = 0,15 \text{ см}$.

Спершу буде знайдено масу плати за формулою:

$$m_{\text{дп}} = \rho * a * b * h = 2,05 * 10,5 * 13,5 * 0,15 = 43,59 \text{ г} \quad (4.3.1)$$

Тепер потрібно знайти масу всіх елементів які використовуються в схемі. Маси елементів наведені в таблиці 4.3.1.

Таблиця 4.3.1. Маса елементів.

Елемент	Позначення	Кількість	Маса, г	Загальна маса, г
Мікросхеми	LM393	1	0,0774	0,0774
	AP1509-50SG-13	1	0,0774	0,0774
	AP1509-33SG-13	1	0,0774	0,0774
	STM32F407VG	1	1,3	1,3
	74HC32	1	0,1292	0,1292
	W25Q128FV	1	0,0774	0,0774
	ESP-WROOM-02	1	16,845	16,845

Кінець таблиці 4.3.1

Елемент	Позначення	Кількість	Маса, г	Загальна маса, г
Резистори	R-0805	35	0,04	1,4
Конденсатори	C-0805	34	0,04	1,36
	C-EL-4x5.4	13	0,3	3,9
	C-EL-8x10	6	0,86	5,16
Світлодіоди	LED-0805	3	0,05	0,15
Діоди	SM74611	2	1,67312	3,34624
	1N5822	3	0,093	0,279
Котушки	CD127R	2	3,6	7,2
Роз'єми	KF301	2	2,5	5
	MF42-RP-02	9	0,812	7,308
	JST-XH-2m54-4	3	0,125	0,375
	CR2025	1	2	2
Транзистори	IPD90P03P4-04	1	0,29	0,29
	AOD424	7	0,33	2,31
Сума				58,66204

Отже сумарна маса елементів $m_E = 58,66204$ г.

Плату до корпусу було закріплена на 4 сторони, нежорстке спірання.

Наведемо необхідні обчислення для знаходження власної частоти.

Коефіцієнт K_B визначається за формулою:

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_E}{m_{ДП}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{58,66204}{43,59}}} = 0,653$$

Коефіцієнт α для кріплення на 4 сторони визначається за формулою:

$$\alpha = \pi^2 * \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) = 9,86 * \left(1 + \frac{0,105^2}{0,135^2}\right) = 15,82$$

Циліндрична жорсткість визначається за формулою:

$$D = \frac{E * h^3}{12 * (1 - \mu^2)} = \frac{3,02 * 10^{10} * 0,015^3}{12 * (1 - 0,22^2)} = 8,93 \text{ Н} * \text{м}$$

Усі необхідні параметри для розрахунку власної частоти друкованої плати вже розраховані, тому розрахуємо власну частоту.

Розраховується власна частота друкованої плати за формулою:

$$f = \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{v * h}} = \frac{0,653 * 15,82}{2 * 3,14 * 0,105^2} * \sqrt{\frac{8,93 * 9,81}{20500 * 0,015}} = 251,81 \text{ Гц}$$

Отже частота власних коливань перевищує 250Гц, тому конструкція є абсолютно жорсткою. Додаткові розрахунки робити не потрібно.

Отже, обраний тип кріплення повністю задовольняє умови по віброміцності. У додаткових заходів для підвищення віброміцності необхідності немає.

4.4 Розрахунок теплового режиму

В схемі блоку керування найбільшому навантаженню по струму піддаються діоди SM74611 в корпусі ТО-263 та транзистор IPD90P03P4-04 в корпусі ТО-252. Кожний з цих компонентів має пропускати струм 8,3А, що є доволі багато, тому для цих компонентів тепловий розрахунок є обов'язковий.

Транзистори AOD424, які теж виконані в корпусі ТО-252 в схемі мають пропускати струм до двох ампер, тому розрахунок теж потрібний.

Температурні показники елементів в технічному завданні не визначені, тому визначимо це самостійно.

Максимальна робоча температура кристалу для всіх перелічених компонентів 150 °С. Але робота при температур більше 80 °С може призвести до швидкої деградації плати та компонентів. Також при тривалій роботі за таких температурах може статися плавлення припою, при використанні низькотемпературних припоїв. Крім того, надзвичайно високі температури в блоці

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		80

керування інкубатором, можуть призвести до паразитного нагрівання частини інкубаційної камери де буде знаходитись блок керування. Враховуючи всі вище перелічені проблеми, нехай максимальна дозволена температура нагрівання компоненту буде складати $T_{\text{ел}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура елемента визначається як сума температури на яку нагрівається компонент з температурою навколишнього середовища:

$$T_{\text{ел}} = T_{\text{навк}} + \Delta T,$$

де ΔT – температура на яку нагрівається компонент;

$T_{\text{навк}}$ – температура навколишнього середовища;

$T_{\text{ел}}$ – температура елемента.

Оскільки прилад призначений до кімнатного використання температура навколишнього середовища не буде перевищувати $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Тому можна порахувати максимальну ΔT :

$$\Delta T = T_{\text{ел}} - T_{\text{навк}} = 55 - 30 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура на яку нагріється кристал розраховується за формулою:

$$\Delta T = R_{j-a} * P,$$

де R_{j-a} – тепловий опір від кристалу до середовища:

P – потужність яка виділяється на компоненті.

Тепловий розрахунок транзистору AOD424 в корпусі TO-252.

Спершу потрібно розрахувати потужність, яка виділяється на транзисторі.

Згідно документації опір відкритого каналу транзистора сягає $5,7 \text{ мОм}$.

Максимальний струм, що має пропускати цей транзистор дорівнює 2 А .

Знаючи максимальний струм, який може протікати в транзисторі, можемо обрахувати падіння напруги на ньому за формулою закону Ома:

$$U = I * R = 2 * 0,0057 = 0,0114 \text{ В}$$

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		81

Тепер можемо порахувати потужність:

$$P = U * I = 0,0114 * 2 = 0,0228 \text{ Вт}$$

Коефіцієнт теплового опору дуже сильно залежить від площі охолоджувального контакту. Залежність для цього корпусу можна оцінити на рис 4.4.1. [55]

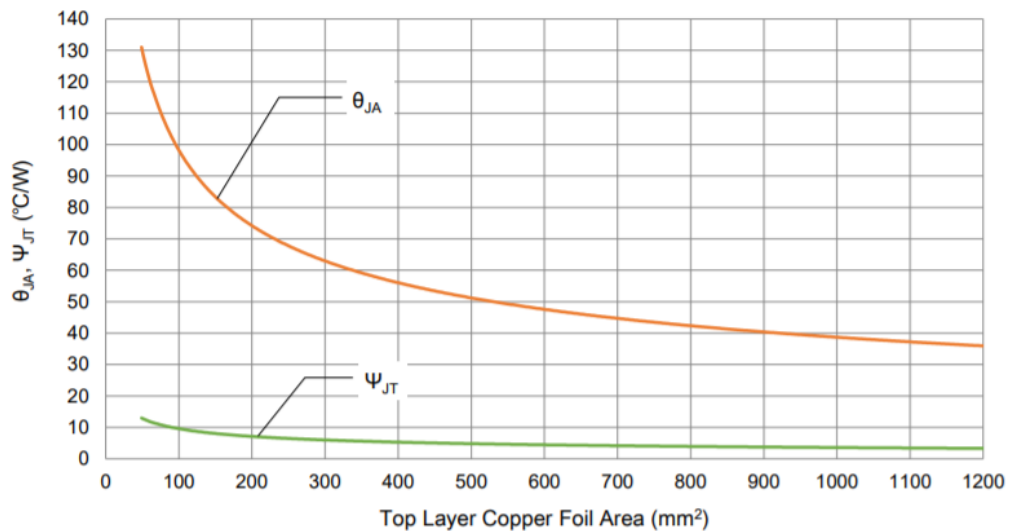


Рисунок 4.4.1 - Залежність температурного опору від площі охолоджувального контакту для корпусу TO-252

Площа мінімального охолоджувального контакту складає 49 мм². Згідно рисунку вище, при такій площі охолодження опір кристал-середовище R_{j-a} складає 120°C/Вт. Це значення теплового опору вже включає в себе опір кристал-корпус та корпус-середовище.

Температура на яку нагріється транзистор обраховується за формулою:

$$\Delta T = R_{j-a} * P = 120 * 0,0228 = 2,736 \text{ °C}$$

Тобто дані транзистори при максимальному навантаженні на них нагріються всього на 2,736 °C відносно навколишнього середовища. Такі значення є абсолютно прийнятні і впливу на роботу схеми не будуть мати жодного.

Тепловий розрахунок транзистору IPD90P03P4-04 в корпусі TO-252.

Максимальний струм, що має пропускати цей транзистор дорівнює 8,3 А.

Опір відкритого каналу даного транзистору складає 4,5 мОм.

Падіння напруги на транзисторі:

$$U = I * R = 8,3 * 0,0045 = 0,03735 \text{ В}$$

Потужність, що виділяється на транзисторі:

$$P = U * I = 0,03735 * 8,3 = 0,310005 \text{ Вт}$$

При мінімальній площі охолоджуючого контакту 49 мм² тепловий опір R_{j-a} = 120.

Температура на яку нагріється транзистор складе:

$$\Delta T = R_{j-a} * P = 120 * 0,310005 = 37,2006 \text{ }^\circ\text{C}$$

Така температура перевищує дозволений ΔT в 25 °С, тому потрібно реалізувати додаткове охолодження. Найоптимальніший спосіб реалізувати додаткове охолодження це збільшити площу охолоджувального посадкового місця.

Охолоджувальне посадкове місце було збільшене до площі 600 см². Згідно рис. 4.4.1 тепловий опір при такій площі складе $R_{j-a} = 49 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Перерахунок ΔT дає такі результати:

$$\Delta T = R_{j-a} * P = 49 * 0,310005 = 15,190245 \text{ }^\circ\text{C}$$

Така температура нагріву повністю задовольняє поставлені на початку підрозділу умови в не перевищення ΔT в 25 °С.

Тепловий розрахунок діоду SM74611 в корпусі TO-263.

В даному діоді вже використовується більший корпус [56] з меншим тепловим опором.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Діод має пропускати 8,3 А. Згідно до документації на діод при такому струмі на ньому виділяється 26 мВ.

Відповідно потужність, що виділяється на діоді:

$$P = U * I = 0,026 * 8,3 = 0,2158 \text{ Вт}$$

Площу охолоджувального посадкового місця було реалізовано в 225 мм². Згідно до документації, такій площі відповідає температурний опір $R_{j-a} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$

Температура на яку нагріється діод складе:

$$\Delta T = R_{j-a} * P = 55 * 0,2158 = 11,869 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Така температура на яку нагріється діод повністю задовольняє поставлену на початку розділу умову в не перевищення ΔT в 25 $^{\circ}\text{C}$.

Отже, було проведено тепловий розрахунок для трьох компонентів на які припадає найбільше навантаження. Найсильніше (до 15,190245 $^{\circ}\text{C}$ відносно навколишнього середовища) розігріватись буде транзистор IPD90P03P4-04 навіть при наявності охолоджувального контактного майданчику з площею в 600 мм². В цілому всі компоненти при максимальному навантаженні нагріваються в межах допустимої норми.

Висновки до розділу

Отже, в даному розділі було проведено розрахунки, що підтверджують правильність обраних конструкторських рішень, які було зроблено у попередньому розділі.

В процесі перевірки було зроблено електричні розрахунки, розрахунки на віброміцність, на теплового режиму та на надійність друкованого вузла.

Після проведення електричних розрахунків було визначено, що максимальне падіння напруги на провіднику напруги живлення 12 В складає 0,3 В. На провіднику для напруги живлення 5 В падає 47,9 мВ, на провіднику для напруги живлення 3,3 В падає 105,32 мВ і на найдовшому сигнальному провіднику падає 1,2 мВ. Отримані результати не перевищують 5 % від напруги живлення,

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

тому ширина доріжок у провідників використана правильно. Потужність втрат складає 908,52 нВт, що є мізерною величиною, якою можна нехтувати. Ємність та індуктивність між провідниками отримали відповідно 586,3 пФ та 0,314 нГн. Ці значення є не великими, тому на роботу схеми впливати не будуть.

В наслідок розрахунків на надійність було отримано середній час напрацювання в 68267,6 год, що є близько 7,8 років. Отриманий результат повністю задовольняє поставлені в технічному завданні вимоги.

В наслідок розрахунку на віброміцність було отримано частоту власних коливань 251,8 Гц, що є більшою за 250 Гц, тому конструкцію можна вважати абсолютно жорсткою.

При розрахунку на тепловий режим було пораховано на скільки нагріється компонент відносно навколишнього середовища. Розрахунки проводились для трьох найбільш навантажуваних компонентів - це діод SM74611 та транзистори IPD90P03P4-04, AOD424. Для транзистора було створено охолоджувальний контактний майданчик площею в 600 мм², та для діоду в 225 мм². Максимальна температура на яку нагріються ці компоненти це:

- для діоду SM74611 $\Delta T = 11,869$ °C;
- для транзистору AOD424 $\Delta T = 2,736$ °C;
- для транзистору IPD90P03P4-04 $\Delta T = 15,190245$ °C.

Отримані значення повністю задовольняють вимоги технічного завдання.

Отже після проведених перевірочних розрахунків можна зробити висновок, що всі конструкторські рішення було зроблено правильно і отримана конструкція є оптимальною.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Основною ідеєю дипломної роботи є створення блоку керування інкубатором, який може бути запрограмований на різні програми інкубації, тому опис проектування програмного забезпечення буде сконцентровано на реалізації цієї функції.

5.1 Процес користування блоком керування інкубатором

Комплектація блоку керування буде складатися з самого блоку керування, модулю датчика температури та OLED дисплею.

Для того, щоб зібрати повністю інкубатор, користувачу або фірмі, яка планує збирати інкубатори на основі даного блоку керування ще потрібно зробити корпус, встановити блок живлення потужністю до 100Вт та купити необхідної потужності такі компоненти: кроковий двигун, нагрівальні елементи (до двох штук), світлодіодну стрічку, вентилятори (один працює на вдув, інший на видув) та ультразвуковий зволожувач (до двох штук).

Перед увімкненням блоку керування необхідно зареєструватись на сайті блоку керування. Таким чином, у користувача з'явиться аккаунт, до якого може підключитися інкубатор.

Під час першого включення, після увімкнення пристрою починається пошук WI-FI мережі, до якої є доступ. Оскільки пристрій новий, то зрозуміло, що ні до якої мережі пристрій не підключиться. Після того, як не вдалося підключити до жодної мережі, пристрій сам стає точкою доступу, до якої може підключитися користувач. Після підключення до точки доступу є можливість через браузер зайти на веб-сторінку, на якій вже реалізовано основний функціонал інкубатора, тому є можливість працювати з інкубатором навіть без мережі WI-FI, але в такому разі втрачається функція оперативних сповіщень та віддаленого контролю за процесом інкубації.

На веб сторінці є можливість ввести параметри мережі WI-FI та виконати підключення до мережі. Після успішного підключення до мережі необхідно ввести

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		86

логін та пароль від раніше створеного аккаунту. Після успішного входу в аккаунт інкубатор зможе оновлювати стан інкубації та мікрокліматичний стан в інкубаторі. Важливим моментом є встановлення часу, його обов'язково потрібно встановити, також можна встановити режим автоматичного встановлення, але вказати часовий пояс в будь якому разі необхідно.

Після успішного підключення залишилось тільки запуснути процес інкубації. Для цього необхідно створити програму інкубації. Але цю програму можна скачати або купити на цьому ж сайті.

Перед створенням програми необхідно вказати діаметр яйця (або від якої тварини це яйце), повітряний потік вентиляторів, об'єм інкубаційної камери та кількість днів під час яких буде тривати інкубація. У користувача є можливість вказувати до 100 днів. Після чого відкриється календар, де будуть підсвічуватись дні, під час яких буде відбуватись інкубація. Користувач може натиснути на будь який день та вказати там час та необхідну дію, що потрібно зробити.

Серед можливих дій, які може зробити користувач:

- встановлення температури;
- встановлення вологості;
- встановлення частоти повороту;
- встановлення яскравості світлодіодної стрічки;
- встановлення частоти провітрювання.

В першу мить інкубації необхідно обов'язково вказати температуру та вологість в інкубаційній камері. Якщо інші параметри не вказувати, то будуть встановлені значення за замовчуванням, а саме: поворот яєць не робити, провітрювання не робити, світлодіодна стрічка вимкнена.

Встановлення температури відбувається в градусах по Цельсію. При необхідності в налаштуваннях можна встановити іншу шкалу – Фаренгейти. Для того, щоб зробити встановлення необхідно вказати час та значення температури. Значення температури може бути до 50 °С

За схожим принципом реалізоване встановлення вологості тільки необхідно вказувати відсотки. Максимальна вологість, яку можна встановити це 80 %.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Поворот яєць виконується на 180° . Знаючи розміри яйця алгоритм легка рахує, на яку відстань необхідно рухати сітку. Встановивши частоту повороту яєць, можна вказати точний час повороту. Але існує низькорівнева команда, яка дозволяє вказувати, на який кут робити поворот та в який час це робити.

Встановлення яскравості світлодіодної стрічки відбувається у відсотках. Також можна встановити опцію плавного увімкнення та встановити як довго буде тривати зміна освітленості в мілісекундах. В такому разі встановлення яскравості буде не миттєвим, а поступовим.

Знаючи повітряний потік вентиляторів та об'єм інкубаційної камери, алгоритм порахує скільки часу необхідно попрацювати вентиляторам для заміни повітря в інкубаційній камері. Встановивши частоту провітрювань, можна встановити час, коли ці провітрювання будуть відбуватись. Але є також низькорівневі команди, в яких можна вказати потужність роботи вентиляторів від 0 до 100 %, час їх роботи та коли вони почнуть працювати. Управління кожним вентилятором відбувається окремо.

Після закінчення створення програми інкубації її потрібно зберегти. При бажанні її можна відкрити у публічний доступ.

Після чого її можна завантажувати до інкубатора.

Після закінчення завантаження процес інкубації ще не почнеться. Для початку необхідно натиснути необхідну кнопку на сайті. Після успішного старту на екрані з'явиться інформація про день інкубації та мікрокліматичну інформацію з інкубаційної камери. Крім того буде відображатись наявність зв'язку з мережею інтернет.

У випадку проблем наприклад розгерметизації чи втрати зв'язку з сайтом, користувачу на мобільний телефон (пошту, телеграм додаток) буде надіслана відповідна інформація про негаразд.

При раптовій втраті електропостачання завдяки резервній батареїці внутрішній час в контролері інкубатором та процес інкубації не зіб'ється, тому при відновленні електропостачання команди продовжать своє виконання.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Після успішного закінчення процесу інкубації відповідне повідомлення буде надіслане користувачу.

5.2 Структура файлу програми інкубації та логіка роботи

Структура файлу програми інкубації

На віддаленому сервері програма інкубації зберігається у вигляді XML.

Загальний вигляд команди можна побачити на рисунку 5.2.1.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<incubation>
  <id>228</id>
  <cmd>
    <day>1</day>
    <time>
      <hour>23</hour>
      <minute>59</minute>
    </time>
    <temperature>37.7</temperature>
    <humidity>90</humidity>
    <eggs_rotate>
      <angle></angle>
      <side></side>
    </eggs_rotate>
    <ventilation>
      <blow>
        <power>100</power>
      </blow>
      <blown>
        <power>0</power>
      </blown>
    </ventilation>
    <led_light>
      <brightness>100</brightness>
      <duration>100</duration>
    </led_light>
  </cmd>
</incubation>
```

Рисунок 5.2.1 - Загальний вигляд однієї команди

З XML файлу програма інкубації конвертується в hex файл з 32-бітними рядками.

Розділювачем між командами стає час виконання команди.

В одній команді може бути вказана тільки частина функцій, наприклад тільки температура. Першою командою обов'язково має бути команда з нульовим

днем – це ініціалізація системи. Максимальна роздільність кожної команди - це одна хвилина. У функції управління світлом тривалість вказується в мілісекундах.

Загальну структуру hex файлі можна вивчити на рисунку 5.2.2



Рис. 5.2.2 Структура hex файлу

Тепер розглянемо побітову структуру. Кожне 32-бітне поле першочергово поділяється на 2 частини: 5 біт займає номер команди і 27 біт займає корисна інформація. Звісно, що всім командам усі 27 біт не знадобляться, тому кожна команда використовує якусь частину. Таблицю команд можна переглянути в таблиці 5.2.1.

Таблиця 5.2.1

Команда (5 біт)	Корисна інформація(27 біт)			Резерв
Id	27 біт значення id			0 біт
Час	7 біт дні	5 біт години	6 біт хвилини	14 біт
Температура	6 біт			21 біт
Вологість	7 біт			20 біт
Поворот яєць	9 біт кут повороту	1 біт сторона повороту		17 біт
Вентиляція	7 біт вдув	7 біт видув		13 біт
Освітлення	7 біт яскравість	20 біт тривалість		0 біт

Максимальна кількість днів інкубації 100 днів, тобто 144000 хвилин. Кожну хвилину може надійти 6 команд по 4 байти, тобто одна повна команда займає 24 байти.

Максимальний розмір програми інкубації:

$$\text{Size} = 24 * 144000 = 3456000 \text{ байтів}$$

Що дорівнює близько 3,3 Мб.

Логіка роботи

Записом програми інкубації займається WI-FI модуль. Він підключений до енергонезалежної пам'яті разом з мікроконтролером через логічний елемент АБО. Щоб уникнути конфліктів WI-FI модуль має вищий пріоритет та додатково підключений до мікроконтролеру сигнальною лінією, яка сповіщає чи відбувається запис у пам'ять зі сторони WI-FI модулю.

Після завершення запису програми інкубації у користувача є можливість почати інкубації, відправивши відповідну команду. В свою чергу WI-FI модуль переправляє команду старту на мікроконтролер та починається процес інкубації.

Щоб щохвилини не робити запити в пам'ять для оновлень параметрів інкубації, мікроконтролер зчитує по п'ять команд інкубації, записує їх в швидку оперативну пам'ять та робить щохвилинні запити вже в RAM. Таким чином,

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

збільшується ресурс роботи енергонезалежної пам'яті, бо не відбувається щохвилинного зчитування даних.

5.3 Вибір способу роботи з мікроконтролером STM32F407VG

Мікроконтролер можна програмувати способом bare metal. Спосіб полягає у тому, що налаштування та робота периферії відбувається простими записами напряму в регістри. Більш практичнішим є спосіб програмування з використанням CMSIS. CMSIS – це файл який перейменовує числові адреси регістрів у зрозумілі для людини назви. Таким способом програмують обладнання, яке потребує надвисокої надійності (наприклад обладнання з медицини чи автомобільне, тобто те, що впливає на життя людини). Але програмування в такий спосіб є тривалим по часу, бо програміст має спершу зосередитись на роботі з апаратною частиною та деталізованою роботою з документацією, а вже після того займатись реалізацією основного продукту.

Більш простішим способом є використання спеціальних бібліотек. Найпопулярніший та найсучасніший метод - це використання CubeMX з HAL.

Програма CubeMX дозволяє в інтерфейсі обрати, яка периферія буде використовуватись, які контакти будуть використовуватись та зробити налаштування тактування. Після необхідних налаштувань ця програма генерує проект під будь-яку IDE з кодом HAL, який вже робить необхідні ініціалізації. Користувачу залишається лише реалізувати необхідну логіку роботи. HAL – це сукупність бібліотек для всієї периферії на мікроконтролері. Користувачу вже не потрібно розбиратися в апаратних нюансах і використання периферії зводиться до виклику готових функцій з аргументами.

5.4 Розгортання операційної системи на мікроконтролері

При класичному програмуванні мікроконтролерів весь код виконується в одному великому циклі по черзі. У випадку, якщо станеться якась проблема в одному місці в циклі, то зупиниться вся система. Такі системи не є надійними. Можна забезпечити відносну безпеку, запровадивши систему резервного

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		92

очікування. При цьому основний потік програми буде чекати деякий час на виконання функції, а у випадку, якщо вона не виконається впродовж якогось часу - перейти до виконання інших задач. Але така реалізація сильно уповільнює роботу контролера.

Тому було розроблено операційні системи реального часу. Операційна система реального часу здатна реалізувати псевдопаралелізм у виконанні коду. Псевдо – тому що апаратно мікроконтролері реалізоване один потік та одне ядро, тому одночасне виконання команд апаратно неможливо. Внаслідок чого було розроблено принцип concurrency. Він полягає у тому, що потокам надаються невеликі кванти часу на виконання і, таким чином, реалізовується видимість одночасного виконання команд. У випадку, якщо станеться якась проблема в одному потоці, то вона абсолютно не буде впливати на інші потоки і система не вийде з ладу. RTOS забезпечує високу надійність роботи пристрою. Крім того, відразу відбувається структуризація задач по потокам, що дозволяє отримати гарне структурування коду.

Найбільш популярними операційними системами реального часу є FreeRTOS, QNX, ThredX. Серед них найбільш популярною та безкоштовною є операційна система FreeRTOS. Вона вже перевірена часом та має широке використання в різноманітних сферах. Також там реалізовані всі необхідні додаткові програмні структури, такі як черги та примітиви синхронізації.

В межах FreeRTOS створені наступні завдання:

- прийом та відправка команд на WI-FI модуль;
- зчитування програми інкубації та оновлення параметрів інкубації;
- зчитування даних з датчику температури та вологості;
- генерація ШІМ сигналу для нагрівальних елементів за допомогою PID алгоритму на основі даних температури;
- контроль ультразвуковими зволожувачами на основі інформації з датчику вологості;
- контроль кроковим двигуном;

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		93

- контроль світлодіодної стрічки;
- контроль вентиляторів;
- контроль герметизації інкубатора;
- контроль та оновлення даних на OLED дисплеї.

Кожне завдання працює незалежно один від одного, тобто один одного заблокувати не можуть. Передача даних параметрів інкубації та реальних параметрів інкубації між завданнями відбувається за допомогою глобальних змінних, доступ до яких захищено примітивом синхронізації – м'ютексом, щоб виключити можливі перегони даних, які виникають в багатопотокових програмних рішеннях

Висновки до розділу

Отже, в даному розділі було описано роботу програмного забезпечення блоку керування інкубатором. Спершу було розглянуто, як блоком керування буде користуватись користувач та було розглянуто, як буде відбуватись процес написання програми інкубації. Після чого було описано внутрішню структуру файлу програми інкубації. Високорівнева структура файлу створюється та обробляється у форматі XML, зберігається в інкубаторі програма інкубації вже у форматі hex файлу з 32-бітним словом. В цьому ж розділі було вказано формат команд як на рівні XML так і на рівні бітів.

У якості способу програмування мікроконтролера було використано CubeMX разом з HAL. Це дає можливість сконцентруватись на програмуванні логікою і не займатись вивченням детальної документації та нюансів у програмуванні регістрів мікроконтролера.

У якості програмного підходу було обрано використання операційної системи реального часу FreeRTOS. Це дає змогу створювати високонадійний програмний продукт. В кінці розділу було описано список завдань, які будуть створені в рамках операційної системи FreeRTOS. Передача даних між завданнями відбувається за допомогою глобальних змінних, захищених м'ютексами від перегонів даними.

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті було розроблено блок керування інкубатором, який відповідає всім вимогам, поставленим в технічному завданні. У ході виконання було розроблено принципову схему, було зроблено вибір компонентної бази, розроблено друкований вузол (з проведенням всіх необхідних перевірочних розрахунків) та спроектовано програмне забезпечення.

У першому розділі було розглянуто умови інкубації, було визначено, що кожний вид птиці має свої унікальні умови інкубації. Через це багато дослідників мають свої власні погляди як має проходити інкубація, тому дуже важливо, щоб інкубатор можна було запрограмувати на конкретну програму інкубації.

У другому розділі було спроектовано принципову схему. Спершу, після аналізу ТЗ, було створено структурну схему, яка зображала всі структурні елементи блоку керування та рівень взаємодії між ними. На основі структурної схеми було розроблено принципову схему з вибором елементної бази для кожного структурного блоку. Вибір компонентів відбувався спершу за технічними характеристиками, які вимагало ТЗ, а потім по ціновому критерію. Після проектування схеми були зроблені необхідні розрахунки номіналів компонентів для забезпечення роботи схеми. Після чого було проведено симуляцію схеми резервного живлення в LTSpice

У третьому розділі головною задачею було спроектувати друкований вузол. Було обрано двошарову друковану плату. У якості матеріалу було обрано FR4-35-1,5. Метод виготовлення друкованої плати - комбінований позитивний метод. Для провідників було обрано четвертий клас точності. Розміщення компонентів на монтажному просторі виконувалось за допомогою послідовного методу. Перед трасуванням необхідно було провести конструкторсько-технологічний розрахунок елементів друкованого монтажу для того, щоб при трасуванні вже використовувати правильні розміри для елементів.

В ході розрахунків було встановлено такі розміри для ширини доріжок:

Для 12В: 2 мм;

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		95

Для 5В: 0,6 мм;

Для 3,3В: 0,6 мм;

Для сигнального провідника: 0,23 мм.

Мінімальний діаметр контактної майданчику для роз'ємів:

Для KF301 $D = 2,5$ мм;

Для JST-ХН-2m54 $D = 2,1$ мм;

Для MF42-RP-02 $D = 3$ мм;

Для CR2025 $D = 2,5$ мм.

Для проектування використовувався САПР Altium Designer через його зручність та великі функціональні можливості. Трасування виконувалось ручним методом. В результаті було отримано готовий друкований вузол.

У четвертому розділі проведено розрахунки, що підтверджують правильність обраних конструкторських рішень. В процесі перевірки було зроблено електричні розрахунки, розрахунки на віброміцність, теплового режиму та на надійність друкованого вузла.

Було визначено такі максимальні падіння напруги:

Для 12В: 0,3 В;

Для 5В: 47,9 мВ;

Для 3,3В: 105,32 мВ;

Для сигнального провідника: 1,2 мВ.

Отримані результати не перевищують 5% від напруги живлення, тому ширина доріжок у провідників використана правильно. Потужність втрат складає 908,52 нВт. Ємність та індуктивність між провідниками отримали відповідно 586,3 пФ та 0,314 нГн. Ці значення є невеликими, тому на роботу схеми впливати не будуть. Середній час напрацювання в 68267,6 год, що є близько 7,8 років. Отриманий результат повністю задовольняє поставленим в технічному завданні вимогам. Внаслідок розрахунку на віброміцність було отримано частоту власних коливань 251,8 Гц, що є більшою за 250 Гц, тому конструкцію можна вважати абсолютно жорсткою. Розрахунки теплового режиму проводились для трьох найбільш навантажених компонентів - це діод SM74611 та транзистори

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

IPD90P03P4-04, AOD424. Для транзистора було створено охолоджувальний контактний майданчик площею в 600 мм², та для діоду в 225 мм². Максимальна температура на яку нагріються ці компоненти це:

- для діоду SM74611 $\Delta T = 11,869$ °C;
- для транзистору AOD424 $\Delta T = 2,736$ °C;
- для транзистору IPD90P03P4-04 $\Delta T = 15,190245$ °C.

Отримані значення повністю задовольняють вимогам технічного завдання.

Отже, після проведених перевірочних розрахунків, можна зробити висновок, що всі конструкторські рішення було зроблено правильно і отримана конструкція є оптимальною.

У п'ятому розділі запроєктовано програмне забезпечення. Спершу було спроектовано високорівневий файл програми інкубації в форматі XML. Для збереження програми інкубації в інкубаторі для економії місця було розроблено файл в форматі hex, в якій перетворюється файл формату XML, а також було наведено, які команди будуть доступні користувачу для програмування. Всього доступно 6 команд. У якості програмування було використано метод з операційною системою реального часу FreeRTOS та наведено, які завдання створені для роботи блоку керування. У якості методу програмування периферії мікроконтролера та ініціалізації було обрано використання технології CubeMX та HAL.

У ході роботи було зроблено та оформлено всю необхідну конструкторську документацію, за допомогою якої можна створити прилад.

На основі дипломного проекту було опубліковано статтю в міжнародній науковій конференції "НАУКОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОГРЕСУ ХХІ СТОРІЧЧЯ" та взято участь у XIV Міжнародній науково-технічній конференції "Перспективи телекомунікацій 2020".

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		97

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Режими інкубації яєць домашньої птиці [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/WyNZtbA>
2. Режими інкубації яєць. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/4yNZyuy>
3. Оптимальна інкубація для індиків. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/2yNZyBZ>
4. Method and device suitable for incubating avian eggs. US 20170020114 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/JyNC2S8>
5. Method for producing transgenic birds and fish. US 20030101471 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/gyNNwYZ>
6. Incubator suitable for use in hatching eggs [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/NyNNNoqW>
7. Малогабаритний інкубатор UA117927 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/NyNNNoqW>
8. Блок керування Теплуша Люкс 72 ІБ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/kyMo36s>
9. Блок керування ZL-7918A [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/yuMpu6n>
10. Блок керування ZL-7901A [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/syMpoPu>
11. PID controller. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller
12. Технологія WI-FI <https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
13. Ультразвукові зволожувачі повітря. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/Othymak>
14. OLED дисплей [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/OLED>

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		98

15. Класична батарея 12 В [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://cutt.ly/byMrWX5>
16. UART інтерфейс [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://cutt.ly/ayMr1C1>
17. SPI інтерфейс [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
18. I2C інтерфейс [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
19. PWM [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation
20. Схема резервного живлення на діодах [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=LGQw8ubeyK4>
21. Мікросхема LT4414 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4414fc.pdf>
22. Мікросхема LT4414 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4417f.pdf>
23. Компаратор LM393 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393-n.pdf?ts=1589040706869>
24. Діод Шотткі 1N5822 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.vishay.com/docs/88526/1n5820.pdf>
25. Роз'єм KF301-2P [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<http://www.handsontec.com/dataspecs/terminal%20block-5mm.pdf>
26. Транзистор AON6407 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
http://www.aosmd.com/res/data_sheets/AON6407.pdf
27. Транзистор IPD90P03P4-04 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IPD90P03P4_04-DS-v01_00-en.pdf?folderId=db3a304314dca3890114ef902baa05f9&fileId=db3a30431ddc9372011e07ecafdb27ed&ack=t
28. Мікросхема ідеального діоду ISL6146 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.renesas.com/us/en/www/doc/datasheet/isl6146.pdf>

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		99

29. Транзистор AOD424 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
http://aosmd.com/res/data_sheets/AOD424.pdf
30. Діод SM74611 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sm74611.pdf?ts=1588784433087>
31. DC-DC перетворювач TS30012 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/44000000MCI3/bdVbazg0pYU6JAE9An21Js6H0SIQTjdcYh0KrltPYSk>
32. DC-DC перетворювач AP1509 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sm74611.pdf?ts=1588784433087>
33. Губар В.Г. Курс лекцій по ФТОК. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2K08N4t>
34. Датчик температури Si7020-A20 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7020-A20.pdf>
35. Датчик температури HDC1080 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/hdc1080.pdf?HQS=TI-null-null-digikeymode-df-pf-null-ww&ts=1591614616272>
36. Датчик температури SHT30-DIS-B2.5KS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Sensirion%20PDFs/HT_DS_SHT3x_DIS.pdf
37. Датчик температури SHTC1 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/2_Humidity_Sensors/Datasheets/Sensirion_Humidity_Sensors_SHTC1_Datasheet.pdf
38. Датчик температури SHTC3 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Sensirion%20PDFs/HT_DS_SHTC3_D1.pdf

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		100

39. Модулі Espressif ESP [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.espressif.com/en/products/modules>
40. ESP-WROOM-02D [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0c-esp-wroom-02_datasheet_en.pdf
41. Енергонезалежна пам'ять w25q128 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.winbond.com/resource-files/w25q128jv%20revf%2003272018%20plus.pdf>
42. Мікросхема 74HC32 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT32.pdf
43. Модуль OLED дисплею [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://arduino.ua/prod1178-oled-displei-0-96-i2c-128x64-jelto-sinii>
44. Роз'єми JST-XH [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
http://www.jst-mfg.com/product/detail_e.php?series=277
45. Роз'єми MF42-RP-02 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.tme.eu/en/details/mf42-rp-02/raster-signal-connectors-4-20mm/amphenol/>
46. Мікроконтролери AVR [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://en.wikipedia.org/wiki/AVR_microcontrollers
47. Мікроконтролери PIC [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.microchip.com/design-centers/microcontrollers>
48. Мікроконтролери STM. [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors.html>
49. FreeRTOS. [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://en.wikipedia.org/wiki/FreeRTOS>
50. STM32F407 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf>
51. JLPCB [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://jlcpcb.com/>

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		101

52. Матеріал FR-4 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://sites.google.com/site/konstruktor2011vsch/16-materialy-dla-pecatnyh-plat>

53. С. М. Боровиков. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с

54. Лескин В.Ф., Методические указания по конструкторско-технологическому и электрическому расчету печатных плат // В.Ф. Лескин, А.Н. Лысенко, Т.Л. Захарченко – Киев, НТУУ «КПИ», 2010

55. Температурний опір для T0-252 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

https://d1d2qsbl8m0m72.cloudfront.net/en/products/databook/applinote/ic/power/linear_regulator/to252-3_rth_bd4xxm5fp_an-e.pdf

56. Температурний опір для T0-263 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

http://rohms.rohm.com/en/products/databook/applinote/ic/power/linear_regulator/to263-5_rth_bd4xxm5wfp2_an-e.pdf

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

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

ГОСТ 23571-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23752-79 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Общие технические условия.

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

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

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		102

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

ДСТУ 2646-94 ПЛАТИ ДРУКОВАНІ Терміни та визначення

ОСТ 4.010.022 – 85 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Методы конструирования и расчёта

					<i>ДК61.272115.001 ПЗ</i>	Арк.
						103
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТОК А

Технічне завдання на проектування

1. Найменування та галузь використання

Блок керування для інкубатора для яєць. Пристрій сільськогосподарського призначення. Використовується в інкубаторах для інкубування яєць.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ» № 1196-С від 25.05.2020 р.

3. Мета та призначення розробки

Розробка блоку керування інкубатора для яєць з виходом в мережу інтернет та можливістю створювати фермеру програми інкубації для різних типів яєць.

Даний пристрій дозволяє контролювати мікроклімат, поворот яєць та інші супутні процеси, які необхідні для інкубації.

4. Джерело розробки

Завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ» № 1196-С від 25.05.2020 р.

5. Технічні вимоги

5.1 Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється

Пристрій повинен бути виконаний у формі головної друкованої плати та окремого модуля датчику температури та вологості, який має бути безпосередньо у інкубаційній камері. Модулі повинні легко з'єднуватись з головною платою. До друкованої плати через спеціальні роз'єми мають під'єднуватись: температурний сенсор, ультразвуковий випаровувач, кроковий

мотор, світлодіодна стрічка, нагрівальні елементи, OLED дисплей, вентилятори та батарея резервного живлення.

5.2 Показники призначення

Пристрій повинен забезпечувати:

- Контроль температури в інкубаторі;
- Контроль вологості в інкубаторі;
- Поворот яєць;
- Вентиляцію в інкубаторі за допомогою вентиляторів;
- Автоматичний перехід на батарейне живлення;
- Можливість створювати програми інкубації;
- Можливість коректування програм інкубації під час інкубації;
- Завантажувати існуючі програми інкубації;
- Інформування користувача про надзвичайну ситуацію в інкубаторі;
- Індикацію процесу інкубації на екрані, який приєднується до головної плати;
- Індикацію процесу інкубації на web сайті ;
- Використання ПІД алгоритму для регуляції температури;
- Використання будь-яких нагрівальних елементів з живленням 12 В.

5.3 Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову повинен бути не менше 43800 год.

5.4 Вимоги до технологічності

Орієнтовані на передові прийоми проектування.

5.5 Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації

Для виготовлення пристрою використовувати стандартні та уніфіковані деталі.

5.6 Вимоги до безпеки обслуговування

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

5.7 Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних й експлуатаційних матеріалів

Для виробництва використовувати матеріали імпортного або вітчизняного виробництва.

5.8 Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ.4.1 по ГОСТ 15150-69.

5.9 Вимоги до транспортування та зберігання

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69.

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

5.10 Додаткові технічні вимоги

Технічні характеристики:

Габаритні розміри плати	Не більше 150мм x 150мм x 20мм
Маса	Не більше 200 г
Живлення плати	12 В \pm 5 % та 5 В \pm 5 %
Живлення нагрівальних елементів	12 В \pm 5%
Точність датчику температури	Не менше \pm 0.3 °С
Точність датчику вологості	Не менше 5 %
Поворот яєць	Не менше ніж на 180 °
Точність температури в інкубаційній камері	Не менше \pm 0.1 °С
Точність забезпечення вологості	Як мінімум \pm 10 %

Програми інкубації	Не менше ніж на 100 днів інкубації Кожна нова команда має надходити кожну хвилину
Синхронізація з web сервером	Не рідше ніж кожні 5 хв

6. 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.

7. Робота повинна містити

- Пояснювальну записку формату А4 до 120 аркушів;
- Схему електричну принципову формату А1;
- Перелік елементів формату А4;
- Складальне креслення формату А1;
- Специфікацію формату А4;
- Креслення друкованої плати А1;

8. Порядок розгляду й приймання роботи

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

ДОДАТОК Б

Публікація у міжнародній науковій конференції “НАУКОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОГРЕСУ ХХІ СТОРІЧЧЯ”

Науковій праці, яка приймала участь в даній міжнародній конференції присвоєний DOI номер <https://doi.org/10.36074/01.05.2020.v2.09>. Якщо перейти за посиланням, можна почитати статтю. Також статтю було опубліковано в журналі

УкрЛогос(<https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/mcnd/issue/view/01.05.2020>), першу сторінку статті можна переглянути на фото нижче.

1 травня 2020 рік ♦ Чернівці, Україна ♦ МЦНД

DOI 10.36074/01.05.2020.v2.09

ІНКУБАТОР ДЛЯ ЯЄЦЬ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Якименко Олег Олександрович

ORCID ID: 0000-0003-4586-8447

здобувач вищої освіти факультету електроніки

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

Науковий керівник: Губар Вячеслав Григорович

ORCID ID: 0000-0001-9440-0109

старший викладач кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

Анотація. Інкубатор нового покоління – пристрій, який полегшує інкубацію яєць. В ході розробки було досліджено доступні рішення на ринку, проведено їх аналіз та виявлення недоліків. Основні недоліки полягали в тому, що наявні інкубатори не мають функції оперативного сповіщення у випадку проблем та фермери не мають можливості створювати власні програми інкубації. Недоліки було усунуто шляхом додавання в інкубатор WI-FI модулю. Це дало змогу реалізувати сповіщення через веб-сайт, пошту та Telegram. Також було реалізовано можливість створення погодинних програм інкубації через форму на сайті. В підсумку було отримано модель інкубатору, що значно практичніший за наявні рішення на ринку.

Рис. Б.1 Знімок першої сторінки статті в журналі УкрЛогос.

Текст статті наведено нижче:

ІНКУБАТОР ДЛЯ ЯЄЦЬ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Якименко Олег Олександрович

ORCID ID: 0000-0003-4586-8447

здобувач вищої освіти факультету електроніки

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

Науковий керівник: Губар Вячеслав Григорович

ORCID ID: 0000-0001-9440-0109

старший викладач кафедри конструювання електронно-обчислювальної
апаратури

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

Україна

Анотація. Інкубатор нового покоління – пристрій, який полегшує інкубацію яєць. В ході розробки було досліджено доступні рішення на ринку, проведено їх аналіз та виявлення недоліків. Основні недоліки полягали в тому, що наявні інкубатори не мають функції оперативного сповіщення у випадку проблем та фермери не мають можливості створювати власні програми інкубації. Недоліки було усунуто шляхом додавання в інкубатор WI-FI модулю. Це дало змогу реалізувати сповіщення через веб-сайт, пошту та Telegram. Також було реалізовано можливість створення погодинних програм інкубації через форму на сайті. В підсумку було отримано модель інкубатору, що значно практичніший за наявні рішення на ринку.

Вступ

Для збільшення прибутків птахофабрики промислових масштабів використовують гормони росту та інші синтетичні препарати. Як наслідок, якість отриманого м'яса погіршується. Тому на ринку почали з'являтися невеликі ферми, які гарантують, що при вирощуванні поголів'я буде використовуватися кормова база виключно природного походження. Також існує частка людей, які створюють власні фермерські господарства. Кожному такому господарству потрібні інкубатори. Але не кожен може собі дозволити постійно контролювати хід інкубації, тому необхідно мати інкубатор з великим рівнем автономності. Такі інкубаційні системи існують для птахофабрик промислового масштабу, а

при роботі з малими інкубаторами, користувачу потрібно час від часу робити провітрювання, доливати воду в резервуари для підтримки потрібної вологості та інколи робити перевертання яєць. Це дуже низький рівень автономності.

Інша проблема - це універсалізація. В невеликих господарствах можливе одночасне вирощування курей, качок, індиків або навіть крокодилів. Для кожного виду птиці потрібні різні умови інкубації[1], більш того, навіть в межах одного виду в залежності від особливостей породи, можливі зміни в інкубаційних умовах[2]. Можливість встановлювати ці умови є критично важливою функцією для інкубатору.

Вимоги до інкубатору

Для успішного виводку молодняку інкубатор має забезпечувати такі мінімально необхідні функції:

- контроль температури до 40 градусів з точністю до десятих
- контроль вологості
- періодичний поворот яєць
- циркуляція повітря в інкубаторі (кисню має бути 21%, CO₂ в межах від 0.3% до 1%)[2]

Це лише базові речі, без яких інкубація просто неможлива. Інкубатор нового покоління повинен забезпечувати ряд додаткових вимог.

Додаткові вимоги:

- масштабованість конструкції - користувач повинен мати змогу в будь-який момент часу докупити інкубатор з простішим та дешевшим блоком керування та інтегрувати в існуючу систему
- автоматичний перехід на батарейне живлення під час випадкового відключення мережевого живлення та сповістити про це користувача. Батарея має працювати не менше 48 год.
- ультрафіолетова дезінфекція
- можливість інкубувати яйця будь-яких тварин, у яких яйця розміром не відрізняються від середньостатистичного (від 20мм до 100мм)

- інкубатор має автоматично стати вивідним місцем після інкубації, тобто для виводку не потрібно переносити яйця в інше місце
- коли відбувається вивід і починаються рухи, інкубатор має повідомити про це користувача
- інкубатор має мати вихід в інтернет, та повинен керуватись і робити сповіщення через сайт або Telegram
- у випадку, якщо недоступний глобальний інтернет, забезпечити керування за допомогою сайту в локальній мережі
- у випадку, якщо немає підключення WI-FI(Wireless Fidelity), сповіщення надсилати по GSM (Global System for Mobile Communications), а для керування інкубатор має надавати власний WI-FI доступ для підключення користувача
- має бути можливість розробляти власні програми інкубації, в яких можна вказати кількість днів інкубації, погодинну температуру, вологість, кількість поворотів та провітрювання. Кожен має мати змогу розробити свою власну програму для змій, крокодилів чи особливої породи індика та ділитися нею.
- на інкубаторі не повинно бути елементів керування. Керування повинно відбуватись тільки за допомогою сайту або Telegram боту.
- на інкубаторі повинна бути індикація параметрів інкубації: поточна температура та вологість, стан підключення до WI-FI, день інкубаційного періоду

Доступні рішення

Даний сегмент ринку є досить різноманітним, але, якщо структурувати, то виділяються три основні моделі інкубаторів.

Моделі першого типу[3] зроблені з пінопласту, що дає хороші теплоізоляційні властивості. Підтримка температури відбувається за допомогою двох нагрівальних елементів та контролеру. Підтримка вологості відбувається за допомогою невеликих резервуарів з водою на дні інкубатора, контроль вологості ручний. Провітрювання або ручне, або за допомогою пробитих в пінопласті

отворів. Механізм повороту у вигляді сітки, яйця лежать в природному положенні. Така система повороту дозволяє користувачу після завершення інкубації зняти сітку та інкубатор перетвориться на місце для виводу. В інкубаторах такого типу немає сповіщень про проблеми, немає віддаленого керування та є потреба в постійному контролі за процесом інкубації.

Моделі другого типу[4] вже мають пластиковий корпус. Підтримка температури відбувається за допомогою невеликого нагрівача та вентилятора, що розповсюджує нагріте повітря в середині інкубатора. Підтримка вологості відбувається також за допомогою невеликого резервуару з водою, але вже при відхиленні показників від нормальних, інкубатор сигналізує про це звуковим сигналом. Інформація про стан мікроклімату відображається на семисегментних індикаторах; присутні кнопки, які дозволяють обрати температуру та тип тварини, яйця якої інкубуються. Система повороту реалізована у вигляді лотків з яйцями, які нахиляються. Яйця при цьому знаходяться у вертикальному положенні, що унеможлиблює інкубацію деяких тварин. Такий тип повороту розповсюджений у промислових інкубаторів. Інкубатор такої моделі є більш технологічним ніж перший, але все ще немає віддалених сповіщень. Після інкубації, яйця потрібно перемістити до вивідного місця. В цілому, потрібний контроль впродовж інкубаційного періоду.

Моделі третього типу[5] можуть масштабуватись. Температура підтримується за допомогою нагрівача та вентиляторів. Є примусова циркуляція повітря та провітрювання. Вологість підтримується автоматично за допомогою ультразвукового випаровувача. Є панель керування, де можна встановити для якої тварини буде відбуватись інкубація та панель відображення, де можна подивитись стан мікроклімату. Система повороту реалізована за допомогою конвеєрних трубок, що крутяться. Яйця знаходяться в природному положенні. Після інкубації, яйця потрібно перемістити в місце для виводу. Також такі моделі все ще не мають віддаленого керування та сповіщення. Моделі третього типу мають високий ступінь автономності, але у випадку надзвичайної ситуації не

зможуть сповістити про це користувача, тому є необхідність залишатись поряд з інкубатором впродовж інкубації.

Наявні моделі інкубаторів надають базові вимоги до інкубації, але жоден інкубатор не має функції віддаленого керування та сповіщень, не має можливості власноруч створити свою програму інкубації, немає інкубаторів, які можна залишити на інкубацію і тільки під кінець інкубації отримати сповіщення.

Розробка експериментального зразку

Враховавши всі недоліки наявних рішень, було розроблено нове рішення, яке усуває значну частину мінусів.

Корпус та масштабованість

Для отримання можливості масштабування, корпус інкубатора було зроблено у формі шухляди, як в інкубаторів третього типу. Таким чином, є можливість складати інкубаторні шухляди одна на одну. Але принципова різниця з такими інкубаторами - це мікрокліматична незалежність кожної шухляди. Живлення та інформаційні сигнали надходять через спеціальні роз'єми.

У якості протоколу передачі даних використовується шина CAN[6]. На відмінно від LIN[7] чи RS-XXX[8], ця шина апаратно забезпечує фільтрацію та пріоритизацію повідомлень. Також у цій шині може бути декілька контролерів, що дозволить більш ефективно організувати обмін повідомлень між інкубаторними шухлядами. CAN інтерфейс є дешевим, зустрічається у бюджетних контролерах STM[9].

Примусова вентиляція інкубатору

Вентиляція відбувається за допомогою двох вентиляторів[10] діаметром 4см. Один буде працювати на вдув повітря, а інший на видування. Розташовані будуть на передній та задній стінці по діагоналі. Таким чином вони забезпечать рівномірне розподілення температури, вологості та забезпечать яйця киснем та усунуть велику концентрацію діоксиду вуглецю.

Підтримка заданої вологості та температури

Для вимірювання цих величин було використано датчик температури і вологості SHT30[11], який вимірює температуру з точністю до 0,3 градуси Цельсія та вологість повітря з точністю до 3%. Оскільки інкубатор даного класу є невеликим і в ньому є вентиляція, то температура в інкубаторі є рівномірною, тому було використано один датчик закріплений ближче до яєць.

У якості нагрівального елементу було використано два малопотужних керамічних елементи[12]. Для досягнення рівномірного нагріву замкнутого середовища набагато краще використати декілька малопотужних елементів ніж один дуже гарячий і потужний. Елементи закріплено на верхню кришку корпусу інкубатору.

Забезпечення стабільності температури було досягнуто за допомогою алгоритму ПД[13] регулятора, схему якого представлено на рисунку(рис. 1) нижче.

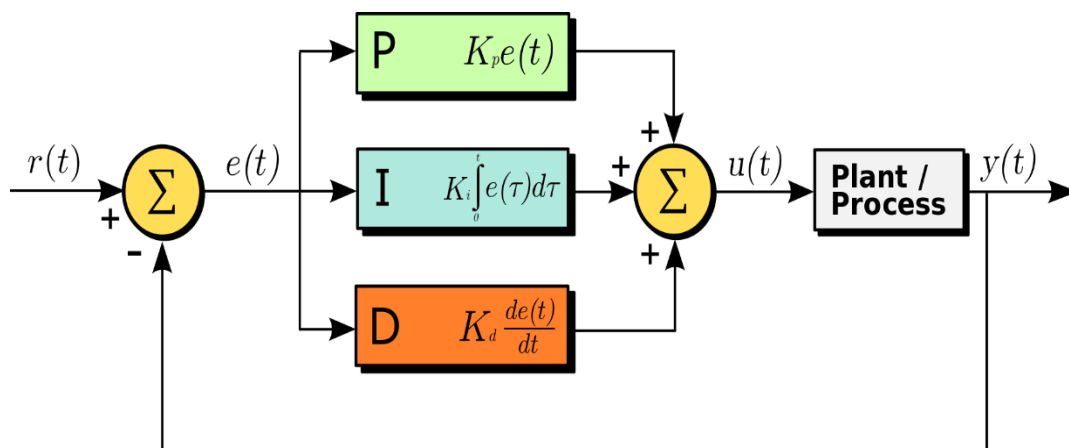


Рис 1. Схема ПД регулятора

Підбір коефіцієнтів для забезпечення правильної роботи відбувався за допомогою методу Циглера-Нікольса[13].

Для збільшення вологості було використано ультразвуковий зволожувач[14] з потужністю витрати води 30мл/год

Щоб розрахувати скільки часу потрібно, щоб попрацював зволожувач для виділення певної кількості води, скористатись формулою (1).

$$t = \frac{\Delta m}{\text{витрати води}} \quad (1)$$

де:

Δm - скільки води у грамах потрібно випарувати, щоб отримати бажану вологість
витрати води – витрати води ультразвукового випаровувача в мл/год

Розрахувати Δm можна за формулою (2), яка наведена нижче.

$$\Delta m = \frac{V \cdot \rho_0}{100} * (\varphi_{\text{бажане}} - \varphi_{\text{теперішнє}}) \quad (2)$$

де:

V – об'єм інкубатора

ρ_0 – густина насиченого пару при конкретній температурі

$\varphi_{\text{бажане}}$ – бажана відносна вологість, яку необхідно отримати

$\varphi_{\text{теперішнє}}$ – теперішня відносна вологість в інкубаторі

Система повороту

Система повороту реалізована за допомогою сітки, як у інкубаторах першого типу[3].

Ідея полягає в тому, що між перетинками сітки кладуться яйця і за допомогою крокового мотору рухаючи сітку вправо та вліво відбувається поворот, при цьому яйця знаходяться в природному положенні. Серед мінусів - це необхідність збільшити площу інкубатора. Для того, щоб була відсутня необхідність для виводу переносити яйця в інше місце, після інкубації сітка за допомогою механізму підйому піднімається вгору.

Для забезпечення універсальності є можливість змінювати відстань між перетинками, що дозволить інкубувати дуже широкий спектр яєць.

Зв'язок з мережею

У якості WI-FI модулю було використано SoC(System on Chip) ESP8266[15].

Зв'язок ESP8266 з мікроконтролером відбувається за допомогою UART[16].

Зв'язок з сервером відбувається за допомогою протоколу MQTT[17].

Інформація про стан системи зберігається в звичайній реляційній базі даних на сервері та відображається на сайті або в Telegram боті при запиті.

Мікроконтролер

У мікроконтролера має бути CAN шина, RTC(real-time clock) та стандартні інтерфейси. Для цих задач чудово підійшов мікроконтролер STM серії F0[18].

Функція розробки програми інкубації реалізується за допомогою спеціальної форми на сайті та, після завершення розробки, завантажується в інкубатор. Також доступна можливість завантажувати програми сторонніх людей та впроваджувати їх в свої інкубатори.

Загальна блок схема приладу зображена на рис. 2.

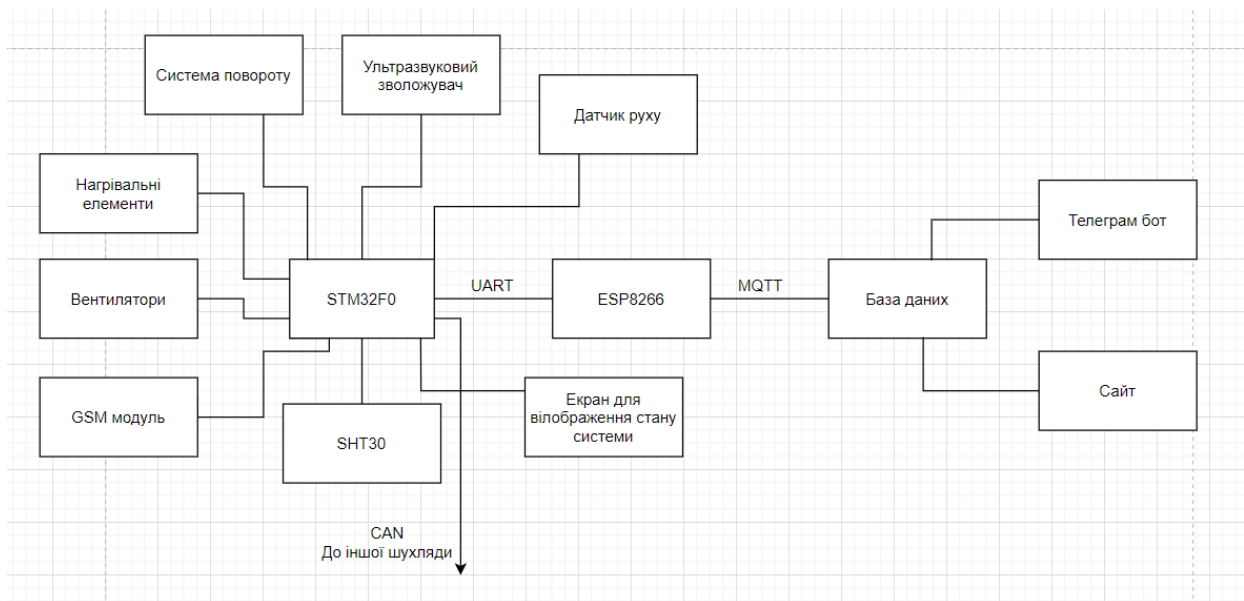


Рис 2. Загальна блок-схема приладу

Опис роботи

При першому включенні ESP8266 працює в режимі точки доступу. Після чого користувач має підключитися та ввести параметри мережі, до якої має підключитись інкубатор. Після підключення до мережі, користувач має змогу зайти на сайт та створити або взяти вже створену програму інкубації та завантажити її до інкубатору. Програма інкубації завантажується до бази даних, а після відбувається передача за допомогою MQTT на ESP8266, який в свою чергу передає її по UART на мікроконтролер STM32F0, де відбувається запис у постійну пам'ять мікроконтролера. Перед запуском інкубації мікроконтролер синхронізує час RTC з сервером та починає інкубацію.

На мікроконтролері розгорнута операційна система реального часу FreeRTOS[19]. Для кожного блоку, що зображено на рис. 2, створене своє окреме завдання в рамках операційної системи та ще два додаткових. Завдання першого

завдання - це запис програми інкубації, а другого - це читання команд та керування всіма іншими завданнями.

Під час інкубації сервер постійно тримає на зв'язку інкубатор. У випадку, якщо інкубатор не приймає сигнал, відразу відправляються необхідні сповіщення за допомогою Telegram боту та сайту.

Також відправляються негайні сповіщення у випадку будь-яких інших несправностей, наприклад, неможливість підтримки температури чи раптового відключення мережі живлення.

У випадку, якщо інкубатор працює без глобальної мережі, всі сповіщення будуть надходити за допомогою GSM на мобільний телефон у вигляді SMS (short message service).

Після закінчення інкубації, інкубатор переходить в режим виводу. В цьому режимі сітка піднімається вгору та вмикається датчик руху в режим сканування. У випадку рухів, Telegram бот або сайт сповістить про це користувача.

Висновки. У порівнянні з конкурентами запропонована розробка є технологічно розвиненішою. На ринку немає ще жодного інкубатора даного класу з WI-FI, також немає інкубаторів з можливістю погодинно завдавати програми інкубації. Насправді це революційна функція, адже вона дасть змогу написати програми інкубації досвідченим людям в даній сфері, що значно збільшить відсоток виводу молодняку. Також це дає можливість займатись інкубацією для специфічних тварин, таких як змії чи крокодили.

Універсальність даного інкубатора значно вища у порівнянні з іншими моделями. Це надає перевагу на ринку та є незамінною частиною сучасного господарства, пов'язаного з розведенням тварин.

Список використаних джерел:

57. Режими інкубації яєць. Вилучено з http://nakontroli.com.ua/ua/rezhimy_inkubacii_jaec.html
58. Прокудіна Наталія. (2017). Оптимальна інкубація для індиків. *Наше птахівництво*. Вилучено з <https://agrotimes.ua/article/optimalna-inkubaciya-dlya-indikiv/>
59. Інкубатор для яєць Б11-63. Вилучено з <https://cutt.ly/lyayjmJ>
60. Інкубатор Теплуша Europe 56. Вилучено з <https://cutt.ly/nyayzz9>

61. Інкубатор WQ 120. Вилучено з <https://cutt.ly/LyaycFq>
62. Шина CAN. *Вікіпедія*. Вилучено з https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus
63. Шина LIN. *Вікіпедія*. Вилучено з <https://cutt.ly/qthy7jj>
64. Шина RS-485. *Вікіпедія*. Вилучено з <https://en.wikipedia.org/wiki/RS-485>
65. Мікроконтролери STM. Вилучено з <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors.html>
66. Інкубаційний вентилятор 4см. Вилучено з <https://cutt.ly/XthyUhD>
67. Datasheet SHT3х-DIS. Вилучено з <https://cutt.ly/9yay7G0>
68. Керамічний нагрівальний елемент. Вилучено з <https://cutt.ly/athyTAB>
69. PID controller. *Вікіпедія*. Вилучено з https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller
70. Ультразвукові зволожувачі повітря. Вилучено з <https://cutt.ly/Othymak>
71. ESP8266 WI-FI module. *Вікіпедія*. Вилучено з <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266>
72. Basics of uart communication. Вилучено з <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>
73. MQTT. *Вікіпедія*. Вилучено з <https://en.wikipedia.org/wiki/MQTT>
74. STM32F0 Reference manual Вилучено з <https://www.ece.uvic.ca/~ece355/lab/supplement/stm32f0RefManual.pdf>
75. FreeRTOS. *Вікіпедія*. Вилучено з <https://en.wikipedia.org/wiki/FreeRTOS>

ДОДАТОК В

Участь у конференції XIV Міжнародна науково-технічна конференція
"Перспективи телекомунікацій 2020"

Стаття опублікована у збірнику за посиланням <https://cutt.ly/Cy01FON> на сторінці 196 (див. рисунок нижче)

Свіржевська А.І. ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЛАДІВ ДЛЯ МЕРЕЖ 5G МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ.....	190
Піхота К.В., Кононова І.В. АНАЛІЗ ЗАГРОЗ БЕЗПЕКИ ПРИСТРОЇВ ТА ПОСЛУГ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	193
Губар В.Г., Якименко О.О. ІНКУБАТОР ДЛЯ ЯЄЦЬ З ТЕХНОЛОГІЄЮ INTERNET OF THING	196
Сергієнко А.В., Губар В.Г. ДИСТАНЦІЙНО-ПРОГРАМОВАНИЙ КОНТРОЛЕР ДАТЧИКІВ ТА ПРИСТРОЇВ	199
Kremenetskaaya Y.A., Makarenko A.O., Hetmanets O.V., Trintina N.A. FUTURE 6G NETWORK FUNCTIONALITY AND PERFORMANCE.....	202

Рис В.1 Зміст збірника статей

Текст статті наведено нижче:

УДК 621.3

ІНКУБАТОР ДЛЯ ЯЄЦЬ З ТЕХНОЛОГІЄЮ INTERNET OF THING

Якименко О. О., Губар В.Г.

Факультет електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: o.yakymenko22@gmail.com

Eggs incubator with internet of things technology

Almost all existing incubators do not have remote control, notifications of emergency and possibility of creation incubation program. But these functions are extremely important for incubation. Upgrading incubator with IoT technology resolves all problems and extends incubator`s functionality.

Інкубаційний період перепелиних яєць складає близько 17 днів[1]. Зі збільшенням розмірів яєць час інкубації теж збільшується[1]. У випадку, якщо жодним чином не реалізоване автоматичне керування інкубатором, впродовж всього часу інкубації, фермеру потрібно кожного дня особисто контролювати процес. У випадку виникнення надзвичайних ситуацій, без сповіщень, фермер не зможе оперативно реагувати на події, що може призвести до значних збитків.

Іншою проблемою є універсалізація. Зазвичай, у господарстві фермер має декілька видів тварин. І робити окремі покупки інкубаторів для різних тварин є економічно не вигідним та не рентабельним. Не кажучи вже про екзотичні тварини - такі як змії чи крокодили.

Для успішної інкубації, інкубатор має підтримувати встановлену температуру, вологість, робити періодичний поворот яєць та забезпечувати циркуляцію повітря. Але, якщо в інкубатор вбудувати інтернет речей, то можливості інкубатору значно розширюються і він вже може забезпечити такі вимоги:

- Віддалений контроль та керування
- Сповіщення у Telegram або на пошту у випадку надзвичайних ситуацій та по закінченню інкубації
- Створення погодинних програм інкубації для будь-яких тварин
- Використання вже створених програм інкубації

Після аналізу ринку, а саме, відомих сайтів таких як Amazon, AliExpress, було виявлено, що з базовими можливостями є безліч моделей інкубаторів різного класу, але з функцією інтернету речей було знайдено лише блок керування однієї моделі[2], але без можливості створення програм інкубації. Готового рішення інкубатору знайдено не було.

При розробці експериментального зразку інкубатору слід в першу чергу звернути увагу на підтримку умов мікроклімату.

Для вимірювання температури і вологості було використано точний датчик SHT30[4]. У якості нагрівального елемента було використано два малопотужні

керамічні елементи[5]. Стабільність температури забезпечується за допомогою алгоритму ПІД[3] регулятора. Підбір коефіцієнтів для забезпечення правильної роботи відбувався за допомогою методу Циглера-Нікольса[3].

Для підтримки вологості використовується ультразвуковий зволожувач[6] повітря.

Для розрахунку часу роботи зволожувача для виділення певної маси води використаємо формули наведені нижче:

$$t = \frac{\Delta m}{r}, \text{де}$$

t – час, час роботи випаровувача

Δm - маса води, яку необхідно випарувати

r – витрати води ультразвукового випаровувача в мл/год

$$\Delta m = \frac{V * \rho_0}{100} * (\varphi_{\text{бажане}} - \varphi_{\text{теперішнє}}), \text{де}$$

V – об'єм інкубатора

ρ_0 – густина насиченого пару

$\varphi_{\text{бажане}}$ – вологість, яку необхідно отримати

$\varphi_{\text{теперішнє}}$ – нинішня вологість в інкубаторі

Для встановлення інтернет з'єднання було обрано Skylab SKW92B[7]. Це простий одноплатний мікрокомп'ютер, на якому реалізовано роботу спеціалізованого для мережеских рішень дистрибутиву Linux під назвою openWRT[8]. На відмінну від SoC ESP8266, даний модуль дає можливість використовувати для програмування високорівневі мови програмування, такі як Python. Це в свою чергу дає змогу впровадити повністю асинхронний обмін даними з сервером за допомогою Python реалізації технології WebSocket.

Обмін даними між мікрокомп'ютером та мікроконтролером відбувається за допомогою протоколу UART(universal asynchronous receiver-transmitter).

Програма інкубації зберігається в постійній пам'яті мікроконтролера.

Інформація про стан системи впродовж всього періоду інкубації зберігається як в постійній пам'яті на мікрокомп'ютері локально так і в базі даних на сервері. Це дає змогу у випадку зникнення WI-FI не втратити інформацію та при відновленні зв'язку синхронізувати локальну базу даних з базою даних на сервері.

Написання програм інкубації відбувається в спеціальному інтерфейсі в особистому кабінеті на сайті. Та завантажується в інкубатор в момент, коли забажає користувач. За бажанням фермер також має можливість завантажувати сторонні програми інкубації, зроблені кимось раніше. Таким чином фахівці з інкубації зможуть зробити свою науково обґрунтовану програму інкубації та опублікувати її в публічний доступ. Це дасть змогу збільшити ефективність інкубації.

Крім сайту, як інтерфейс до інкубатору також виступає Telegram бот, тож інформацію про стан інкубатору можна за допомогою простих запитів в додатку Telegram.

Впродовж інкубації сервер постійно відправляє до інкубатора тестові повідомлення. Таким чином, у випадку, якщо відбудеться надзвичайна ситуація, сервер буде про це знати і відбудеться негайне сповіщення за допомогою Telegram.

У випадку, якщо WI-FI мережа недоступна, то для управління інкубатор створює власну точку доступу до якої може підключитись користувач. У випадку надзвичайної ситуації сповіщення будуть надходити за допомогою каналу зв'язку мобільних телефонів GSM(Global System for Mobile Communications) методом відправки SMS(short message service) повідомлень користувачу.

Підсумувавши, впровадження інтернету речей в інкубатор значно змінило процес інкубації. Можливість подивитись інформацію про стан інкубації з будь-якого місця, значно економить час фермерів. Миттєві сповіщення в будь-який момент часу про можливу проблему, значно збільшить надійність інкубації та звільняє фермера від особистого постійного контролю за процесом. Зручне створення програм інкубації на смартфоні чи комп'ютері збільшує

універсалізацію інкубатора для будь-яких тварин навіть специфічних. Та звільняє фермера від періодичної ручної зміни умов інкубації.

Література

1. Інкубація різних видів птиць.
URL: <https://good-tips.pro/index.php/farm/poultry/incubation-of-eggs-different-types-of-poultry-in-one-incubator>(дата звернення: 15.03.2020)
2. Блок керування WI-FI інкубатору.
URL:https://www.amazon.com/UKSAT-Incubator-Controller-Temperature-Intelligent/dp/B0861WWNRR/ref=sr_1_2?dchild=1&keywords=eggs+incubator+wi-fi&qid=1584794111&sr=8-2(дата звернення: 20.02.2020)
3. ПІД контролер.
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller(дата звернення: 20.03.2020)
4. Датчик температури та води
URL: <https://cutt.ly/pthusuJ>(дата звернення: 20.03.2020)
5. Нагрівальні елементи інкубатора
URL: <https://cutt.ly/athyTAB>(дата звернення: 20.03.2020)
6. Ультразвуковий зволожувач повітря
URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Humidifier> (дата звернення: 20.03.2020)
7. Одноплатний комп'ютер Skylab SKW92B
URL: <http://www.skylabmodule.com/skw92b/> (дата звернення: 20.03.2020)
8. Дистрибутив Linux openWRT
URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenWrt> (дата звернення: 20.03.2020)

ДОДАТОК Г

Блок керування інкубатором. Перелік елементів

Перелік елементів наведено у файлі ДК61.272115.001 ПЕЗ

ДОДАТОК Д

Плата. Специфікація

Специфікацію наведено у файлі ДК61.750706.001 СП