

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«БАГАТОСЕНСОРНИЙ РАДІОТЕХНІЧНИЙ ПРИСТРІЙ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ ДЛЯ ІОТ СИСТЕМ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Окара М.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

Осадчук Я.О.

(прізвище та ініціали)

«12» 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

«13» 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«13» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Окарі Максиму Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем»

керівник роботи к.т.н., доц., доцент кафедри ІРТС Осадчук Я.О.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» 09.2024 р. №310.

2. Строк подання студентом роботи 13.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: діапазон встановлення температури – не вужче -50 - +100 °С. напруга живлення не більше 9 В. Кількість датчиків – не менше 2. Споживана потужність – не більше 5 Вт. Розміри – не більше 130×100×70 мм. Передбачити цифрову індикацію температури. Діапазон робочих температур – -40 °С +80 °С.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз сучасного стану радіоелектронних датчиків моніторингу стану повітря приміщення для інтернету речей. Вибір і обґрунтування структурної схеми пристрою та її попередній розрахунок. Електричні розрахунки каскадів пристрою. Розроблення програмного забезпечення та комп'ютерне схемотехнічне моделювання каскадів пристрою. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): узагальнена структура пристрою; структурна схема пристрою; блок-схема пристрою; блок-схема алгоритму роботи програми мікроконтролера; результати комп'ютерного моделювання частотних характеристик пристрою; результати комп'ютерного моделювання перехідної та імпульсної характеристик пристрою.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент каф. ІРТС, доцент, к.т.н. Осадчук Я.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	17.09.2024-30.09.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.10.2024-20.10.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2024-04.11.2024	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	05.11.2024-15.11.2024	
7.	Економічна частина.	16.11.2024-25.11.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.11.2024-01.12.2024	
9.	Нормоконтроль.	02.12.2024-07.12.2024	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	09.12.2024-12.12.2024	
11.	Захист МКР ЕК.	14.12.2024-17.12.2024	

Студент


(підпис)

Окара М.Ю.

Керівник роботи


(підпис)

Осадчук Я.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396.6

Окара М. Ю. Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 127 с. На українській мові. Бібліогр.: 48 назв; Табл. 12; Рис. 37.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено радіотехнічні пристрої вимірювання температури, які призначений як елемент IoT для моніторингу внутрішнього середовища. Це портативний, невеликий, легкий, енергоефективний пристрій з прямим зчитуванням. Пристрій має інноваційний дизайн і конструкцію. Використовувалися комерційні недорогі датчики, які були розташовані в окремих сенсорних модулях. Пристрій може збирати величезні обсяги даних про середовище в приміщенні, щоб надавати відповідну інформацію в IoT. Пристрій може бути налаштований для управління приводами різних допоміжних пристроїв і обладнання, включаючи зовнішні системи, що використовуються для вентиляції, опалення та кондиціонування повітря. Прототип повністю робочий. Показано зразкові результати моніторингу температури.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини.

Ключові слова: якість середовища в приміщенні, температура повітря в приміщенні, датчик, моніторинг, Інтернет речей (IoT).

ABSTRACT

Okara M. Y. Multisensor radio engineering device for monitoring indoor microclimate parameters for IoT systems. Master's qualification work in speciality 172 - Electronic communications and radio engineering, educational programme - Radio Engineering: VNTU, 2024. 127 p. In Ukrainian. Bibliography: 48 titles; Table 12; Fig. 37.

In his master's thesis, he developed a radio-technical temperature measurement device that is intended as an IoT element for monitoring the indoor environment. It is a portable, small, lightweight, energy-efficient device with direct reading. The device has an innovative design and construction. Commercially available low-cost sensors were used, which were located in separate sensor modules. The device can collect huge amounts of data about the indoor environment to provide relevant information in the IoT. The device can be configured to control the drives of various auxiliary devices and equipment, including external systems used for ventilation, heating and air conditioning. The prototype is fully operational. Exemplary temperature monitoring results are shown.

The master's qualification work also includes calculations of the economic part.

Keywords: indoor environmental quality, indoor air temperature, sensor, monitoring, Internet of Things (IoT).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ДАТЧИКІВ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....	11
1.1 Огляд сучасного стану сенсорів мікроклімату приміщення.....	11
1.2 Параметри мікроклімату приміщень.....	13
1.3 Будова радіотехнічного багатосенсорного пристрою для IoT	14
1.4 Обґрунтування доцільності застосування багатосенсорного радіотехнічного пристрою моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем.....	27
1.5 Висновки до розділ.....	31
2 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ТА ЇЇ ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК.....	32
2.1 Узагальнена структурна схема	32
2.2 Вибір можливих схемних рішень	33
2.3 Особливості побудови схем терморегуляторів на основі операційних підсилювачів.....	37
2.4 Вибір елементної бази	39
2.5 Попередній розрахунок терморегулятора	48
2.6 Розробка блоку живлення	49
2.7 Розробка структурної схеми	51
2.8 Висновки до розділу.....	52
3 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ КАСКАДІВ ПРИСТРОЮ.....	54
3.1 Розрахунок цифрового термометра	54
3.2 Розрахунок терморегулятора.....	61
3.3 Розрахунок силової частини блоку живлення	68
3.4 Розроблення безперебійної частини блоку живлення	69
3.5 Висновки до розділу.....	70

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

КАСКАДІВ ПРИСТРОЮ 71

4.1 Передача даних та інтерфейси 71

4.2 Вибір типу мікроконтролера 73

4.3 Розроблення блок-схеми алгоритму програми..... 75

4.4 Моделювання блоку терморегулятора 77

4.5 Висновки до розділу..... 84

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 85

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту

науково-технічної розробки..... 85

5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки 88

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи 91

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки

при її можливій комерціалізації потенційним інвестором..... 104

4.5 Висновки до розділу..... 109

ВИСНОВКИ 110

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 112

Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал 117

Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної

(магістерської) кваліфікаційної роботи.....126

ВСТУП

Актуальність теми.

Більшу частину часу люди проводять у приміщенні. Якість внутрішнього середовища (IEQ) має сильний вплив на здоров'я, безпеку, продуктивність і загальне самопочуття людини [1, 2, 3]. Зростає кількість наукових доказів того, що низькі проблеми зі здоров'ям і скарги пов'язані з низьким IEQ. Вони варіюються від тимчасового сенсорного подразнення дихальних шляхів до захворювань, які можуть бути небезпечними для життя. Якість внутрішнього середовища найпростіше описується як умови всередині будівлі. Цей термін включає якість повітря, тепловий комфорт, вологість, візуальні та акустичні умови, денне світло, освітлення та рівні електромагнітного випромінювання [4]. Особливо важливим елементом IEQ є якість повітря в приміщенні (IAQ). Це стосується якості повітря в будівлях і спорудах і навколо них, особливо в тому, що стосується здоров'я та комфорту мешканців будівлі.

Останнім часом зріс попит на покращення IEQ. Пропонуються різні стратегії [5]. Інтернет речей (IoT) може відігравати важливу роль у досягненні високого IEQ. IoT дозволяє підключати різні фізичні об'єкти до Інтернету, дозволяючи їх відстежувати та контролювати, а відповідні дані збираються в режимі реального часу. IoT пропонує численні переваги, такі як підвищення енергоефективності, безпеки, зручності та якості життя мешканців. Крім того, можна досягти покращення IEQ на основі IoT. Однак необхідна відповідна інформація про фізичні, хімічні та біологічні умови всередині будівель.

Аналіз останніх досліджень

Загалом, доступно багато методів і технік для отримання необхідних даних. Одна з них заснована на спостереженні окремих явищ, елементів або особливостей навколишнього середовища. Цей підхід має переваги, але також і серйозні недоліки; наприклад, не все помітно, спостереження має бути тривалим, тому воно займає багато часу, коштує дорого, а особиста упередженість спостерігача впливає на інформацію багатьма способами [6, 7]. Крім того, безліч факторів, що впливають на IEQ, часто робить спостереження

неточними, нездатними охопити складність ситуацій і неадекватними для практичного застосування.

Інша стратегія спирається на вимірювання параметрів внутрішнього мікроклімату, які виражають фізичні, хімічні та біологічні умови, в яких відчують мешканці та працівники. Мікроклімат у будівлях представлений змінними навколишнього середовища, включаючи температуру, вологість, повітряний потік (тепловий мікроклімат), іонізуюче та неіонізуюче випромінювання, шум, вібрацію та хімічні та біологічні забруднення [8].

Мета, об'єкт і предмет дослідження.

Метою роботи є удосконалення радіотехнічних пристроїв вимірювання температури для IoT систем.

Об'єкт дослідження – процеси перетворення температури в амплітуду змінного струму в датчиках температури.

Предмет дослідження – параметри та характеристики радіоелектронних датчиків температури.

Задачі дослідження

- Здійснити огляд структурної схеми пристрою.
- Виконати розрахунок елементної бази.
- Застосувати програмне забезпечення моделювання.
- Розрахувати розділ економіки.

Методи дослідження

При розв'язанні поставлених задач були використані теоретичні та експериментальні дослідження. Теоретичні - засновані на перегляді літературних джерел та вибору оптимальних методів.

Новизна одержаних результатів

Удосконалені радіотехнічні пристрої вимірювання температури для IoT систем. Ця робота має на меті представити інноваційний дизайн і конструкцію мультисенсорного пристрою, який працює на місці та надає дані, що характеризують IEQ. Запропоноване рішення реалізує вплив датчиків при динамічному відборі проб газу. Це характерно, оскільки стратегія пасивної

вибірки зазвичай використовується в пристроях прямого зчитування, розроблених з урахуванням програм моніторингу IAQ та IEQ. Новизна полягає в технічному аспекті представленого рішення. Особливо цікавим елементом в пристрої є оригінальне розташування сенсорної камери, яка впливає на динаміку сигналу датчика. Це також дозволяє використовувати вентилятор замість вакуумного насоса для відбору зразка газу, що зменшує споживання енергії пристроєм. На нашу думку, представлений мультисенсорний пристрій може бути цінним варіантом у програмах моніторингу внутрішнього середовища. Може використовуватися як портативний прилад або елемент (вузол) мережі моніторингу.

Обсяг і структура роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 12 таблиць, 37 рисунка та 48 літературних джерел.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ДАТЧИКІВ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

1.1 Огляд сучасного стану сенсорів мікроклімату приміщення

Моніторинг IEQ є складним через складність мікроклімату в приміщенні. Ряд біотичних і абіотичних факторів може впливати на умови, яким піддаються мешканці. Крім того, вони демонструють часові та просторові варіації. Отже, для отримання інформації про внутрішні параметри потрібен певний набір методів вимірювання та інструментів. Методи не можуть бути дорогими або трудомісткими, і вони не вимагають навченого та досвідченого персоналу. Надана інформація має бути об'єктивною та піддаватися кількісному виміру. Варто зазначити, що менш точні, але простіші, швидші та зручніші методи є цілком задовільними та бажаними для рутинного моніторингу [9]. Для вимірювання параметрів внутрішнього середовища можна використовувати різні методи [10]. Дуже ефективний підхід заснований на сенсорній технології. Сьогодні датчикам приділяється підвищена увага в галузі моніторингу внутрішнього середовища, оскільки вони унікальні своєю здатністю записувати різні часові дані в режимі реального часу [11]. Однак слід підкреслити, що досягти високоякісного моніторингу IEQ за допомогою недорогих датчиків є складним завданням.

Як правило, моніторинг мікроклімату всередині будівлі базується на періодичних або постійних вимірюваннях. Більшість існуючих систем для безперервного моніторингу внутрішнього середовища в реальному часі є стаціонарними дротовими або бездротовими сенсорними мережами [12]. Мережа датчиків — це група датчиків, розподілених у численних точках вимірювання, які збирають і, зрештою, надсилають дані в центральне розташування для зберігання, перегляду та аналізу. Він може збирати величезну кількість даних про навколишнє середовище, щоб швидко оцінити умови

всередині будівлі та негайно активувати засоби керування для досягнення належної корекції. Сенсорні мережі надають найдетальнішу інформацію про поточний стан мікроклімату в приміщенні, а також часові зміни IEQ [13]. До недавнього часу стратегія, заснована на безперервних вимірюваннях, не заохочувалась через вартість мереж моніторингу та зусилля, необхідні для встановлення та калібрування датчиків. Встановлення цього обладнання в існуючих будівельних конструкціях, а також у нових будівлях є дорогим заходом. На даний момент доступна обмежена кількість стаціонарних систем для постійного моніторингу IEQ.

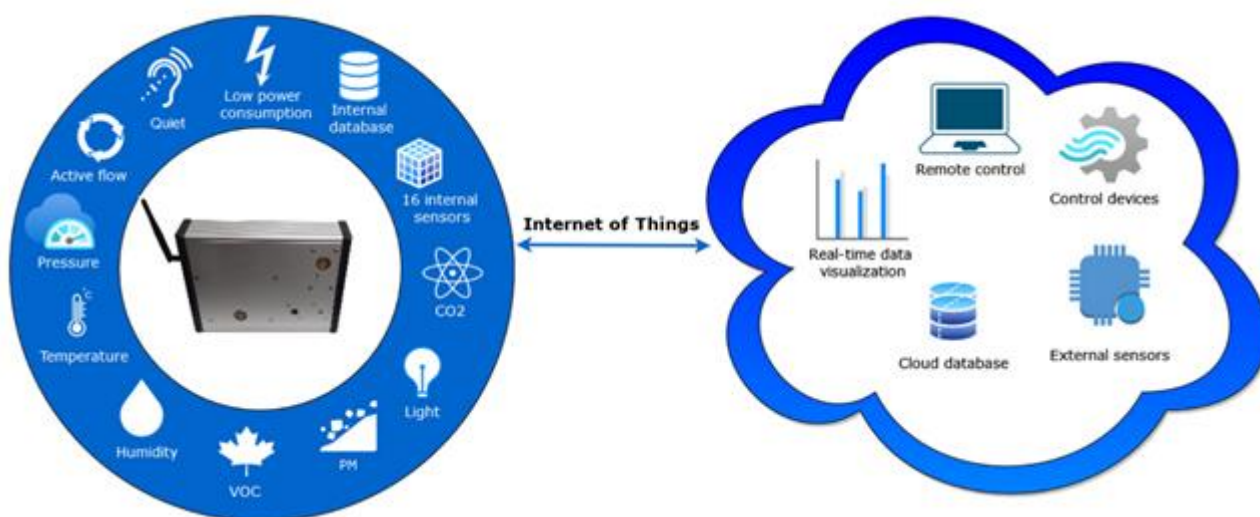


Рисунок 1.1 – Загальна діаграма застосування сенсорів мікроклімату приміщення для системи Інтернету речей

Оскільки сенсорні мережі часто є надзвичайно дорогими та непрактичними, особливо для великомасштабних застосувань або з детальним розгортанням датчиків, інформацію про мікроклімат у приміщенні найбільш охоче отримують за допомогою портативних вимірювальних приладів із прямим зчитуванням [14]. Існує багато типів цих пристроїв. Доступні інструменти сильно відрізняються за складністю, ціною та характеристиками продуктивності [15]. Прогрес електроніки та сенсорних технологій дозволяє значно вдосконалити прилади прямого зчитування та підвищити потенціал їх застосування.

1.2 Параметри мікроклімату приміщень

Передбачалося, що розроблений сенсорний пристрій має базуватися на сенсорній технології. Сьогодні датчикам приділяється підвищена увага в сфері моніторингу внутрішнього середовища, оскільки вони дають можливість створювати автоматизовані пристрої, які:

Може працювати протягом тривалих періодів (тижнів або місяців) з мінімальною увагою/втручанням оператора;

Широко доступні;

Забезпечення безперервних онлайн-вимірів різних фізичних і хімічних величин з високою тимчасовою роздільною здатністю;

Прості у використанні;

Забезпечують хорошу точність, чутливість і повторюваність вимірювань.

Датчики використовують різні принципи виявлення, тому вони сильно відрізняються за складністю, ціною та характеристиками продуктивності.

При розробці представленого пристрою були враховані такі фактори, як вартість, енергоспоживання та використання простору. Передбачалося, що мешканці повинні сприймати його як невід'ємну частину внутрішнього середовища. Пристрій не може перешкоджати діяльності мешканців у кімнаті. Він повинен: 1) займати невеликий простір і не порушувати організацію простору всередині приміщення, 2) бути безшумним (у досяжних межах), 3) не впливати на склад повітря та його природну циркуляцію в приміщенні та 4) не впливає на теплові умови (не може виділяти або споживати значну кількість тепла).

Через комплекс факторів, що впливають на мікроклімат в приміщенні, прилад був розроблений для вимірювання багатьох параметрів навколишнього середовища. Його потенціал вимірювання був націлений на температуру, відносну вологість, тиск, концентрацію CO₂, вміст летких органічних сполук, включаючи формальдегід, концентрацію NO_x і концентрацію твердих частинок, а також інтенсивність світла. Часові варіації IEQ викликають необхідність

безперервних вимірювань. Передбачалося, що залежно від потреб сеанси моніторингу можуть бути короткостроковими або довгостроковими, але дані завжди надаються в режимі реального часу. У зв'язку з просторовою різноманітністю параметрів приміщення пристрій розроблено як переносну конструкцію. Розташування цього інструменту можна швидко і легко змінювати в одній кімнаті, а також між кімнатами. Фактичне розташування пристрою можна вибрати, виходячи з розташування приміщення та наявності технічної інфраструктури (електропостачання та WiFi). Внутрішній простір зазвичай обмежений; тому пристрій був розроблений як компактна, міцна конструкція, виготовлена з міцних елементів. Важливою вимогою була його портативність і можливість застосування в IoT.

1.3 Будова радіотехнічного багатосенсорного пристрою для IoT

Загальний вигляд радіовимірювального пристрою наведено на рисунку 1.2.

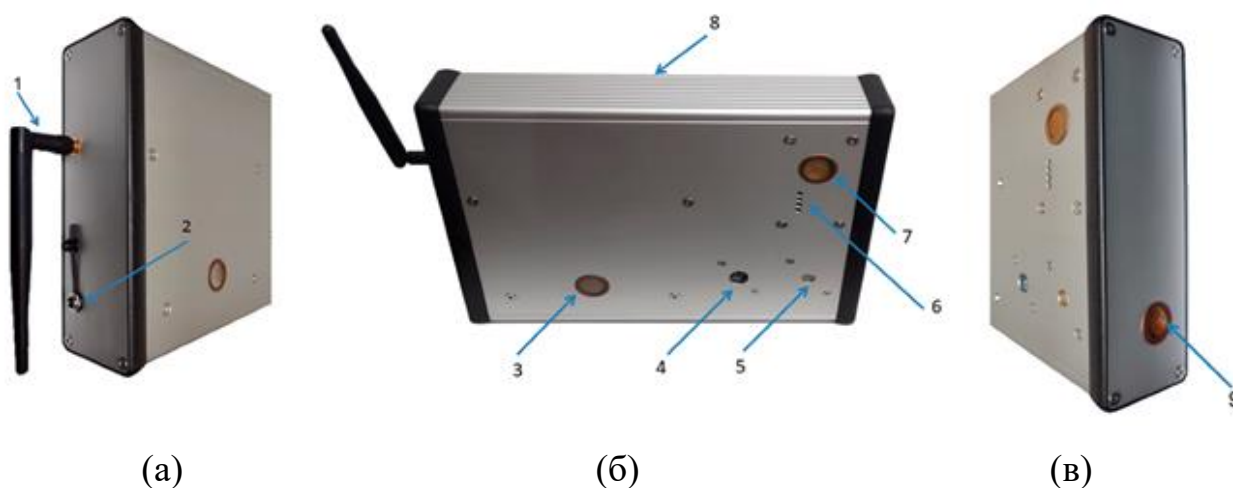


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд радіотехнічного багатосенсорного пристрою для IoT: вигляд спереду (а), збоку (б) і ззаду (в)

На рисунку 1.2 наведено загальний вигляд вимірювального приладу (220 мм × 165 мм × 51,5 мм, маса 1300 г). (а) Вид зліва. (б) Вид спереду. (в) Вид

справа. На рисунку 1.2 використані такі позначення: 1 - Wi-Fi антена, 2 - розетка живлення DC 5 В, 3—вхід газу для багатoeлементного сенсорного модуля, 4 - датчик інтенсивності світла, 5 - датчик тиску, 6 - вихід газу для модуля датчика PM5003, 7 - вхід газу для Сенсорний модуль PM5003, 8 - алюмінієвий корпус і 9 - вихід газу для багатoeлементного сенсорного модуля.

1.3.1 Режим роботи

Прилад призначений для вимірювань на місці. Режим роботи заснований на безперервних, коротко- або довготривалих вимірюваннях. Розташування пристрою під час сеансу вимірювання фіксоване, але його можна легко змінити.

Прилад був розроблений як система потоку зразків. У цьому режимі роботи датчики розміщені в потоці газу, що забезпечує швидкий обмін атмосфери всередині вимірювальної камери. Прилади прямого зчитування з потоком зразка зручні, оскільки процес вимірювання короткий і простий у використанні.

1.3.2 Реалізовані операції та функціональні модулі

Вісім функцій є основними для роботи сенсорного пристрою:

Відбір проб газу;

Генерація відгуків датчиків на фізичні та хімічні величини;

Генерація електричного вимірювального сигналу;

Формування електричного сигналу;

Перетворення електричного сигналу;

Збір і зберігання даних;

Попередня обробка сигналу;

Візуалізація даних;

Калібрування.

1.3.2.1 Відбір проб газу

Робота приладів прямого зчитування може бути заснована на пасивному (дифузійному) або активному (динамічному) способі відбору.

Пасивне відбір проб є простим і беззвучним, і не потребує споживання енергії. Модуль відбору проб дуже малий, що спрощує конструкцію чутливого пристрою. Об'єм газової проби невеликий; таким чином, операція відбору проб мало впливає на склад повітря в приміщенні навколо пристрою. Однак пасивна вибірка також має недоліки. Недоліком цього підходу є те, що під час вимірювань датчики безпосередньо піддаються впливу змін умов навколишнього середовища. Місцева турбулентність повітря спричиняє коливання сигналів датчиків і містить шумові, перехідні шаблони. Це можна подолати шляхом усереднення. Однак наша програма має бути чутливою до короткочасних подій, що відбуваються всередині приміщень; отже, пристрій, що надає інтегровані в часі дані, не є привабливим. Пасивний відбір проб не дозволяє швидко реагувати датчику на зміни складу повітря в приміщенні. Це є результатом обмеженої динаміки дифузії. Дифузійний відбір вимагає прямого контакту між датчиком і навколишнім газом. Таким чином, результат вимірювань, заснованих на пасивному принципі, представляє склад газу в області декількох кубічних сантиметрів навколо датчика. Швидкість повітрообміну, спричинена дифузією, низька. Отже, реакція датчика на навколишній газ може бути нерепрезентативною для більш віддалених точок. Відомо, що властивості внутрішнього середовища зазвичай демонструють високу просторову та часову мінливість.

Активна вибірка частково зменшила недоліки пасивної стратегії. У цьому підході повітря в приміщенні безперервно видаляється з місця вимірювання, а потім транспортується до датчика. Динаміка відгуку датчика при активній дискретизації значно вища, ніж при використанні пасивної дискретизації. Просторова репрезентативність отриманого результату вимірювання краща, оскільки він відноситься до більшого простору. Звичайно, динамічна вибірка також має кілька обмежень. Вони обумовлені необхідністю використання газодвигуна, сенсорної камери та системи подачі газу. Ці вимоги впливають на вагу, розмір і компактність сенсорного пристрою, а також на його енергоспоживання. На вирішення цих проблем була спрямована дана робота.

Новизна даної роботи полягає в технічній стороні запропонованого рішення, яке реалізує сенсорне опромінення при динамічній вибірці. На нашу думку, розроблена конструкція чутливого пристрою заслуговує на увагу. Особливо цікавим елементом є оригінальне розташування камери датчика, яке впливає на динаміку сигналу та дозволяє використовувати вентилятор замість насоса для відсмоктування зразка газу, що зменшує споживання енергії приладом. На нашу думку, запропонований підхід може бути цінним варіантом у застосуванні моніторингу внутрішнього середовища. Звичайно, представлений варіант пристрою не є ультимативним. Його можна і буде модифікувати на основі накопиченого досвіду вимірювань. Прототип пристрою, який ми розробили, почав працювати кілька тижнів тому, і ми щойно почали вимірювання, щоб перевірити його продуктивність.

1.3.2.2 Генерація відгуків датчиків на фізичні та хімічні величини

Вимірювання фізичних і хімічних величин у пристрої базується на сенсорній технології. Подразник навколишнього середовища викликає зміни певного електричного параметра. Величина зміни є функцією значення вимірюваної величини. Отримана відповідь датчика створює аналоговий вихід, який залежить від величини, що контролюється.

1.3.2.3 Генерація електричного вимірювального сигналу

Реакція датчика має бути перетворена в електричний сигнал (зміна напруги).

Основним джерелом інформації в представленому методі вимірювання є сигнал. Його генерація є ключовим питанням у роботі сенсорного пристрою. Генерація сигналу здійснюється за допомогою інтерфейсних схем. На практиці реакція датчика на вимірювану величину реєструвалася на резисторі навантаження. Вихідний сигнал був згенерований у вигляді послідовності необроблених змін напруги на опорі навантаження, підключеному до датчика.

У представленому пристрої сигналом була напруга на виході дільника напруги (див. рис. 1.3). Конструкція дільника напруги базується на інформації про продукт, запропонованій для датчиків TGS2600 і TGS2602. Прикладений опір навантаження становив від 5 кОм до 15 кОм. Його значення регулюється поворотним потенціометром (0–10 кОм). Мінімальний опір навантаження (5 кОм) визначався резисторами R13 і R14. Він ідентичний застосованому для датчика TGS2602 (цифри 1–4 позначають штифти відповідно до паспорту датчика).

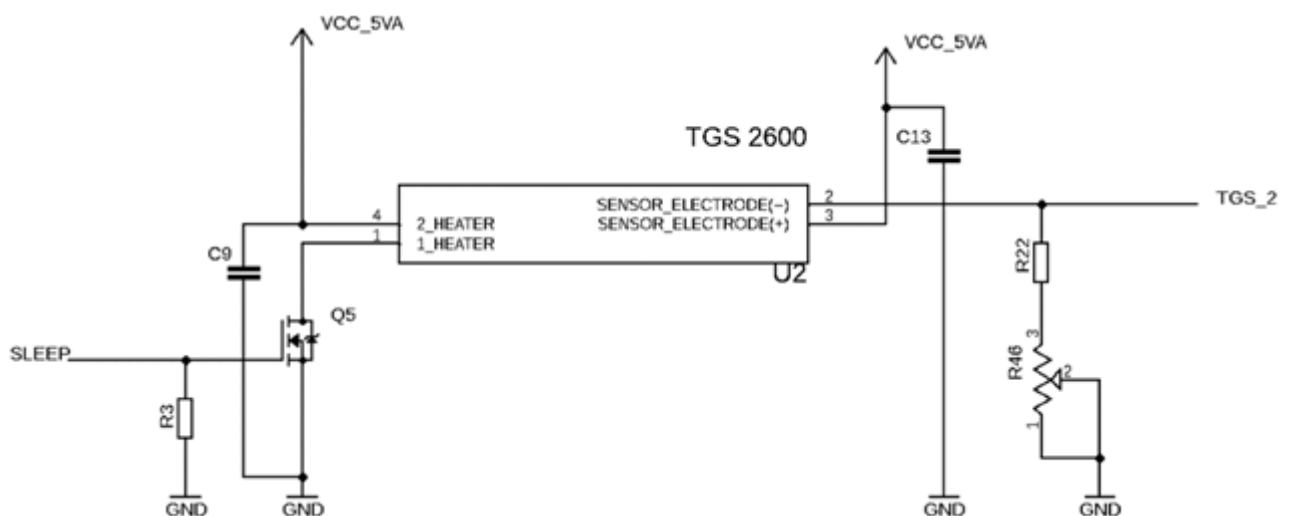


Рисунок 1.3 – Подільник напруги для датчика TGS2600

1.3.2.4 Кондиціонування електричного сигналу

Електричні сигнали, що генеруються схемами інтерфейсу датчика, часто не підходять для збору даних і повинні додатково оброблятися декількома аналоговими схемами формування сигналу. Кондиціонери стандартизують рівень сигналу від вимірювального перетворювача до діапазону вхідної напруги аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Чотири основні ролі цих схем: буферизація, підсилення, фільтрація, компенсація та деякі інші спеціальні функції. Сигнали можуть бути забруднені різними шумами.

Відповідні активні RC-фільтри на основі операційного підсилювача MCP6004 (Microchip Technology, Чандлер, Аризона, США) використовувалися для забезпечення максимального зменшення шуму, як показано на рис. 1.4 .

Застосовувані значення були $R = 100 \text{ кОм}$ і $C = 1 \text{ мкФ}$ для досягнення граничної частоти 1,59 Гц.

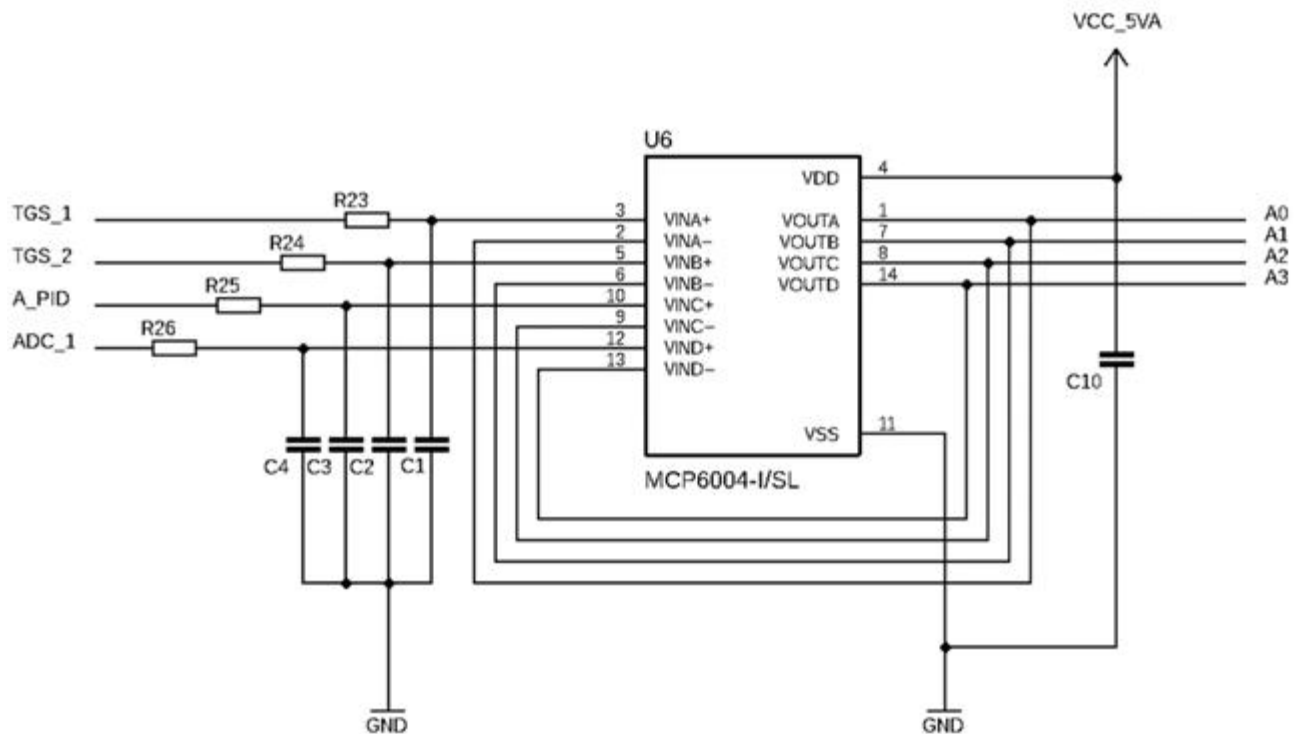


Рисунок 1.4 – Електронна схема активного RC фільтра, застосованого в пристрої. Цифри 1–14 позначають штифти відповідно до специфікації MCP6004

1.3.2.5 Перетворення електричного сигналу

Вимірювальний сигнал на виході перетворювача є аналоговою величиною, яка описується неперервною функцією $x(y)$, як правило, змінною $x(t)$, що залежить від часу. Для обробки вимірювальних сигналів у цифрових системах аналогові сигнали повинні бути перетворені в цифрові сигнали, які записуються у вигляді двійкових слів. Це перетворення здійснюється за допомогою аналого-цифрових перетворювачів. Зворотна операція, тобто цифро-аналогове (ЦАП), також дуже часто необхідна. Ця операція виконується цифроаналоговими перетворювачами (ЦАП).

Спеціальна електронна система ADS1115 (Texas Instruments Inc, Dallas, TX, USA) була використана для створення цифрового сигналу, який може зчитувати комп'ютер. Частота дискретизації, параметр, що описує зменшення

безперервного сигналу до дискретного, у цьому дослідженні була набагато вищою, ніж варіації відповідей датчика. Застосований АЦП дозволяє виконувати від 8 до 860 перетворень протягом 1 с. Цифровий сигнал вичерпно відображав зміни питомого опору датчика, спричинені варіаціями вимірюваної величини. Ключовим параметром АЦП є роздільна здатність. Цей параметр є дискретним значенням, що вказує на точність квантування сигналу, яке представляє зміну напруги на виході активних RC-фільтрів. Застосований ADS1115 налаштований на роботу з напругою 5 В з роздільною здатністю 12 біт, що дозволяє квантувати сигнал напруги з точністю до 1,22 мВ. Виходячи з нашого досвіду, ця роздільна здатність є достатньою для виявлення змін у середовищі, що контролюється, за умови, що роздільна здатність вимірювання датчика газу знаходиться на рівні секунд. Використовуючи 12-бітну роздільну здатність, ми також економимо на розмірі передачі даних, її часу та частоті. Застосовуваний ADS1115 широко доступний і дешевий.

1.3.2.6 Збір і зберігання даних

Модуль збору даних використовується для перетворення даних у формат, який можна інтерпретувати, а потім для їх збору. У пристрої збір даних здійснюється в режимі реального часу з регулярними інтервалами за замовчуванням 10 с. Цей параметр визначається оптимізованим алгоритмом зчитування індивідуального датчика. Застосовувана послідовність така:

- Запустіть налаштування UART для датчика PMS5003;
- Датчик PMS5003 — запустити процес вимірювання;
- Запустіть налаштування UART для датчика CO 2 Cozir CO 2 Blink;
- Cozir CO 2 Blink датчик — УВІМКНЕННЯ живлення та початок ініціалізації (необхідний час < 4 с);
- Читання дати та часу з RTC (годинник реального часу);
- Зчитування з датчика BH1750;
- Читання даних з АЦП перетворювачів (TGS2600, TGS2602, PID-AH2);
- Зчитування з датчика Grove Multichannel Gas Sensor v2;

- Зчитування з датчика MPL3115A2;
- Зчитування з Cozir CO 2 Blink датчика;
- Датчик миготіння Cozir CO 2 —Вимкніть живлення;
- Запустіть налаштування UART для датчика PMS5003;
- Зчитування з датчика PMS5003;
- Зберігайте дані на картці microSD.

Дані вимірювань зберігаються в електронному вигляді на SD-карті разом із параметрами, що представляють фактичну дату та час. Високоточний годинник реального часу (RTC) DS3231 (Analog Devices, Вілмінгтон, Каліфорнія, США) застосовувався для відображення часу в секундах, хвилинах, годинах, датах, місяцях і роках. Годинник оснащено альтернативним джерелом живлення (акумулятором), тому він продовжуватиме відображати час, навіть якщо основне джерело стане недоступним і не потрібно буде повторно налаштовувати пристрій. Дані записуються безперервно після фрагментації для формування файлів розміром 200 КБ. Це рішення дозволяє мінімізувати навантаження на мережу і гарантує підтримку стабільного з'єднання. Усі дані, зібрані пристроєм, доступні віддалено в режимі реального часу. Перш ніж дані будуть збережені на карті пам'яті, вони записуються в глобальну таблицю «SensData_arr[i]», яка зберігає 21 значення у форматі з плаваючою точкою. Обидва активні потоки можуть читати таблицю.

1.3.2.7 Попередня обробка сигналу

Відібраний сигнал зазвичай попередньо обробляється цифровим способом. Хоча попередня обробка сигналу залежить від програми, зазвичай виконується ряд кроків. У техніках попередньої обробки можна використовувати три загальні кроки: маніпулювання базовою лінією, стиснення та нормалізація. Обробка сигналу здійснюється цифровим способом на мікроконтролері або здійснюється зовнішнім комп'ютером. Використання окремого обладнання для обробки сигналів збільшує витрати та впливає на портативність приладу через збільшення розміру, ваги та енергоспоживання.

Хорошим рішенням цієї проблеми є інтеграція датчика та схеми обробки сигналу на одній мікросхемі або в одному корпусі. У представленому пристрої ми зосередилися на зборі необроблених даних вимірювань, без попередньої обробки сигналу.

1.3.2.8 Візуалізація даних

Дані, зібрані пристроєм, відображаються на контролері ПК/ноутбука чи смартфона в режимі реального часу. Графічний дисплей дозволяє користувачеві визначати тенденції та закономірності вимірних параметрів внутрішнього середовища. На рис. 1.5 представлено візуалізацію в реальному часі даних, зібраних представленим пристроєм. Використовувався додаток «IoT MQTT Panel». Він встановлений на смартфон з операційною системою Android.

1.3.2.9 Калібрування

Проблема калібрування сенсорного пристрою є складною. Його слід розглядати з двох точок зору: окремих датчиків і чутливого пристрою. Датчики зазвичай потрібно калібрувати на рівні пристрою, якщо вони використовуються як частина вимірювальної системи.

Залежно від типу інформації, яку має надавати сенсорний пристрій, його калібрування може бути досить простим або складним і дорогим. Представлений нами пристрій може надавати кількісну або якісну інформацію. Перший представлений виміряними значеннями фізико-хімічних показників внутрішнього середовища, наприклад, температури, відносної вологості, концентрації вуглекислого газу тощо. Прилад також може бути використаний як джерело якісної інформації, яка виражається в термінах визначених категорій, що представляють умови/ситуації, що відбуваються в приміщенні. Окремі реакції різних датчиків призначаються різним категоріям умов/ситуацій, що спостерігаються в навколишньому середовищі. Цей підхід має певні обмеження, але він реалістичний і може виявитися більш практичним, ніж

орієнтація на результати вимірювань окремих параметрів внутрішнього середовища.

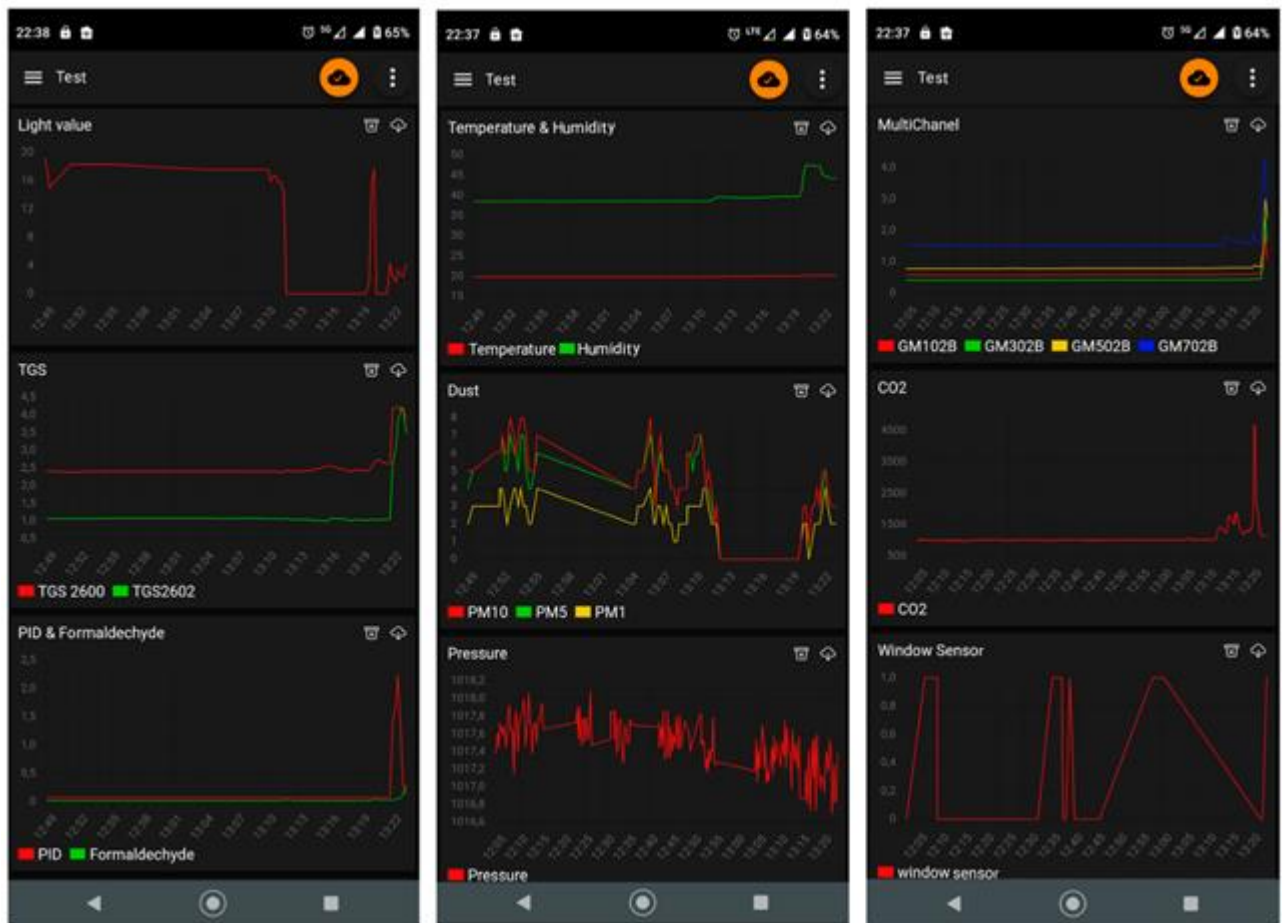


Рисунок 1.5 – Візуалізація в режимі реального часу даних, зібраних вимірювальним пристроєм за допомогою програми «IoT MQTT Panel»

Калібрування чутливого пристрою для кількісної інформації

Під калібруванням можна розуміти порівняння значень вимірювань, отриманих тестованим пристроєм, із значеннями калібрувального стандарту відомої точності. Термін калібрування також використовується для позначення процесу коригування необроблених показань датчика для отримання виправлених значень. Передбачається, що датчики калібруються на заводі, на етапі виробництва. Однак умови навколишнього середовища та експлуатації, а також неналежне технічне обслуговування можуть погіршити ефективність вимірювання, що призведе до отримання помилкових даних вимірювання. Повторне калібрування зазвичай потрібно для забезпечення належної роботи

вимірювального пристрою. Пристрій не можна відкалібрувати без порівняння з відомим зразком. Отже, коригування показань пристрою є лише корекцією, а не калібруванням. Повторне калібрування може виконуватися в акредитованих лабораторіях або службами калібрування, зазвичай у контрольованих умовах.

Фізичне калібрування датчика

Передбачалося, що фізичні датчики відкалібровані виробниками. Термін дії калібрування фізичного датчика зазвичай тривалий. Таким чином, повторне калібрування не було враховано.

Калібрування хімічного датчика

Калібрування датчика газу має відбуватися в контрольованому середовищі. Як правило, процедура калібрування виконується шляхом розміщення датчиків усередині камери, де рівень концентрації цільового газу підтримується на відомому рівні. Калібрування газового датчика включає два етапи: спочатку потрібно встановити «нуль», а потім відкалібрувати «діапазон». На практиці більшість калібрувальних газів закупаються у комерційних постачальників. Балонний азот або синтетичне повітря є хорошим способом встановити «нуль». Калібрування діапазону залежить від типу газу та діапазону його концентрації. Методи калібрування діапазону включають:

- калібрування попередньої суміші;

- Калібратор з пристроями постійної температури, регулювання потоку і газопроникності;

- Використання змішування газів;

- Застосування калібрувальних рідких хімічних сумішей.

Якщо неможливо використовувати такі методи, параметри датчика можна налаштувати за допомогою іншого вимірювального пристрою.

Традиційний процес калібрування вимагає багато часу та витрат. Це має виконуватись у контрольованому середовищі. Датчики не можна калібрувати в неконтрольованих умовах, оскільки погане або неповне калібрування може призвести до значних похибок вимірювань. Хороший варіант - відправити датчики в спеціалізований сервіс. Наш чутливий пристрій має модульну

конструкцію, коли кожен датчик розміщений у своєму відсіку в модулі датчика газу. Заміна датчиків у цій конструкції проста.

Калібрування чутливого пристрою для отримання якісної інформації

Калібрування чутливого пристрою для отримання якісної інформації є альтернативою калібрування, що виконується в жорстко контрольованих сценаріях (наприклад, усередині камер), де датчики піддаються впливу постійних рівнів концентрації певних видів протягом заздалегідь визначеного часу. У цій стратегії реакції датчиків вимірюються в умовах навколишнього середовища, які представляють певну категорію умов/ситуації навколишнього середовища. Отримані дані використовуються як довідкові. Цей «шаблон» розміщується в бібліотеці чутливого пристрою. Користувач пристрою може легко виконати калібрування чутливого пристрою для отримання якісної інформації. Це дає більш реалістичне уявлення про конкретне середовище, оскільки воно буде репрезентативним для різних умов, які можуть там виникнути. Ми маємо намір реалізувати цей підхід у нашій подальшій роботі.

1.3.3 Конфігурація та структура вимірювальної системи

Сенсорний пристрій має модульну конструкцію. Він складається з наступних компонентів:

Багатокомпонентний сенсорний модуль;

Сенсорний модуль PMS5003;

Датчики для вимірювання інтенсивності світла та тиску;

фільтри;

Пневматичний вузол;

Інтерфейси та передача даних;

мікроконтролер;

Блок живлення;

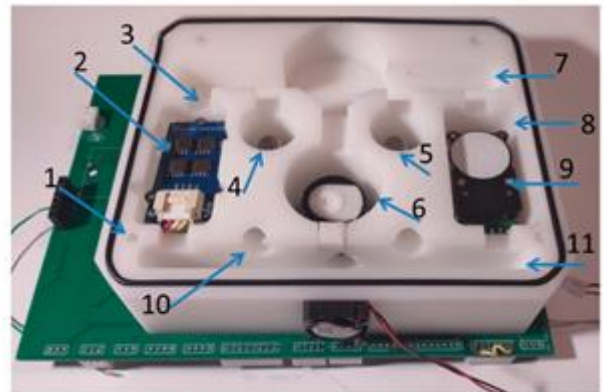
Корпус приладу.

1.3.3.1 Багатокомірковий сенсорний модуль

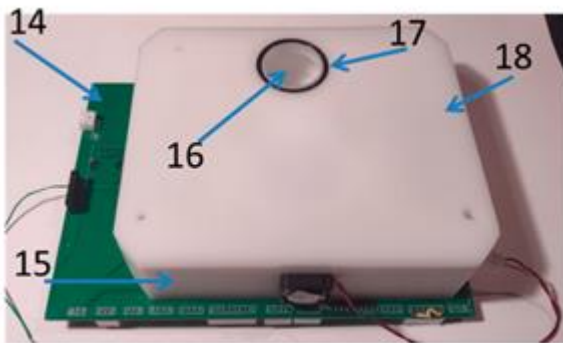
Багатокомпонентний сенсорний модуль показаний на рис. 1.6.



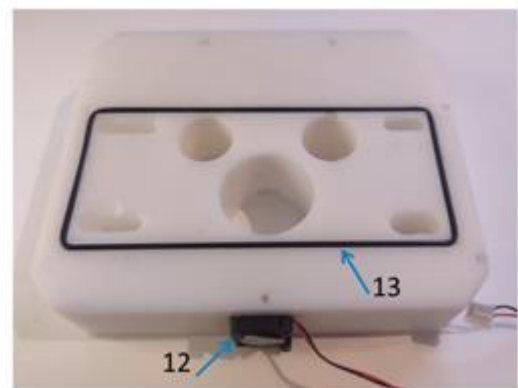
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 1.6 – Багатокомпонентний сенсорний модуль. (а) Плата з датчиками TGS2600, TGS2602 і PID-АН2. (б) Вимірювальна камера з PTFE без закриваючої верхньої пластини; вид зверху. Показано датчики всередині вимірювальних комірок. (в) Вимірювальна камера, покрита верхньою пластиною; вид зверху. (г) Вимірювальна камера; вид знизу. 1 - різьба для кріпильного гвинта, 2 - Grove Multichannel Gas Sensor V2 всередині сенсорної комірки, 3—вхідний канал газу (4×, по одному на кожну сенсорну комірку), 4 - TGS2600 всередині сенсорної комірки, 5 - TGS2602 всередині сенсорної комірки, 6 - PID-АН2 внутрішня сенсорна комірка, 7 - газовий вхідний канал, 8 - ущільнення між камерою PTFE та закриваючою верхньою пластиною, 9 - CoZig-Blink5000 внутрішня сенсорна комірка, 10 - вихідний газовий канал (4×, по одному для кожної сенсорної комірки), 11 - вихідний газозбірник, 12 - вентилятор, 13 - ущільнення між камерою ПТФЕ і друкованою платою, 14 - ПТФЕ, 15 - вимірювальна камера ПТФЕ з сенсорними комірками всередині, 16 - вхід газу, 17 - ущільнення між багатокамерним чутливий модуль і корпус пристрою, 18 - закриваюча верхня пластина

Це невеликий електронний блок, який об'єднує різні датчики, перетворювачі та пристрої обробки сигналів у зручну плату (систему), яку легко

вставити в вимірювальний прилад. Характеризується компактною конструкцією. Його розмір 128 мм × 108 мм × 30 мм. Елементи цього модуля легкі, недорогі та достатньо міцні, щоб успішно їх використовувати. Багатокомпонентний сенсорний модуль складається з:

Друкована плата (PCB);

датчики;

Вимірювальна камера.

Плата є основою багатокомпонентного сенсорного модуля; див. рис. 1.5(а,б). Він підключений до джерела живлення та оснащений кількома електронними елементами та схемами, які керують роботою всього вимірювального пристрою, як показано на малюнку 6 . Вони розташовані на нижній стороні друкованої плати. Плата також оснащена роз'ємами для датчиків. Вони монтуються на верхній стороні друкованої плати; дивіться малюнок 5 а. Датчики встановлюються у спеціальні гнізда, що дозволяє багаторазово замінювати чутливі елементи без пайки; дивіться рис. 1.5 (а).

1.4 Обґрунтування доцільності застосування багатосенсорного радіотехнічного пристрою моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем

В умовах стрімкого розвитку технологій Інтернету речей (IoT) значна увага приділяється створенню інтелектуальних систем моніторингу різноманітних параметрів, включаючи мікроклімат приміщень.

Мікроклімат - це комплекс фізичних параметрів, таких як температура, вологість, рівень вуглекислого газу (CO₂) та інші показники, які суттєво впливають на комфорт, здоров'я людей, а також на ефективність роботи обладнання.

Зміна кліматичних умов, підвищення вимог до енергоефективності та потреба у створенні комфортного середовища для життя й роботи стимулюють пошук нових підходів до моніторингу та управління мікрокліматом.

У цьому контексті багатосенсорні пристрої для IoT-систем є одним із найбільш перспективних рішень. Завдяки інтеграції різноманітних сенсорів в одному пристрої та використанню сучасних технологій передачі даних, такі системи дозволяють не лише відстежувати стан мікроклімату в реальному часі, але й автоматизувати процеси керування.

Наприклад, на основі зібраних даних можна оптимізувати роботу вентиляції, кондиціонування та опалення, знижуючи енергоспоживання та мінімізуючи вплив на довкілля.

Актуальність цієї теми також зумовлена широким спектром її застосувань: від житлових приміщень та офісів до великих промислових і комерційних об'єктів. Крім того, такі пристрої є важливими елементами "розумних" міст, що сприяють підвищенню якості життя населення.

Метою даної роботи є дослідження основних принципів розробки та функціонування багатосенсорних пристроїв для моніторингу параметрів мікроклімату, їх інтеграції в IoT-системи та аналіз можливостей їх практичного застосування.

Існує міждержавний стандарт ГОСТ 30494-2011, який встановлює будівельні вимоги до мікроклімату громадських і житлових будівель. Цей ГОСТ визначає мікроклімат приміщення як «стан внутрішнього середовища приміщення, що надає вплив на людину». Внутрішнє середовище – це, здебільшого, повітря всередині приміщення. Недарма далі йде уточнення, що мікроклімат приміщення характеризується в основному температурою, вологістю і рухливістю повітря.

Мікроклімат, справді, робить прямий вплив на людину. Якщо він хороший («оптимальний», як висловлюється строгий ГОСТ), то людина відчуває відчуття комфорту, а організм не витрачає сили на адаптацію до зовнішніх умов. Наприклад, хороший мікроклімат виключає спеку, при якій людському тілу довелося б активізувати механізми терморегуляції.

Мікроклімат житлових і громадських будівель складається з багатьох параметрів, але першочерговими будуть:

- Температура повітря;
- Вологість повітря;
- Чистота повітря;
- Свіжість повітря.

Всі ці параметри мікроклімату в приміщеннях можна не тільки вимірювати, але і регулювати за допомогою кліматичної техніки.

Використання IoT для моніторингу мікроклімату дозволяє значно знизити енергоспоживання завдяки точному регулюванню систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Автоматизовані пристрої здатні контролювати температуру та вологість приміщень на основі реальних даних, забезпечуючи необхідні умови за мінімальних витрат енергії. Це важливо не лише для зменшення витрат на комунальні послуги, але й для зменшення навантаження на енергетичні мережі та зниження загального рівня викидів парникових газів.

Інтелектуальні системи можуть регулювати температуру в залежності від погодних умов, кількості людей у приміщенні, а також за рахунок аналізу історичних даних прогнозувати оптимальний рівень енергоспоживання для кожного приміщення чи будівлі.

Інтеграція багатосенсорних пристроїв у системи моніторингу мікроклімату може значно покращити якість життя людей. Регулювання температури, вологості та якості повітря в приміщеннях створює комфортні умови для здоров'я та роботи людей. Наприклад, правильна вентиляція та оптимальна вологість можуть запобігати виникненню проблем із дихальними шляхами, знижувати ризики алергічних реакцій або захворювань, що викликані поганою якістю повітря.

З іншого боку, автоматизація процесів дозволяє створювати адаптивні системи, що реагують на зміни у середовищі та забезпечують найбільш ефективне використання ресурсів. В результаті, зниження енергоспоживання, покращення екологічних умов і підвищення комфорту позитивно впливає на здоров'я людей, що в свою чергу сприяє покращенню соціальних умов у громадах та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

У житлових приміщеннях використання багатосенсорних пристроїв для моніторингу мікроклімату дозволяє підвищити комфорт і знизити енергоспоживання. Такі пристрої можуть бути інтегровані в "розумний будинок", де автоматично регулюються параметри мікроклімату, наприклад, температура, вологість та рівень CO₂. За допомогою сенсорів здійснюється постійний моніторинг цих показників, що дозволяє автоматично включати або вимикати кондиціонери, опалення чи вентиляцію в залежності від реальних умов. Крім того, на основі зібраних даних можна проводити аналіз і приймати рішення для подальшого підвищення ефективності систем енергозабезпечення.

Прикладом є використання багатосенсорних систем в енергоефективних будівлях, де автоматизоване керування мікрокліматом допомагає знизити витрати на енергію, забезпечуючи при цьому комфортні умови для проживання.

В промислових об'єктах, таких як склади, заводи чи лабораторії, моніторинг параметрів мікроклімату має критичне значення для безпеки праці та збереження якості продукції. Наприклад, в умовах високих температур чи вологості можуть виникнути проблеми з електронними компонентами або технологічними процесами. Багатосенсорні пристрої дозволяють здійснювати автоматичний контроль за важливими показниками та запобігати аваріям чи збоям у роботі обладнання.

Системи IoT в комерційних об'єктах, таких як торгові центри чи офісні будівлі, можуть бути використані для контролю кліматичних умов в приміщеннях для забезпечення комфорту співробітників або клієнтів, а також для оптимізації витрат на опалення та кондиціонування.

Таким чином, екологічні та соціальні переваги від використання багатосенсорних пристроїв у системах моніторингу мікроклімату є не лише важливими для збереження природних ресурсів, але й для поліпшення якості життя людей у сучасному світі.

1.5 Висновки до розділу

Перспективи використання багатосенсорних пристроїв в смарт-системах керування мікрокліматом є дуже широкими. У майбутньому очікується розвиток інтеграції таких систем у більш складні інтелектуальні мережі, які будуть об'єднувати різноманітні датчики, аналітичні алгоритми та енергетичні системи. Це дозволить створювати динамічно налаштовуванні умови для будь-яких типів приміщень, включаючи адаптивне регулювання параметрів мікроклімату відповідно до зміни погодних умов, кількості людей у приміщенні чи інших факторів.

У найближчому майбутньому багатосенсорні системи можуть стати основою для розробки нових стандартів енергоефективності для житлових і промислових будівель, а також для реалізації проектів "розумних міст", де автоматизоване управління різноманітними процесами (включаючи моніторинг мікроклімату) сприятиме сталому розвитку і збереженню природних ресурсів.

2 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ТА ЇЇ ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК

2.1 Узагальнена структурна схема

Всі відомі електронні терморегулятори будуються на основі порівняння контролюючого параметру з наперед заданим. Найчастіше таким параметром є напруга, що знімається з датчика і порівнюється з наперед заданою опорною напругою. Структура терморегуляторів представлена на рисунку 2.1 є типовою для всіх електронних терморегуляторів, що використовуються в побуті. Для терморегуляторів, що мають спеціалізоване використання, наприклад в промисловості можливі деякі нюанси, але принцип залишається незмінним.

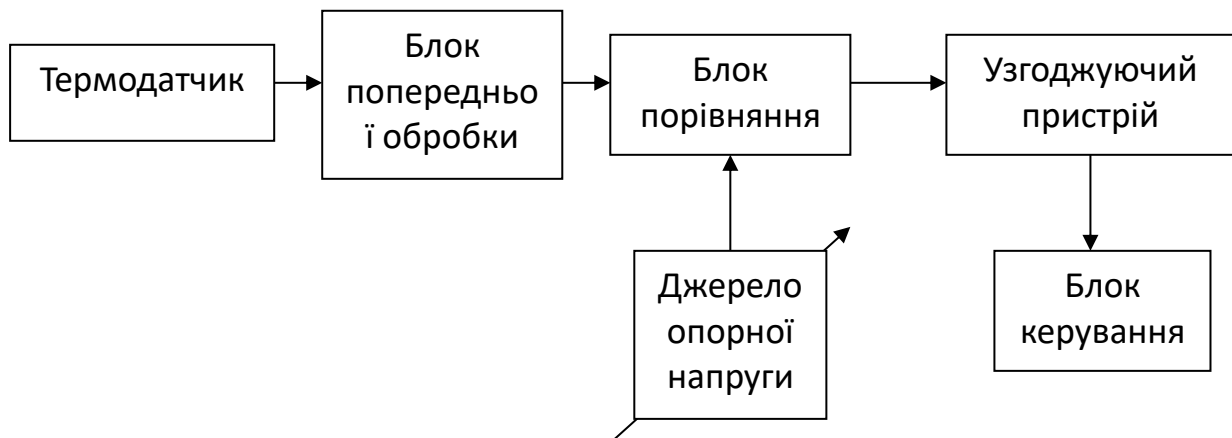


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура пристрою

Термодатчик виконує функцію перетворення температури в напругу. У якості нього може бути термопара, терморезистор, діод, або інший елемент, параметр якого відчутно змінюється зі зміною температури.

Сигнал, що приходить від термодатчика подається на блок попередньої обробки. Його завданням найчастіше є підсилення і корекція, оскільки параметр термодатчика змінюється по відношенню до температури нелінійно.

Джерело опорної напруги служить для задавання порогу спрацювання терморегулятора. Його роблять змінним для подальшої можливості зміни порогу в залежності від конкретної ситуації.

Блок порівняння – це основний блок пристрою, який виконує функцію порівняння і прийняття рішення в залежності від результату.

Узгоджуючий пристрій потрібен для підсилення сигналу керування і розв'язки його від навантаження яке зазвичай працює на значно вищих напругах і струмах.

Блок керування може виконувати будь-які функції в залежності від поставленої задачі.

2.2 Вибір можливих схемних рішень

На сьогоднішній день відомі електронні терморегулятори на основі дискретних елементів, інтегральних схем, а з розвитком електронних обчислювальних машин і на мікропроцесорах. Кожна із вище згаданих основ має свої переваги і недоліки.

Так наприклад електронні терморегулятори на основі дискретних елементів є найбільш завадо-незахищеними і ненадійними в експлуатації. Їхньою перевагою є невисока ціна, але у зв'язку з тим, що їхня кількість є більшою ніж наприклад при використанні інтегральних мікросхем то така перевага зводиться до мінімуму.

Одна з найпростіших схем терморегулятора на дискретних елементах зображена на рисунку 2.2.

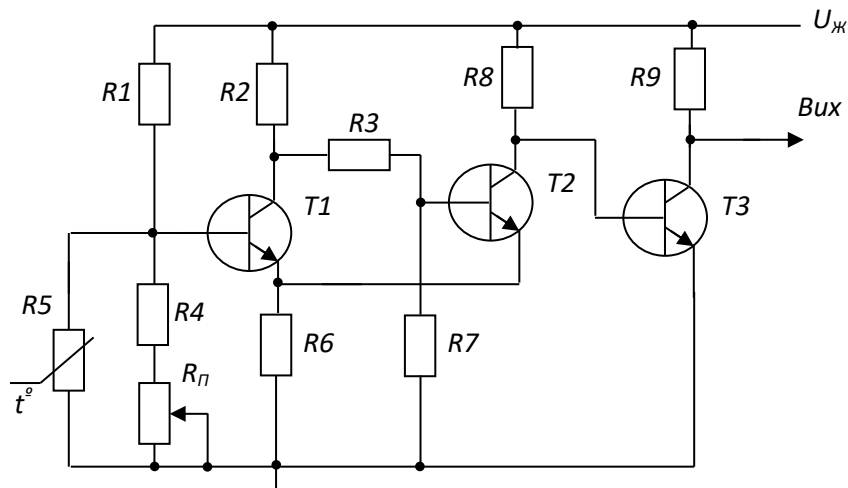


Рисунок 2.2 – Типова структура терморегулятора на транзисторах

Терморегулятор складається з порогового пристрою (на транзисторі T_1 і T_2). Датчиком температури є терморезистор R_5 , ввімкнений в коло подачі напруги на базу транзистора T_1 порогового пристрою. Поріг переключення задається резистором R_{Π} .

При зниженні температури середовища опір терморезистора збільшується, в результаті чого напруга на базі транзистора T_1 підніметься. Коли воно досягне порогу спрацювання пристрою, транзистор T_1 відкриється, а T_2 – закриється. Це призведе до відкривання транзистора T_3 , що і буде сигналом для пристрою виконання.

Недоліком такої схеми є невисока точність, так як кожен з активних елементів має свої відхилення і похибки. Велика залежність працездатності схеми від навколишнього середовища.

Вище згадані недоліки компенсуються при побудові терморегуляторів на основі інтегральних схем. Типова схема на ІМС зображена на рисунку 2.3.

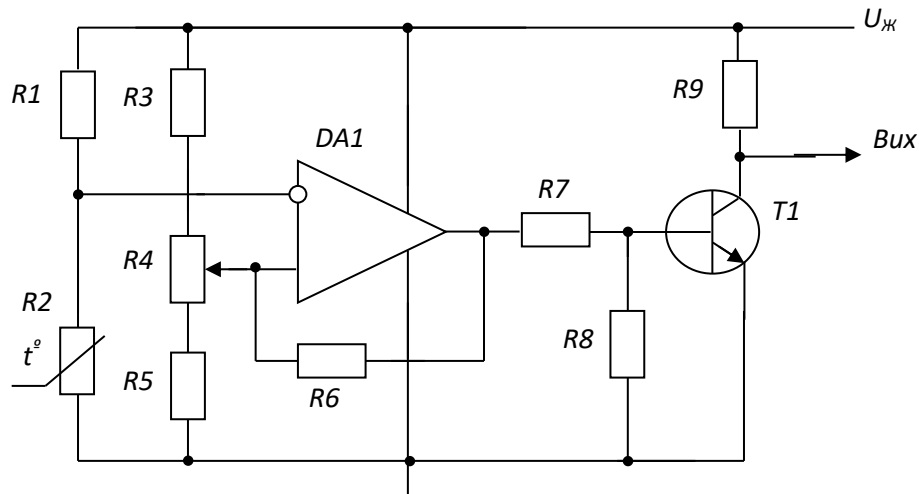


Рисунок 2.3 – Структура терморегулятора на ІМС

Головним елементом схеми є мікросхема DA1 – операційний підсилювач, ввімкнений в режим компаратора.

Датчиком зміни температури служить терморезистор R_2 . На ній виконаний вузол порівняння двох напруг: напруги на терморезисторі R_2 , що змінюється залежно від температури, і незмінної напруги на движку змінного резистора R_4 . Мікросхема DA1 порівнює напруги на своїх входах. З виходу мікросхеми сигнал подається на підсилювач, що підсилює сигнал для подачі його на блок виконання.

Дана схема дає можливість регулювання температури з більшою точністю. Вона більш стійка до зовнішніх завад, а за рахунок інтегрального виконання – має менші габарити і масу.

Для побудови яких-небудь закінчених схем (особливо з використанням цифрових вузлів) на основі терморезистора необхідна розробка і збірка ряду додаткових схем – вимірювальний міст (для перетворення опору терморезистора, що змінюється, в напругу), АЦП і лише після цього інформацію можна вводити в цифрові системи. Останнім етапом стане обчислення значення температури на підставі коду, зчитаного з АЦП, плюс всякі корекції і калібрування одержаного вимірювального вузла. В даний час

фірмою Dallas/Maxim випускається великий асортимент цифрових датчиків температури.

Всі датчики відкалібровані на заводі, мають вбудований АЦП і видають системі, що управляє, або значення температури в градусах за Цельсієм (DS18B20), або код, який перераховується в температуру по формулі, приведений в документації. Таким чином, відпадає необхідність встановлювати в кінцевій схемі які-небудь регульовальні вузли і займатися калібруванням. Діапазон вимірювань достатньо широкий ($-55...+125^{\circ}\text{C}$), точність вимірювання вибирається програмно (0,5; 0,25; 0,125; 0,0625 $^{\circ}\text{C}$ – від одного до чотирьох двійкових знаків після двійкової крапки). Всі датчики мають однопровідний інтерфейс 1-Wire, що дозволяє підключити велике число таких пристроїв до однієї лінії даних системи, що управляє.

Для виведення інформації на дисплей необхідно використовувати або більш дешевий варіант на семи сегментному світлодіодному індикаторі який потребує обв'язки у вигляді електронних ключів і реалізації динамічної індикації, або використати дорогі РКІ дисплеї.

Основний мінус вище розглянутої схеми на мікроконтролерах – велике енергоспоживання і необхідність регенерації (динамічної індикації).

Пристрій відображення може бути аналоговим (стрілочним) або у вигляді світлодіодної матриці чи РКІ дисплею. Однозначну перевагу має другий варіант, оскільки дані з нього легше і швидше зчитуються (навіть у темряві) є більш зручним і точнішим (виключається похибка оператора, при зчитуванні даних).

Виходячи з вище наведених даних, а також мети роботи приходимо до висновку, що найдоцільніше буде будувати нову розробку на основі операційного підсилювача. Така схема буде достатньо надійною, мати потрібну точність і буде дешевою, що є основною умовою даної розробки.

Потрібний результат досягається використанням недорогих але надійних деталей, в тому числі і АЦП, що має мале енергоспоживання і датчиків на основі кремнієвого діода.

2.3 Особливості побудови схем терморегуляторів на основі операційних підсилювачів

Якість і характеристики термодатчиків в схемах терморегуляторів роблять великий вплив на роботу пристроїв, проте варто зупинитися також і на особливостях, властивих системам, що забезпечують роботу різного роду термостатів.

Найчастіше в таких схемах використовується місток з термістором в одному плечі і змінним задаючим резистором в другому. У діагональ моста включений операційний підсилювач, вихід якого безпосередньо управляє силовим ключем.

Є мінімум два „підводні камені”, за винятком параметрів термодатчика, які визначатимуть працездатність схеми. Перше це те, що при підході напруги, пропорційної температурі до задаючої напруги операційний підсилювач без ланцюгів зворотного зв'язку переходить на деякий час в режим "надпідсилення" (а при обов'язковій наявності 50-Гц наведень – можлива і генерація в повному діапазоні вихідної напруги) в результаті – обгорання контактів реле (якщо навантаженням управляє реле) або некоректна поведінка симісторних (тиристорних) силових ключів.

Друге полягає в тому, що при зниженій теплопередачі середовища в камері можливе первинне "проскакування" температури до 10 – 15 градусів при прогріванні об'єкту (звичайно одиночний датчик розміщений далеко від нагрівача і відсутня примусова циркуляція середовища (повітря) усередині камери).

Від першого недоліку рятує застосування ланцюгів зворотного зв'язку, що обмежують коефіцієнт посилення по постійному струму на рівні 1000 (можна і менше – в розумних межах) і що обмежують частотний діапазон підсилювача. Як другий ступінь виступає застосування „тригера Шмідта” або звичайного тригера, що тактується імпульсами, що одержуються з випрямленої живлячої напруги (однонапівперіодний випрямляч 50Гц). [4]

Від другого позбутись складніше. У термостатах застосовувався нагрівач, компенсуючий інерційність середовища і об'єкту в камері (група ТС80...). Перші моделі ГП20/ГП40 мали два тиристори як силовий ключ і ланцюжок, що відключає один з тиристорів після першого спрацювання терморегулятора до кінця поточного циклу стерилізації („форсований нагрів” і підтримка температури на половинній потужності нагрівача). У сухоповітряних стерилізаторах пізніших моделей і в апаратах виробництва ГДР встановлюється вентилятор примусової циркуляції повітря усередині камери.

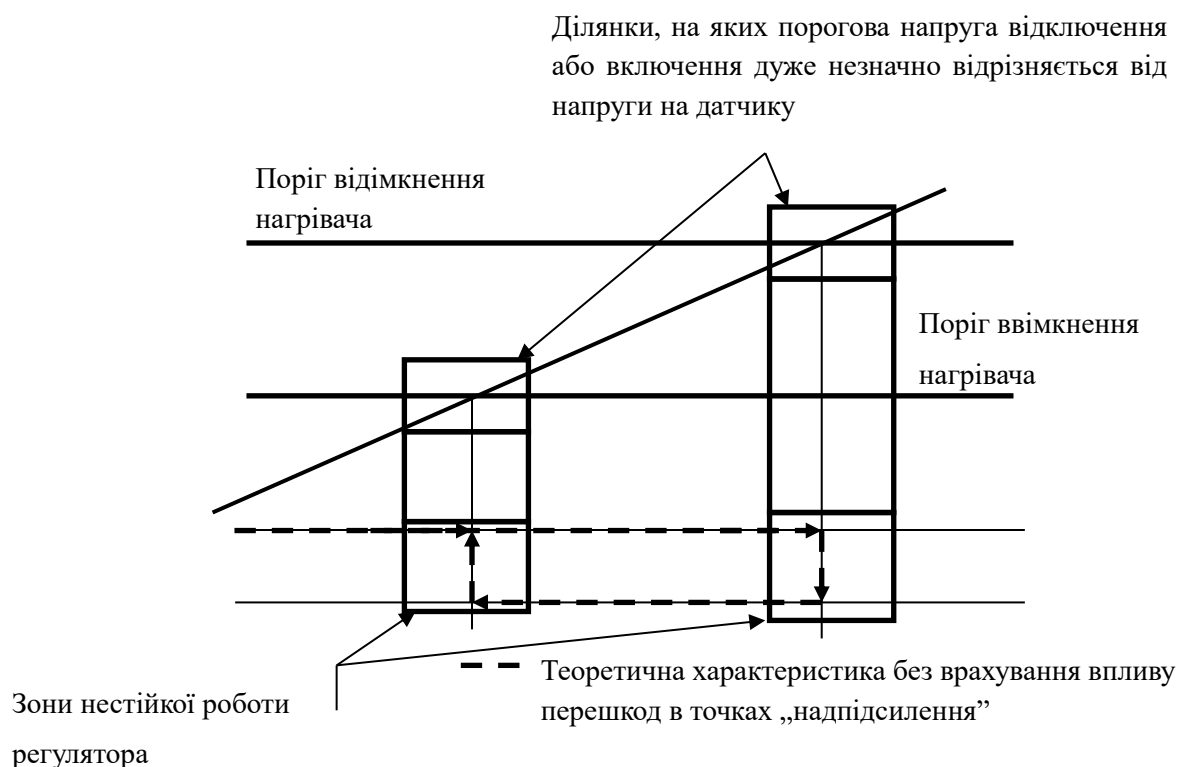


Рисунок 2.4 – Проблема схем на операційних підсилювачах без кіл зворотного зв'язку

Одним з рішень може бути застосування двох термодатчиків – одного безпосередньо на нагрівачі а другого усередині камери. Варіантом є також застосування "інтелектуальних" систем з декількома точками контролю температури і зміною режиму нагріву залежно від швидкості прогрівання об'єкту – але це вже обробка мікроконтролером. Обов'язковим елементом

теплової апаратури є також наявність „абсолютного” елементу захисту – розриваючого ланцюг живлення нагрівальних елементів термозапобіжника.

2.4 Вибір елементної бази

2.4.1 Вибір АЦП та схеми індикації

З метою забезпечення 1% точності ($\sigma < 1\%$) необхідно, щоб

$$\sigma = \frac{I}{N} \cdot 100\% < 1\%,$$

де N – число квантування;

σ – точність вимірювання.

Звідки видно, що $N > 100$ тому розрядність АЦП повинна бути

$$\begin{aligned} n &> \log_2 N \\ n &> \log_2 100 = 6,64 \end{aligned}$$

Враховуючи, що для забезпечення успішної роботи і виводу інформації на РКІ, вибираємо 8-ми розрядний АЦП типу IL7106N [5]. Це інтегруючий АЦП на 3,5 десяткових розряду з виведенням інформації на РКІ у корпусі DIP40.

Призначення АЦП IL7106N – перетворення напруги аналогового сигналу в цифрову форму для подальшого відображення рівня сигналу цифровим індикатором. Прилад розрахований на спільну роботу з рідкокристалічним чотирирозрядним цифровим індикатором. Мікросхему IL7106N виготовляють за технологією КМОН.

Перетворювач (рисунок 2.5) складається з аналогової і цифрової частин. Аналогова містить електронні перемикачі S1- S11, буферний ОП DA1, що працює в режимі повторювача, інтегратор на ОП DA2, а також компаратор DA3.

У цифрову частину входять генератор G1, логічний пристрій DD1, лічильник імпульсів DD2, регістр пам'яті з вихідним дешифратором DD3.

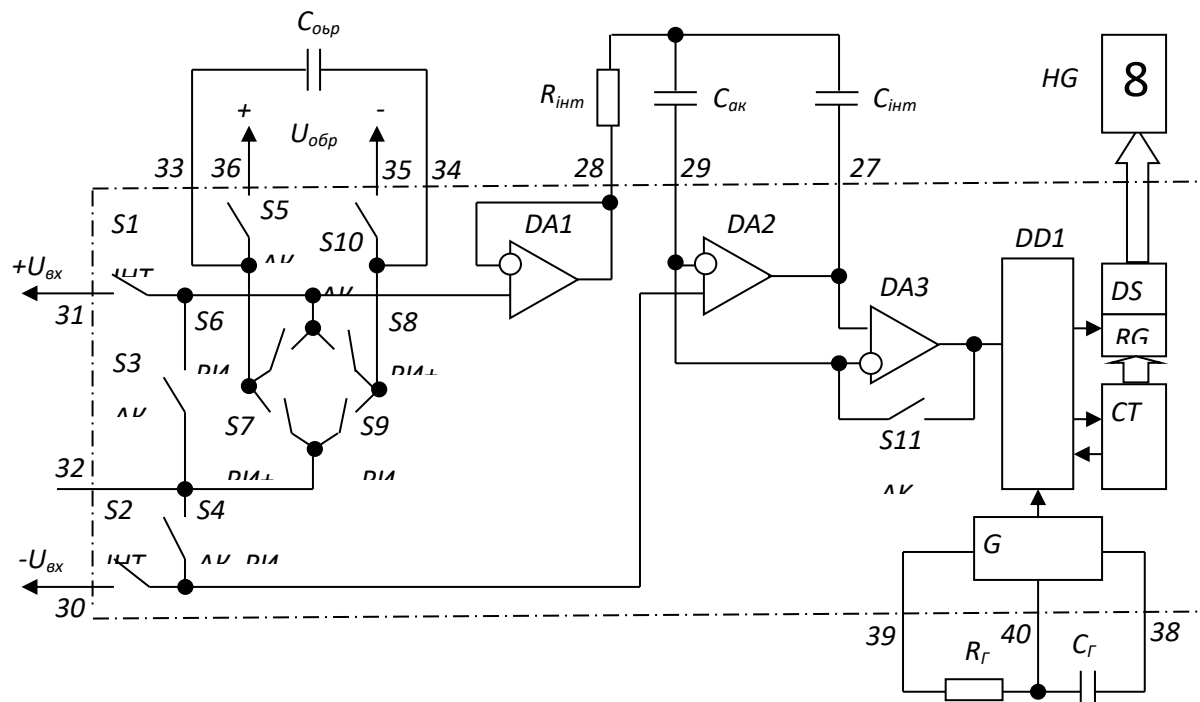


Рисунок 2.5 – Структура мікросхеми IL7106N

У перетворювачі використаний принцип подвійної інтеграції, відповідно до якої спочатку розряджений інтегруючий конденсатор $C_{інт}$ заряджають певний час струмом, пропорційним вимірюваній напрузі, а потім розряджають певним струмом до нуля. Час, протягом якого відбувається розрядка конденсатора, буде пропорційно вимірюваній напрузі. Цей час вимірюють за допомогою лічильника імпульсів; з його виходу сигнали подають на індикатор.

На вхід перетворювача (вив. 30 і 31) подають вимірювану напругу $U_{вх}$ а на вивід 36 і 35 – зразкову напругу $U_{оп}$. Цикл вимірювання (рисунок 2.5) складається з трьох етапів – інтеграції сигналу, тобто зарядки інтегруючого конденсатора (ЗІК), розрядки інтегруючого конденсатора (РІК) і автоматичної корекції нуля (АКН). Кожному етапу відповідає певна комутація елементів перетворювача, що виконується перемикачами S1 – S11 на транзисторах структури МОН. На схемі рисунок 2.5 написи у перемикачів позначають етап,

протягом якого „контакти” замкнуті. Тривалість етапу, що точно задається лічильником D02, пропорційна періоду тактової частоти f_m (рисунок 2.6).

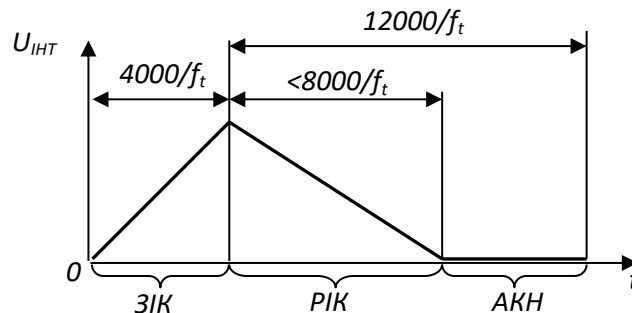


Рисунок 2.6 – Цикл вимірювання мікросхеми IL7106N

Протягом етапу ЗІК, що триває 4000 періодів тактової частоти, вхідний сигнал через перемикачі S1, S2 і буферний підсилювач DA1 поступає на вхід інтегратора DA2. Це викликає на конденсаторі C_{int} накопичення заряду, пропорційного і відповідного по знаку прикладеній вхідній напрузі. Напруга на виході інтегратора DA2 змінюється з постійною швидкістю, пропорційною вхідному сигналу.

Роботою всіх вузлів перетворювача управляє вбудований тактовий генератор. Частота проходження його імпульсів визначається зовнішніми елементами R_2 і C_2 . Для придушення мережових перешкод із значеннями частоти, кратними 50 Гц, тактову частоту слід вибирати таку, щоб під час інтеграції, рівне 4000 періодів тактового генератора T_m , укладалося ціле число N_s періодів мережевої напруги (тривалість мережевого періоду рівна 20мс).

Типова схема включення перетворювача, його з'єднання з рідкокристалічним індикатором FP1125P або GD2936 компанії VDG (Китай) і чотирма елементами ВИКЛЮЧНЕ АБО, необхідними для управління десятковими кодами індикатора, показана на рисунку 2.7.

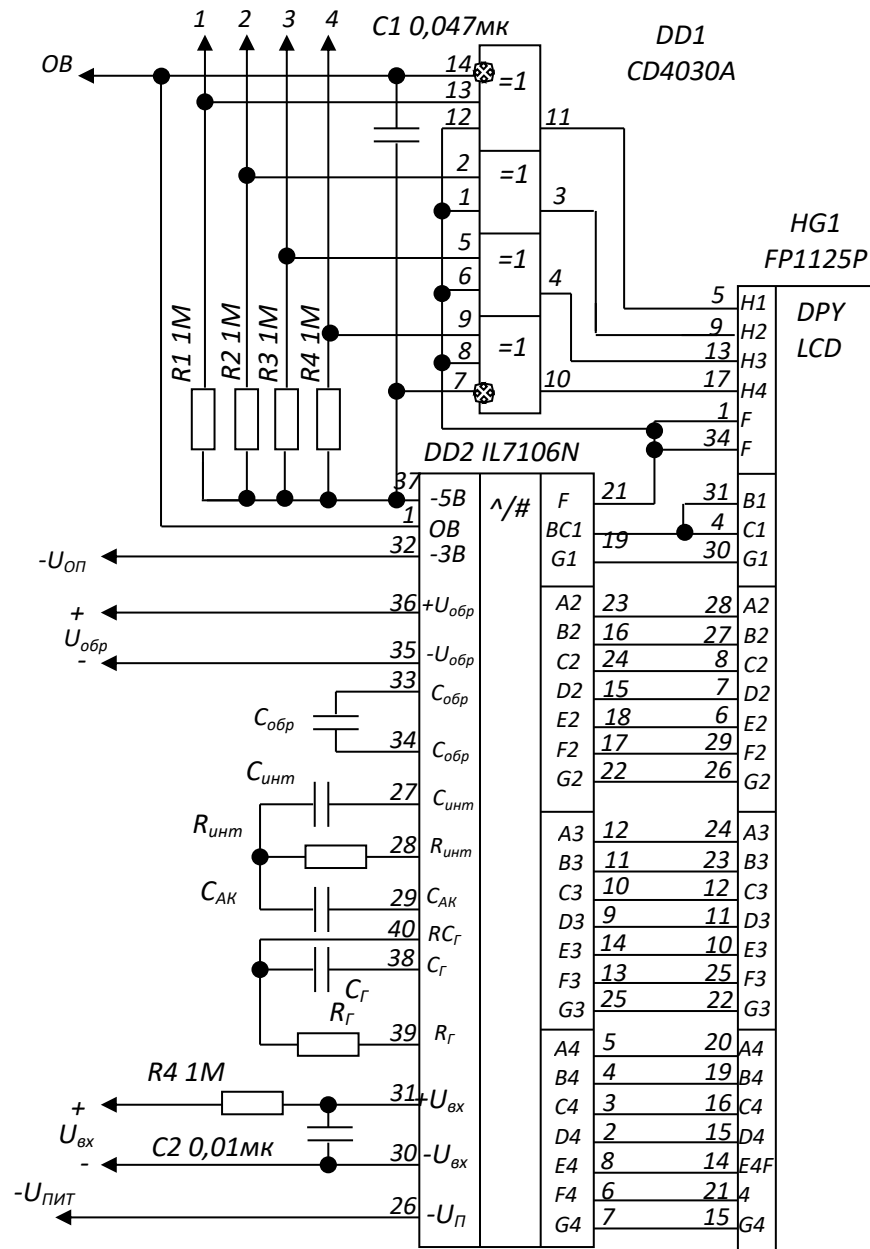


Рисунок 2.7 – Типова схема включення мікросхеми

Перетворювач розрахований на однополярне живлення стабільною напругою в межах від 7 до 10 В. Плюсовий вивід джерела живлення підключають до вив. 1, а мінусової – до вив. 26. При напрузі живлення $9\text{ В} \pm 1\%$ і температурі навколишнього середовища $25 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ максимум споживаного струму не перевищує 1,8 мА, при цьому похибка перетворення – не більше одиниці молодшого розряду. Вхідний опір визначається лише витками і істотно перевищує 100 МОм.

Перетворювач оснащений двома вбудованими джерелами живлення, один напругою $2,9 \pm 0,5$ В, а другий – близько 5 В. Плюс першого сполучений з вив. 1, а мінус – з вив. 32. У другого джерела плюс на тому ж вив. 1, а мінус – на вив. 37.

Для управління чотирма десятковими комами необхідні додаткові чотири логічні елементи ВИКЛЮЧНЕ АБО (DD1 на рисунку 2.8). Вони повторюють фазу „меандра” для ком, що не відображаються, і інвертують її для тієї, яку повинно бути видно.

Для індикації тієї або іншої коми достатньо відповідний вхід управління коми з'єднати з вив. 1 – загальною точкою джерел живлення (решта входів залишаємо вільними).

При використанні включення мікросхеми DD1 – це означатиме подачу на вибраний вхід високого рівня.

Як вже було зауважено, АЦП на мікросхемі IL7106N вимірює відношення значень напруги на входах $U_{вх}$ і $U_{оп}$. Напруга $U_{оп}$ залишається незмінною, а $U_{вх}$ міняється в межах $\pm 2U_{оп}$ (або від $0 \dots 2 U_{оп}$) [6]. Зміна напруги на конденсаторі $C_{інт}$ і на виході інтегратора DA2 (рисунок 2.5) для цього випадку показано на рисунок 2.8.

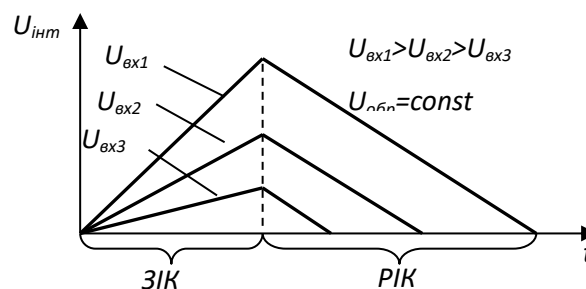


Рисунок 2.8 – Схема роботи інтегратора

Зарубіжним аналогом мікросхеми IL7106N є KP572ПВ5, але його використання не виправдане з економічної точки зору. Точність і надійність

вітчизняного пристрою повністю задовольняє умови завдання, а низька ціна робить його перевагу беззаперечно більшою порівняно з зарубіжним аналогом.

Основні параметри IL7106N:

- час перетворення $t_{пер.8}=1\text{мс}$;
- опорна напруга $U=2,9\pm0,5\text{В}$;
- струм споживання $I_{спож}=1,8\text{мА}$;
- напруга живлення $U_{ж}=7 - 10\text{В}$.

З даним АЦП рекомендовано використовувати рідкокристалічний індикатори FP1125P або GD2936 компанії VDG (Китай). Індикатори тиру FP1125P відносяться до знакосинтезуючим семисегментним індикаторам зі статичним типом керування і призначені для відображення інформації в контрольно-вимірювальних пристроях. Індикатори мають twist кристали срібристо- чорного кольору.

Габаритні розміри чотирьох розрядних індикаторів $51\times27\times4$ мм, висота знаку 8 мм. Діапазон робочих температур: $-30 +60$ °C.

Даний індикатор випускається уже давно і погано відповідає нинішнім стандартам, має низьку надійність, погано випромінює, має не формовані виводи і т. д. Ці недоліки компенсуються при використанні зарубіжного аналога GD-2936. Його ціна незначно перевищує ціну вітчизняного оригінала, тому така заміна є виправданою.

2.4.2 Вибір операційного підсилювача

Для регулятора температури потрібно два однотипних ОП. Використаємо операційний підсилювач MA747.

A747 – здвоєний операційний підсилювач (A747х 2). Корпус MA747 типу 201.14-1. Його застарілим аналогом є 140УД20 .

Електричні параметри та гранично допустимі режими експлуатації занесемо до таблиць 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Електричні параметри при: $U_{п} = 15 \text{ В}$, $R_{н} = 2 \text{ к}$, $T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Напруга живлення	$\pm 15 \text{ В} \pm 10\%$
1	2
Максимальна вихідна напруга при $U_n = 15 \text{ В}$ при $U_n = 13,5 \text{ В}$	не менше $\pm 11,5 \text{ В}$ не менше $\pm 10,5 \text{ В}$
Напруга зсуву нуля при $U_n = 15 \text{ В}$ при $U_n = 16,5 \text{ В}$	не більш 3 мВ не більш $4,5 \text{ мВ}$
Вхідний струм	не більш 80 нА
Струм споживання при $U_n = 15 \text{ В}$ при $U_n = 16,5 \text{ В}$	не більш $2,8 \text{ мА}$ не більш $3,3 \text{ мА}$
Різниця вхідних струмів при $U_n = 15 \text{ В}$ при $U_n = 16,5 \text{ В}$	не більш 30 нА не більш 50 нА
Коефіцієнт підсилення напруги при $U_n = 15 \text{ В}$ при $U_n = 13,5 \text{ В}$	не менше 50000 не менше 25000
Коефіцієнт ослаблення синфазних вхідних напруг	не менше 70 дБ
Синфазна вхідна напруга	не менше $\pm 12 \text{ В}$
Коефіцієнт впливу нестабільності джерел живлення на напругу зсуву	не більш 150 мкВ/В
Частота одиничного підсилення	не менше $0,5 \text{ МГц}$
Швидкість наростання вихідної напруги	не менше $0,3 \text{ В/мкс}$
Напруга живлення	$\pm (8 \dots 19,5) \text{ В}$
Вхідна синфазна напруга	не більш $\pm 14,5 \text{ В}$
Вхідна диференціальна напруга	не більш $\pm 7 \text{ В}$
Температура навколишнього середовища	$-60 \dots +125 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Типові робочі характеристики наведені в додатку Б.

2.4.3 Вибір суматора

Оскільки ми використовуємо 3 датчика температури то дані з них повинні усереднитись для високої точності вимірювання. В якості пристрою для усереднення даних з датчиків використаємо суматор з коефіцієнтом передачі $1/3$ на основі операційного підсилювача.

Напруга з трьох датчиків повинна усереднюватись за формулою

$$U_{BX} = U_{Д1} + U_{Д2} + U_{Д3} = 3U_{Д} . \quad (2.1)$$

Вихідна напруга, що буде подаватись на вхід ЦАП

$$U_{ВИХ} = U_{Д} . \quad (2.2)$$

Тому взявши на увагу вищевказані дані необхідний коефіцієнт підсилення напруги розрахуємо за формулою

$$K = \frac{U_{ВИХ}}{U_{BX}} ; \quad (2.3)$$

Тоді

$$K = \frac{U_{Д}}{3U_{Д}} ; \quad (2.4)$$

$$K = \frac{1}{3} .$$

Для забезпечення підсилення напруги в 1/3 разів застосовують один операційний підсилювач (ОП) типу LM318 з параметрами [7]:

- частота одиничного підсилення: $f=1\text{МГц}$;
- максимальна вихідна напруга: $U_{вих.мах} = \pm 12\text{ В}$;
- максимальний вихідний струм: $I_{вих.мах} = 10\text{ мА}$;
- вихідний опір: $R_{вих} = 75\text{ Ом}$;
- напруга живлення: $U_{ж} = \pm 15\text{В}$;
- вхідний опір: $R_{вх} = 300\text{ кОм}$;
- коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу: $K_{эф.ос.} = 80\text{ дБ}$;
- коефіцієнт підсилення напруги: $K_U = 25000$;
- струм споживання: $I_{СПОЖ} = 4,2\text{ мА}$.

2.4.4 Вибір датчика температури

В якості термоелементу застосований кремнієвий діод, залежність прямої напруги (тобто падіння напруги на діоді при протіканні через нього прямого

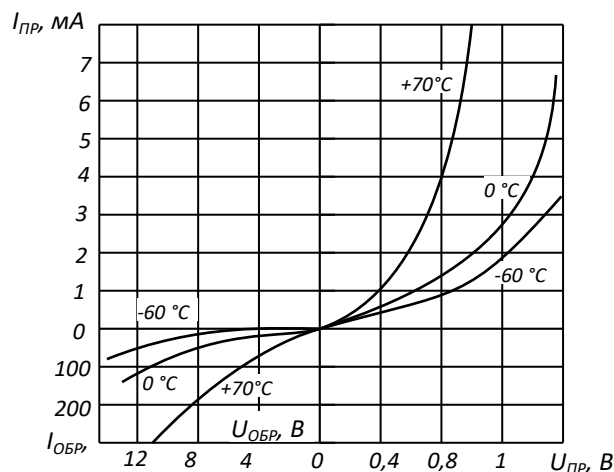
струму — від анода до катода) якого лінійна в широкому діапазоні зміни температури навколишнього середовища. Як показали дослідження, практично будь-який кремнієвий діод або транзистор може бути використаний як лінійний температурний перетворювач в діапазоні від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ [8]. З підвищенням температури напруга на діоді падає.

Виберемо кремнієвий діод типу 1N4148, так як він має найбільший робочий температурний діапазон, є недорогим і має зручний корпус для використання його в якості датчика.

Основні параметри діода 1N4148A [7]:

- максимально допустимий імпульсний прямий струм, мА, при $\tau_H = 10$ мкс – 500;
- максимально допустимий постійний або середній прямий струм, мА – 50;
- імпульсна пряма напруга, В – 1,75;
- максимально допустима імпульсна або постійна зворотня напруга, В – 15;
- максимальний зворотній струм, мкА, при $U_{зв\ max} = 1$;
- час зворотнього відновлення діода, мкс – 0,004;
- загальна ємність діода, пФ – 4;
- температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$ – від -60 до $+125$.

Волт-амперна характеристика діода зображена на рисуюнок 2.9 [4].



Рисуюнок 2.9 – Вольт-амперна характеристика діода при різних температурах корпусу

Виходячи з ВАХ, що зображена на рисунку 2.9 бачимо, що падіння напруги на прямозміщеному діоді при струмові 1 мА має величину в межах 600 мВ і лінійно зменшується зі збільшенням температури.

2.5 Попередній розрахунок терморегулятора

Згідно п. 2.4 приймемо напругу живлення АЦП 9 В, при струмі споживання $I=1,8$ мА потужність споживання складе

$$P_{АЦП} = U_{ж} I_{СПОЖ} \quad (2.5)$$

$$P_{АЦП} = 9 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 16,2 \cdot 10^{-3} \text{ (Вт)}$$

Приймемо значення опорної напруги ($U_{ОП}$) на рівні 0,2 В тоді вхідна напруга ($U_{ВХ}$) повинна складати 0,6 В (згідно п. 2.4).

Для живлення ОП LM318 будемо використовувати двополярне живлення напругою ($U_{ж}=\pm 9$ В). Тоді згідно п. 2.4.3 ($I_{СПОЖ}=4,2$ мА) і формули 2.5 маємо

$$P_{ОП1} = 9 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} = 38 \cdot 10^{-3} \text{ (Вт)}.$$

Аналогічно і для ОП К140УД20

$$P_{ОП2} = 9 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} = 25,2 \cdot 10^{-3} \text{ (Вт)}.$$

Оскільки ми використовуємо два ОП К140УД20 то відповідно і потужність $P_{ОП2}$ буде рівна

$$P_{ОП2} = 2 \cdot 25,2 \cdot 10^{-3} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ (Вт)}.$$

Знайдемо загальну споживану потужність пристрою за формулою

$$P_{3AG} = P_{АЦП} + P_{оп1} + P_{оп2}; \quad (2.6)$$

$$P_{3AG} = (16,2 + 38 + 50) \cdot 10^{-3} = 105 \cdot 10^{-3} \text{ (Вт)}.$$

Для індикації падіння напруги живлення і для постійного включення коми Н₃ використовуються логічні елементи „виключне або” (CD4030A). Для індикації десяткової коми на вхід 1 подамо напругу живлення, а для індикації падіння напруги на вхід 5 мікросхеми DD1 подамо напругу, яка при падінні напруги живлення на 1 В стане нижче рівня логічної одиниці, що і ввімкне відповідний символ. Прийmemo напругу логічної одиниці 5,6 В, тоді при падінні напруги живлення на 1,6 В рівень на вході 1 мікросхеми буде

$$U^0 = U^1 - U_{пад}, \quad (2.7)$$

$$U^0 = 5,6 - 1,6 = 4 \text{ (В)}.$$

Отриманий результат є нижче рівня логічної одиниці.

2.6 Розробка блоку живлення

Невід’ємною частиною будь якого електронного пристрою чи апаратури являється джерело живлення функція якого полягає в забезпеченні її безперебійним постачанням електричною енергією потрібного виду та якості.

Для даного пристрою висуваються особливі вимоги щодо стабільності, оскільки він повинен працювати без перерви.

Терморегулятор задовольнить блок живлення напругою ± 9 В, потужністю не менше 0,2 Вт (згідно п.2.5), з допустимим відхиленням 5%.

Цим вимогам задовольнить трансформатор живлення типу ТПП. Його характеристики наведені в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Електричні параметри трансформатора живлення ТПП

Типономінал	Номінальна потужність, Вт	Струм первинної обмотки, А	Напруга вторинних обмоток, В			Номінальний струм вторинних обмоток, А
			II, II	III, III	IV, V	
ТПП208-127/220-50	1,65	0,025	10	10	2,6	0,037

Напругу ± 9 В можна одержати використавши діодну збірку 2W10G фірми General Semiconductor і мікросхеми 79L09 і 78L09 по стандартній схемі включення. Електричні параметри діодної збірки наведені в таблиці 2.4, а мікросхем в таблиці 2.5 [4].

Таблиця 2.4 – Електричні параметри діодної збірки КЦ407А

Параметр	Значення
Середня пряма напруга короткого замикання при $I_{К.З}=200$ мА, не більше, В при $T=+25$ °С при $T=-60$ °С	2,5 2,7
Середній зворотній струм холостого ходу при $U_{ОБР,И}=400$ В, не більше, мкА при $T=+25$ °С при $T=+85$ °С	5 100
Час зворотнього відновлення при $U_{ОБР,И}=200$ В і $I_{ПР,И}=0,05$ А, не більше, мкс	5

Гранично допустимі дані і типові робочі характеристики наведені в [4].

Таблиця 2.5 – Електричні параметри мікросхем 79L09 і 78L09

Мікросхема	Uвих., В	Iмакс., А	Рмакс., Вт	Ввімкнення
79L09	9	0,1	0,5	Мінусове
78L09	9	0,1	0,5	Плюсове

2.7 Розробка структурної схеми

Структурна схема терморегулятора з цифровою індикацією температури зображена на рисунку 2.10.

Д1 – Д3 – датчики температури;

Σ – суматор, що призначений для усереднення значень знятих з термодатчиків з метою точнішого визначення середньої температури приміщення;

П – перемикач, що призначений для комутації режиму роботи і установки порогу регулювання;

АЦП – призначений для перетворення аналогового сигналу з термодатчиків з суматора у цифрову форму для подальшого її виведення на ЖК дисплей;

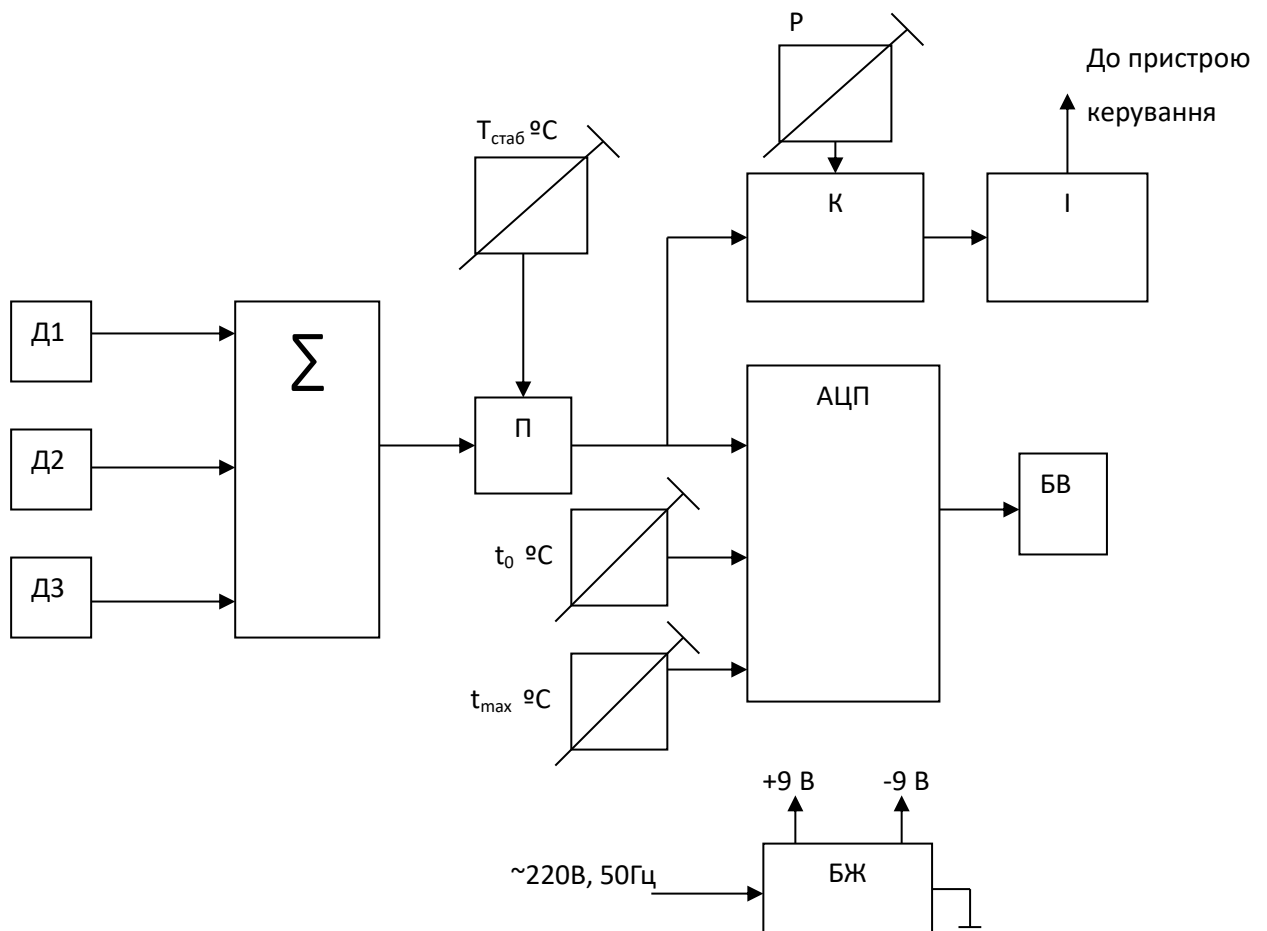


Рисунок 2.10 – Структурна схема пристрою

Вузол відображення – призначений для відображення інформації у зручній для людини формі;

К – компаратор, призначений для порівняння значень з датчика і заданого значення;

I – інтегратор, призначений для плавного переходу терморегулятора з одного режиму в інший;

$T_{\text{стаб}}$ °C – регулятор, що призначений для установки температури регулювання;

P – регулятор, що призначений для установки рівня регулювання на даній температурі;

t_0 °C – регулятор для настройки пристрою (установка нуля);

t_{max} °C – регулятор установки максимальної температури;

Блок живлення призначений для подачі двополярної напруги (± 9 В) на операційні підсилювачі (на яких будується К і I) і +9 В для живлення АЦП.

2.8 Висновки до розділу

Багатосенсорний підхід передбачає інтеграцію різних типів сенсорів у систему для збору даних з кількох джерел. Це дозволяє отримати більш точну інформацію, оскільки кожен сенсор може мати свої переваги та обмеження. З розвитком технологій, багатосенсорний підхід в IoT стає дедалі більш потужним. Використання новітніх технологій, таких як 5G, штучний інтелект та обчислення на краю мережі (edge computing), дозволяє забезпечити швидку обробку великих обсягів даних, покращити інтеграцію сенсорів і знизити енергоспоживання.

Перевагами багатосенсорного підходу є такі:

- 1) Покращена точність даних - об'єднання даних з кількох сенсорів дозволяє зменшити помилки та зробити результат більш надійним.
- 2) Резервування - у разі відмови одного сенсора, інші сенсори можуть компенсувати його втрату, підвищуючи надійність системи.

- 3) Зниження впливу шуму та помилок - різні сенсори можуть компенсувати недоліки один одного, зменшуючи загальний рівень помилок і шуми в даних.
- 4) Різноманітність застосувань - завдяки багатосенсорному підходу можна реалізувати більш складні функції, такі як автономні системи управління або моніторинг складних процесів.

3 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ КАСКАДІВ ПРИСТРОЮ

3.1 Розрахунок цифрового термометра

Вхідні дані [9]:

- напруга живлення: $U_{жк}=9\text{ В}$;
- вхідна напруга: $U_{вх}=0,6\text{ В}$;
- напруга обробки: $U_{обр}=0,2\text{ В}$;
- напруга інтегрування: $U_{инт} = U_{жк}/2=4,5\text{ В}$;
- тактова частота: $f_T=50\text{ кГц}$;
- вхідний опір АЦП: $R_{вхАЦП}>100\text{ МОм}$.

Електрична принципова схема пристрою представлена на рисунку 3.1.

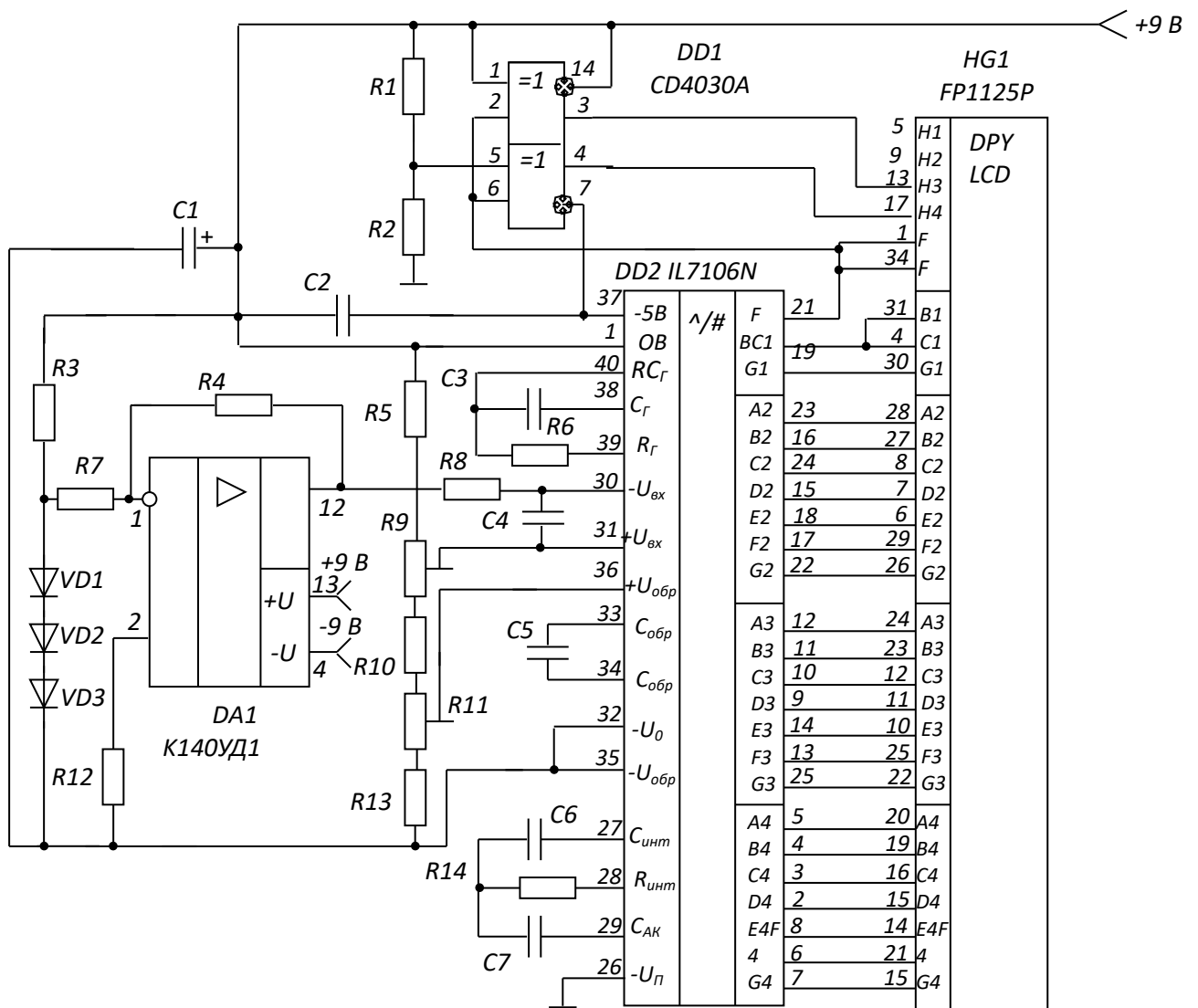


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова

Знайдемо значення резисторів R_1 і R_2 . Ці подільники служать для задавання рівня напруги на вході 5 мікросхеми DD1 на рівні 4 В. При падінні напруги живлення на 1 – 1,6 В на вході 5 мікросхеми напруга впаде нижче рівня логічної одиниці, що в свою чергу ввімкне знак коми на LCD дисплеї яка і буде сигналізувати про падіння напруги.

$$R_1 = \frac{(U_{BX} - U_{BHX})R_2}{U_{BHX}}, \quad (3.1)$$

Прийmemo $R_2 = 1,5 \text{ М}$, тоді

$$R_1 = \frac{(5 - 4) \cdot 1,5 \cdot 10^6}{4} = 3,7 \cdot 10^6 = 3,7 \text{ (МОм)}.$$

Щоб знайти значення резисторів R_5 , R_7 , R_9 , R_{10} і R_{12} розрахуємо еквівалентний подільник R_a , R_b і R_c що зображений на рисунку 3.2.

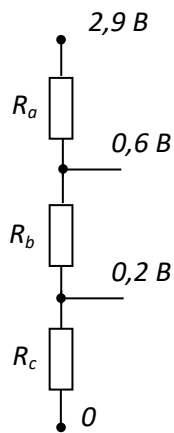


Рисунок 3.2 – Еквівалентна схема подільника

$$\text{Тут } R_a = R_5 + \frac{1}{2} R_9, \quad R_b = \frac{1}{2} R_9 + R_{10} + \frac{1}{2} R_{11}, \quad R_c = \frac{1}{2} R_{11} + R_{13}.$$

Звідки

$$R_5 = R_a - \frac{1}{2} R_9; \quad (3.2)$$

$$R_{10} = R_b - \frac{1}{2} R_9 - \frac{1}{2} R_{11}; \quad (3.3)$$

$$R13 = R_c - \frac{1}{2} R11. \quad (3.4)$$

Знайдемо значення резистора R_b за формулою (3.5) [10]

$$R_b = \frac{(U_{BX} - U_{BHX}) R_c}{U_{BHX}}. \quad (3.5)$$

Для нього $U_{BX}=0,6$ В, а $U_{BHX}=0,2$ В і приймемо $R_c=5$ кОм.

Тоді

$$R_b = \frac{(0,6 - 0,2) \cdot 5000}{0,2} = 10000 = 10 \text{ (кОм)}.$$

Знайдемо R_a , для якого $U_{BX}=2,9$ В, а $U_{BHX}=0,6$ В, тоді

$$R_a = \frac{(2,9 - 0,6) \cdot (10000 + 5000)}{0,6} = 57500 = 57,5 \text{ (кОм)}.$$

Приймемо $R9=1$ кОм, $R11=1$ кОм тоді згідно формул (3.2 – 3.4) знайдемо $R5, R10, R13$.

$$R5 = 57,5 - \frac{1}{2} \cdot 1 = 57 \text{ (кОм)},$$

$$R10 = 10 - \frac{1}{2} \cdot 1 - \frac{1}{2} \cdot 1 = 9 \text{ (кОм)},$$

$$R13 = 5 - \frac{1}{2} \cdot 1 = 4,5 \text{ (кОм)}.$$

Для розрахунку вхідного $R8C4$ – фільтра скористаємося формулою (3.6).

$$C4 = \frac{3200q(R8 + R_H)}{mR8R_H} [\text{мкФ}]; \quad (3.6)$$

де $R_H=R_{BX}=100$ МОм, $m=1$ – кількість фаз, $q=0,001$ – коефіцієнт пульсацій [10].

Тоді прийнявши $R_8=91$ кОм маємо

$$C_4 = \frac{3200 \cdot 0,001 (91 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^6)}{1 \cdot 91 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^6} = 35 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ} = 35 \text{ (нФ)}.$$

В склад мікросхеми входить тактовий генератор. Частота слідування його імпульсів визначається зовнішніми елементами R_6 і C_3 . Для подавлення мережевих перешкод з частотами, кратними 50 Гц, частота повторення імпульсів повинна бути вибрана такою, щоб під час інтегрування, рівне 4000 періодам тактового генератора T , вкладалось ціле число K періодів мереженої напруги, рівних 20 мс [11].

Таким чином

$$4000T = 20K \text{ [мс]};$$

де $K=1,2,3...$ Звідси

$$f_T = \frac{1}{T}; \quad (3.7)$$

$$f_T = \frac{200}{K} \text{ [кГц]};$$

Тобто 200, 100, 67, 50, 40 кГц, менші частоти зазвичай не застосовуються.

Номінали частотозадаючих кіл тактового генератора розраховуються по формулі [12]

$$C_T = \frac{0,45}{f_T R_T}; \quad (3.8)$$

Прийmemo значення резистора $R_7=R_6=10$ кОм, і частоту $f_7=f_T=50$ кГц, тоді згідно формули (3.8).

$$C_3 = C_7 = \frac{0,45}{50 \cdot 10^3 \cdot 10^4} = 0,9 \cdot 10^{-9} = 900 \text{ (нФ)}.$$

Знайдемо значення R_{14} і C_6 згідно формули (3.9).

$$C_{INT} R_{INT} = \frac{4000 U_{BX}}{U_{INT} f_T}; \quad (3.9)$$

де C_{INT} – інтегруюча ємність, в мкФ;

R_{INT} – інтегруючий опір, в кОм;

U_{BX} – вхідна напруга, в В;

f_T – тактова частота, в кГц.

Звідки

$$C_{INT} = \frac{4000 U_{BX} R_{INT}}{U_{INT} f_T} \text{ (мкФ)}. \quad (3.10)$$

У нас $C_{INT}=C_6$, $R_{INT}=R_{14}$, тоді прийнявши $R_{14}=100$ кОм згідно формули (3.10) отримаємо

$$C_{INT} = \frac{4000 \cdot 0,6 \cdot 100}{4,5 \cdot 50} = 0,1 \text{ (мкФ)}.$$

Згідно з [7] значення конденсаторів C_2 , C_5 і C_7 , вибираються відносно вхідної напруги, отже при $U_{BX}=0,2$ В, $C_2=75$ пФ, $C_5=1$ мкФ, а $C_7=0,47$ мкФ.

Для того щоб отримати на виході DA1 напругу 0,6 В, необхідно на його вхід подати напругу в три рази більшу згідно п. 2.5.3, тобто 1,8 В.

Через діоди VD1, VD2 і VD3 протікає струм $I_D=1$ мА (згідно п. 2.5.3). Для живлення датчиків використовується вмонтоване в мікросхему DD2 джерело опорної напруги ОВ. Напруга на виході 1 мікросхеми DD2 рівна 2,9 В.

Отже, для отримання напруги на діодах 1,8 В необхідно щоб на резисторі R3 падіння напруги складало

$$U_{R3} = U_{OB} - U_D \quad (3.11)$$

де $U_{OB}=2,9$ В – джерело опорної напруги DD2;

$U_D=1,8$ В – напруга на діодах VD1, VD2 і VD3.

Тоді

$$U_{R3} = 2,9 - 1,8 = 1,1 \text{ (В)}.$$

Виходячи з вище сказаного знайдемо R3

$$R3 = \frac{U_{R3}}{I_D}; \quad (3.12)$$

$$R3 = \frac{1,1}{0,01} = 110 \text{ (Ом)}.$$

Для фільтрації наводок мережі 50 Гц на датчиках необхідно поставити фільтруючу ємність [13]

$$C1 = \frac{1}{2\pi f R3}; \quad (3.13)$$

$$C1 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 110} = 32 \cdot 10^{-6} = 32 \text{ (мкФ)}.$$

Коефіцієнт підсилення DA1

$$K = \frac{A}{1 + A \frac{R7}{R4}}; \quad (3.14)$$

де $K=1/3$ – коефіцієнт передачі DA1;

$A=25000$ – коефіцієнт передачі напруги DA1.

Звідси

$$R4 = \frac{AKR7}{A - K}. \quad (3.15)$$

Тоді прийнявши $R7=1$ кОм знайдемо $R4$

$$R4 = \frac{25000 \cdot 0,33 \cdot 1000}{25000 - 0,33} = 330 \text{ (Ом)}.$$

Знайдемо за формулою (3.16) $R12$

$$R12 = \frac{R7R4}{R7 + R4}; \quad (3.16)$$

$$R12 = \frac{1000 \cdot 330}{1000 + 330} = 248 \text{ (Ом)}.$$

Проведемо вибір пасивних елементів.

Резистори $R1 - R8$, $R10$ і $R12 - R14$ виберемо типу C2-23, а резистори $R9$ і $R11$ типу СПЗ - 19, тоді [7]:

$R1$: C2-23-0,125-3,9 МОм $\pm 5\%$;

$R2$: C2-23-0,125-1,5 МОм $\pm 5\%$;

$R3$: C2-23-0,125-110 Ом $\pm 5\%$;

$R4$: C2-23-0,125-330 Ом $\pm 5\%$;

$R5$: C2-23-0,125-56 кОм $\pm 5\%$;

$R6, R10$: C2-23-0,125-10 кОм $\pm 5\%$;

$R7$: C2-23-0,125-1 кОм $\pm 5\%$;

$R8$: C2-23-0,125-91 кОм $\pm 5\%$;

$R9, R11$: СПЗ-19-0,5-1 кОм $\pm 20\%$;

$R12$: С2-23-0,125-240 Ом $\pm 5\%$;

$R13$: С2-23-0,125-4,5 кОм $\pm 5\%$;

$R14$: С2-23-0,125-100 кОм $\pm 5\%$.

Конденсатори $C2 - C4$, $C6$, $C7$ виберемо типу К-10 -17, а конденсатор $C1$ і $C5$ типу К50-35, тоді [7]:

$C1$: К50-35-30-33 мкФ $\pm 20\%$;

$C2$: К10-17-25-75 пФ $\pm 20\%$;

$C3$: К10-17-25-910 пФ $\pm 20\%$;

$C4$: К10-17-25-36 пФ $\pm 20\%$;

$C5$: К10-17-25-1 мкФ $\pm 20\%$;

$C6$: К10-17-25-0,1 мкФ $\pm 20\%$;

$C7$: К10-17-25-0,47 мкФ $\pm 20\%$.

3.2 Розрахунок терморегулятора

Принципова схема терморегулятора зображена на рисунку 3.3.

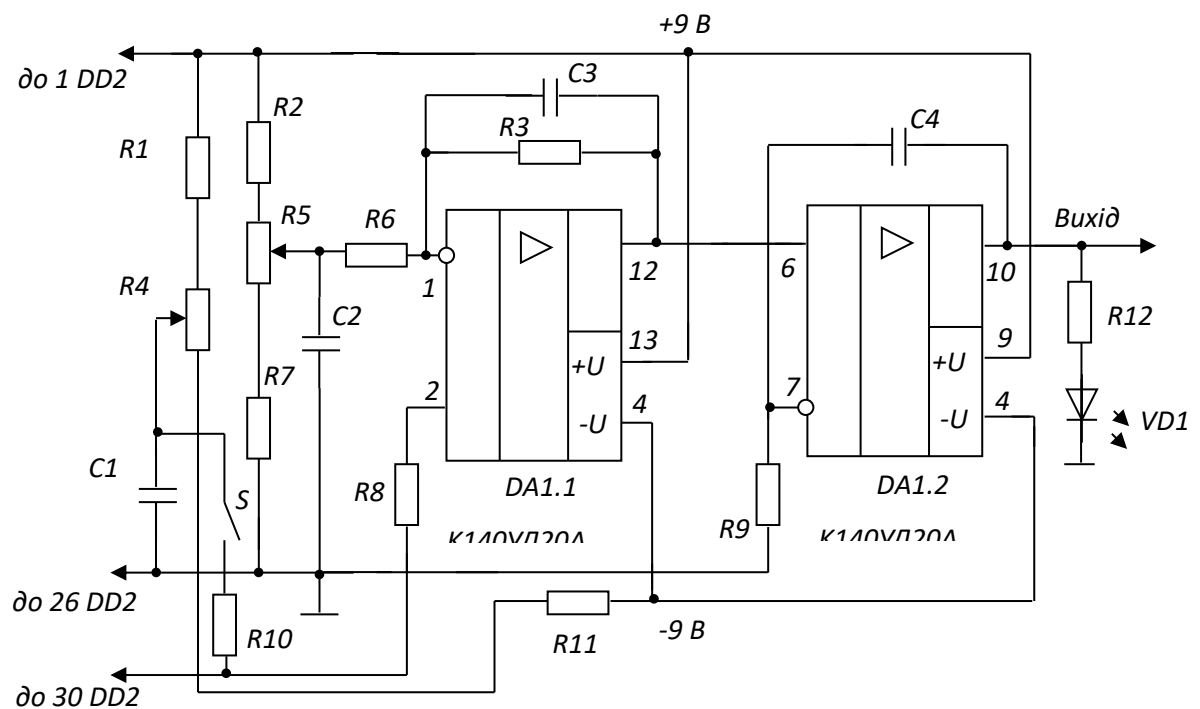


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова терморегулятора

Розрахуємо значення подільників $R1$, $R4$ і $R11$. Напруга між ними складає 18 В. Резистором $R4$ при замкнутому ключі S і середній температурі діапазону 0 °С повинен давати напругу на вхід 2 ОП DA1.2 на рівні 0,6 В [13], і змінювати напругу в межах необхідних для регулювання температури. Для цього розрахуємо еквівалентний подільник R_a і R_b які відповідно рівні

$$R_a = R1 + \frac{1}{2} R4; \quad (3.17)$$

$$R_b = R11 + \frac{1}{2} R4. \quad (3.18)$$

Еквівалентна схема подільника зображена на рисунку 3.4.

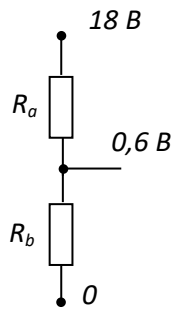


Рисунок 3.4 – Еквівалентна схема подільника

Значення резисторів R_a і R_b розрахуємо згідно [9]

$$R_b = \frac{U_{ВНХ} R_a}{U_{ВХ} - U_{ВНХ}}. \quad (3.19)$$

Приймемо $R_a = 150$ кОм, тоді

$$R_b = \frac{0,6 \cdot 150 \cdot 10^3}{18 - 0,6} = 5170 = 5,2 \text{ (кОм)}.$$

Тоді згідно з формул (3.20 і 3.21)

$$R1 = R_a - \frac{1}{2} R4; \quad (3.20)$$

$$R_{11} = R_b - \frac{1}{2} R_4. \quad (3.21)$$

Підставивши $R_4 = 10$ кОм, отримаємо

$$R_1 = 150000 - \frac{1}{2} \cdot 10000 = 145000 = 145 \text{ (кОм)};$$

$$R_{11} = 5200 - \frac{1}{2} \cdot 10000 = 200 \text{ (Ом)}.$$

Регулятор R_5 встановлює необхідний рівень включення компаратора DA1.2 на даній температурі.

В середньому положенні регулятор R_5 повинен давати рівень напруги 0,6 В, що відповідає температурі 0 °С. Розрахунок регулятора R_5 , R_2 і R_7 проведемо згідно формул (3.17 – 3.21).

Розрахуємо еквівалентні подільники R_a і R_b .

Прийmemo $R_b = 10$ кОм, тоді:

$$R_a = \frac{(9 - 0,6) \cdot 10000}{0,6} = 140000 = 140 \text{ (кОм)}.$$

Значення резисторів R_2 , R_5 і R_7 знайдемо згідно формул (3.20, 3.21), підставивши значення $R_5 = 10$ кОм:

$$R_2 = 140000 - \frac{1}{2} \cdot 10000 = 135000 = 135 \text{ (кОм)};$$

$$R_7 = 10000 - \frac{1}{2} \cdot 10000 = 5000 = 5 \text{ (кОм)}.$$

Значення резисторів R_6 , R_3 і ємності C_3 знайдемо згідно [9]

$$K = \frac{A}{1 + A \frac{R_7}{R_9}}; \quad (3.22)$$

де K – коефіцієнт передачі;

A – коефіцієнт підсилення.

Виходячи з формули (3.22) знайдемо значення резисторів R_6 і R_3

$$R_3 = \frac{AKR_6}{A - K}. \quad (3.21)$$

Підставивши значення резистора $R_6=10$ кОм, і підставивши значення $K=100$, знайдемо значення резистора R_3

$$R_3 = \frac{25000 \cdot 100 \cdot 10000}{25000 - 100} = 1004016 = 1 \text{ (МОм)}.$$

Щоб знайти значення ємності C_3 , що призначена для запобігання стрибкоподібної зміни напруги на виході скористаємося формулою

$$\tau = KRC; \quad (3.22)$$

де K – коефіцієнт підсилення ОП;

τ – стала часу кола;

$R=R_3=1$ МОм.

З формули (3.22) знайдемо C

$$C_3 = \frac{\tau}{KR_3}. \quad (3.23)$$

Прийнявши $\tau=0,2$ с знайдемо C_3

$$C_3 = \frac{0,2}{25000 \cdot 1000000} = 8 \cdot 10^{-12} = 8 \text{ (нФ)}.$$

Значення резистора $R9$ і $C4$ скористаємося формулою (3.23), прийнявши $R9=4$ кОм і $\tau=4$ с, маємо

$$C4 = \frac{4}{25000 \cdot 4000} = 4 \cdot 10^{-8} = 40 \text{ (нФ)}.$$

Для зменшення стрибків напруги при перемиканні перемикача S паралельно йому ввімкнемо шунтуючий конденсатор $C1=0,1$ мкФ.

Ємність $C2$ служить для зменшення впливу мережевих завад на вхід DA1.1, знайдемо її за формулою (3.24).

$$C2 = \frac{1}{2\pi f R_H}; \quad (3.24)$$

де $f=50$ Гц;

$R_H=10$ кОм – вхідний опір DA1.1 який визначається резистором $R6$.

Підставивши значення в формулу (3.24) знайдемо $C2$.

$$C2 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^3} = 0,3 \cdot 10^{-6} = 0,3 \text{ (мкФ)}.$$

Через резистори $R1$ і $R4$ протікає струм, що рівний

$$I = \frac{U_R}{R1 + \frac{1}{2} R4}, \quad (3.25)$$

де U_R – падіння напруги на резисторі $R1$ і половині резистора $R4$ (середнє положення, що відповідає температурі 0°C) і рівна

$$U_R = U_{\text{ж}} - U(t_0), \quad (3.26)$$

де $U_{\text{ж}}=9$ В – напруга живлення;

$U(t_0)=0,6$ В – напруга при середньому положенні регулятора $R4$, що відповідає температурі 0°C .

Тоді

$$U_R = 9 - 0,6 = 8,4 \text{ (В)},$$

Звідси

$$I = \frac{8,4}{145000 + \frac{1}{2} \cdot 10000} = 56 \cdot 10^{-6} \text{ (А)}.$$

Цей самий струм протікає і через резистор $R10$ при замкнутому ключі S , а тому

$$R10 = \frac{U(t_0)}{I}. \quad (3.27)$$

Виходячи з формули (3.27) знайдемо $R10$

$$R10 = \frac{0,6}{56 \cdot 10^{-6}} = 1071 = I \text{ (кОм)}.$$

Значення резистора $R8$ приймемо рівним 100 кОм.

Для індикації роботи пристрою використаємо світлодіод червоного кольору типу АЛ307А. Його параметри наведені в таблиці 3.1 [4].

Таблиця 3.1 – Основні параметри світлодіода

Тип діода	Яскравість, мкКан	Постійна пряма напруга, В, при $I_{np\ max}$	Максимально допустимий постійний прямий струм, мА	Максимально допустима постійна зворотня напруга, В	Температура навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$	
					від	до
АЛ307А	1500	2,0	20	2	-60	+70

Напруга на виході становить приблизно 3 В, знаючи струм, що повинен протікати через діод VD1 (≈ 20 мА, згідно таблиці 3.1) знайдемо значення резистора R_{12} .

$$R_{12} = \frac{U_{\text{вих}}}{I_{\text{пр max}}}, \quad (3.28)$$

$$R_{12} = \frac{3}{20 \cdot 10^{-3}} = 15 \text{ (Ом)}.$$

Проведемо вибір пасивних елементів.

Резистори $R_1 - R_3$, $R_6 - R_{12}$ виберемо типу С2-23, а резистори R_4 і R_5 типу СПЗ - 16, тоді [7]:

R_1 : С2-23-0,125-145 кОм $\pm 5\%$;

R_2 : С2-23-0,125-135 кОм $\pm 5\%$;

R_3 : С2-23-0,125-1 МОм $\pm 5\%$;

R_4, R_5 : СПЗ-16-0,125-10 кОм $\pm 20\%$;

R_6 : С2-23-0,125-10 кОм $\pm 5\%$;

R_7 : С2-23-0,125-5 кОм $\pm 5\%$;

R_8 : С2-23-0,125-100 кОм $\pm 5\%$;

R_9 : С2-23-0,125-4 кОм $\pm 5\%$;

R_{10} : С2-23-0,125-1 кОм $\pm 5\%$;

R_{11} : С2-23-0,125-200 Ом $\pm 5\%$;

R_{12} : С2-23-0,125-15 Ом $\pm 5\%$.

Конденсатори $C_1 - C_4$ виберемо типу К-10 -17, тоді [7]:

C_1 : К10-17-25-0,1 мкФ $\pm 20\%$;

C_2 : К10-17-25-0,3 мкФ $\pm 20\%$;

C_3 : К10-17-25-8,2 пФ $\pm 20\%$;

C_4 : К10-17-25-40 нФ $\pm 20\%$.

Перемикач S типу П2К.

3.3 Розрахунок силової частини блоку живлення

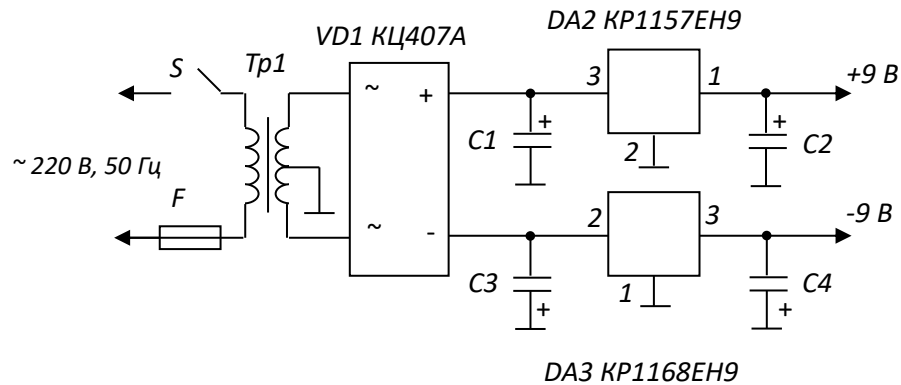


Рисунок 3.5 – Схема електрична принципова блоку живлення

Згідно формули (3.24) знайдемо значення конденсаторів $C2$ та $C4$. Для них опором навантаження є вихідний опір стабілізатора, що рівний $R_H = 20$ Ом.

$$C2 = C4 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20} = 159 \cdot 10^{-6} = 160 \text{ (мкФ)}.$$

Так само за формулою (3.24) знайдемо значення фільтруючої ємності $C1$ і $C3$ для яких $R_H = 200$ Ом є вхідний опір стабілізатора

$$C1 = C3 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 200} = 16 \cdot 10^{-6} = 16 \text{ (мкФ)}.$$

Конденсатори $C1 - C4$ виберемо типу К50-35, тоді [7]:

$C1, C3$: К50-35 30-16 мкФ $\pm 20\%$;

$C2, C4$: К50-35 30-160 мкФ $\pm 20\%$.

Перемикач S типу П1Т-1-1.

3.4 Розроблення безперебійної частини блоку живлення

Враховуючи запит на постійну та безперебійну роботу системи моніторингу, дуже важлива надійність електропостачання. Батареї не розглядалися як основний чи виключний засіб живлення. Передбачається, що розетка живлення є безпосередньо в кімнаті, і сенсорний пристрій можна безпосередньо підключити.

Енергоспоживання при нормальній роботі пристрою визначали на підставі вимірювання вхідного струму. На рис. 3.6 показаний запис вхідного струму, що включає три цикли вимірювання (один цикл триває 10 с). Три піки по 500 мА представляють активну бездротову передачу, коли всі дані вимірювань публікуються пристроєм у мережі MQTT і їх отримує користувач. Ця операція займає 1 нс. В середньому вхідний струм коливався близько 301 мА, що відповідає енергоспоживанню на рівні 1,5 Вт. Тим не менш, для досягнення роздільності вимірювання на рівні секунд і без обмежень на частоту контакту з хмарою потрібне живлення від мережі. Такі вимоги пред'являлися до пристрою, і використання живлення від мережі було свідомим вибором.

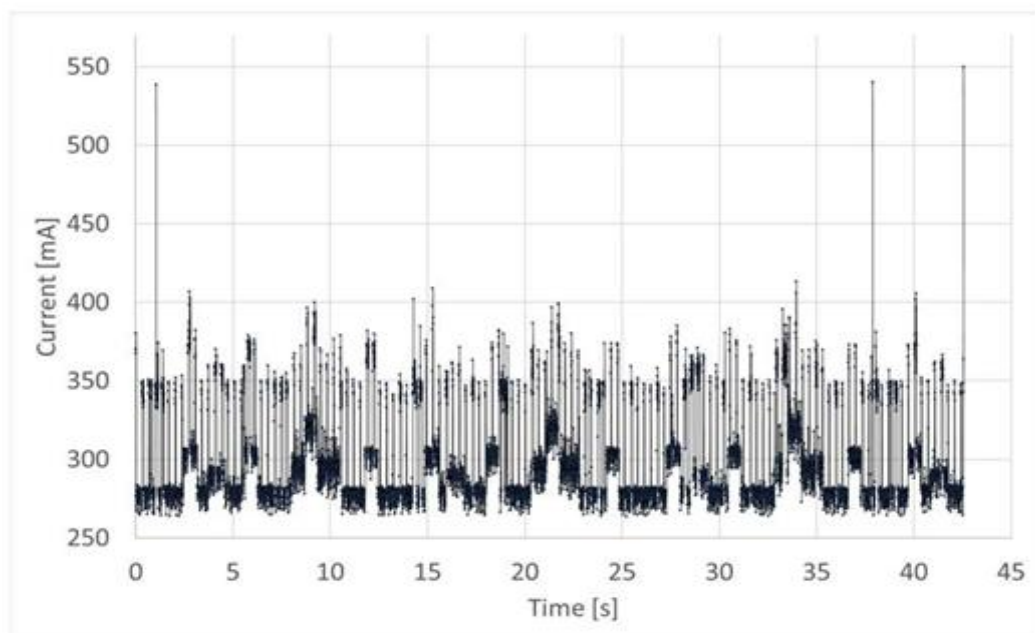


Рисунок 3.6 – Вхідний струм пристрою, виміряний протягом періоду, що включає три цикли вимірювання

Пристрій живиться від мережі, трансформатор живлення 220 В змінного струму на 5 В постійного струму (струм 3 А). Для усунення перешкод при обробці цифрових даних реалізовано спеціальний модуль живлення. Вони можуть бути спричинені перешкодами від електромагнітного поля, пов'язаного з електричним двигуном, і високочастотною бездротовою передачею в пристрої. У модулі використовується система лінійних стабілізаторів напруги, конденсаторів і дроселів напруги (індуктивність 15 мкГн), які гасять високочастотні збурення. Кожен основний модуль у пристрої має окреме джерело живлення, що складається з аналогової схеми з напругою 5 В, цифрової схеми з напругою 3,3 В і чутливої схеми з напругою 3,3 В.

3.5 Висновки до розділу

Інтеграція сенсорів у пристрої дозволяє створювати складні системи, що автоматично контролюють різні параметри середовища, адаптуються до змін та забезпечують оптимальну роботу пристроїв. Наприклад, сенсори можуть бути інтегровані в побутові прилади для автоматичного регулювання температури, вологості або освітлення, в промислові системи для моніторингу процесів або контролю якості продукції, а також в системи безпеки для виявлення руху або концентрації газів.

Інтеграція цих сенсорів здійснена через мікроконтролер або комп'ютерні системи дозволяє здійснювати обробку даних, керувати іншими пристроями або передавати інформацію на віддалені сервери для подальшого аналізу. Такі технології є основою розвитку Інтернету речей (IoT), систем автоматизації та створення розумних будинків.

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КАСКАДІВ ПРИСТРОЮ

4.1 Передача даних та інтерфейси

Інтерфейс — це зв'язок між системою, яка розглядається, та іншою системою або між пристроями системи, через які проходить інформація. У випадку представленого приладу дистанційне керування та збір даних може здійснюватися за допомогою зовнішнього персонального комп'ютера через стандартний комунікаційний порт UART зі швидкістю передачі даних 9600 біт/с або за допомогою бездротової мережі WiFi.

Для розробленого додатку важлива стабільна передача даних, без затримок і перерв. В якості основного рішення було обрано варіант бездротової передачі даних. Ми використовували плату мікроконтролера з вбудованим модулем WiFi і зовнішньою антеною, оснащеною роз'ємом SMA. Систему зв'язку можна легко розширити, встановивши на пристрій модуль GSM для GSM-передачі або підключивши модуль Ethernet для дротової передачі за допомогою кабелю RJ45 і використовуючи технологію живлення PoE. Усі ці рішення дозволяють передавати результати вимірювань.

Протокол MQTT застосовувався для передачі даних, зв'язку пристрою з іншими пристроями та з користувачем. Цей протокол легкий і простий і має низьку пропускну здатність. Дані надсилаються за запитом, ініційованим користувачем або сполученим зовнішнім пристроєм. Для встановлення зв'язку брокер MQTT отримує повідомлення від клієнтів-публікаторів, яким передусе адекватний параметр «TOPIC», який ідентифікує цільовий пристрій, а потім розповсюджує їх відповідним клієнтам-підписникам. Інтерфейс бездротового зв'язку дозволяє користувачеві:

Публікувати поточне значення окремого датчика в мережі MQTT;

Публікувати файли з даними вимірювань в мережі MQTT;

Опублікувати поточну конфігурацію вимірювального пристрою в мережі MQTT;

Публікувати інформацію про помилки передачі даних та помилки чутливих елементів у мережі MQTT;

Підпишіться на інформацію з допоміжного пристрою та збережіть її на карту microSD;

Підписати команди, які змінюють поточну конфігурацію мережі, пристроїв і датчиків;

Команди підписки, які дозволяють нам змінювати файли, збережені на карті microSD;

Підписати команди, які керують вимірювальним пристроєм (увімкнути, вимкнути, скинути тощо).

Застосований протокол MQTT дозволяє мультисенсорному пристрою отримувати доступ до інформації з допоміжних пристроїв і записувати її на внутрішню картку microSD. Ця опція забезпечує централізоване рішення, коли основний вимірювальний пристрій збирає всю інформацію про навколишнє середовище від своїх датчиків, а також від допоміжних пристроїв, щоб вона була доступна в одному місці. У таких випадках допоміжні пристрої можуть бути енергоефективними і дуже простими за конструкцією. Протокол MQTT також дозволяє мультисенсорному пристрою передавати інформацію про середовище в приміщенні до контролерів пристроїв і систем, призначених для покращення умов у приміщенні (наприклад, HVAC). Оскільки пристрій збирає кілька видів даних, його корисність дуже висока. На рис. 4.1 представлено мультисенсорний пристрій як елемент IoT для моніторингу внутрішнього середовища.

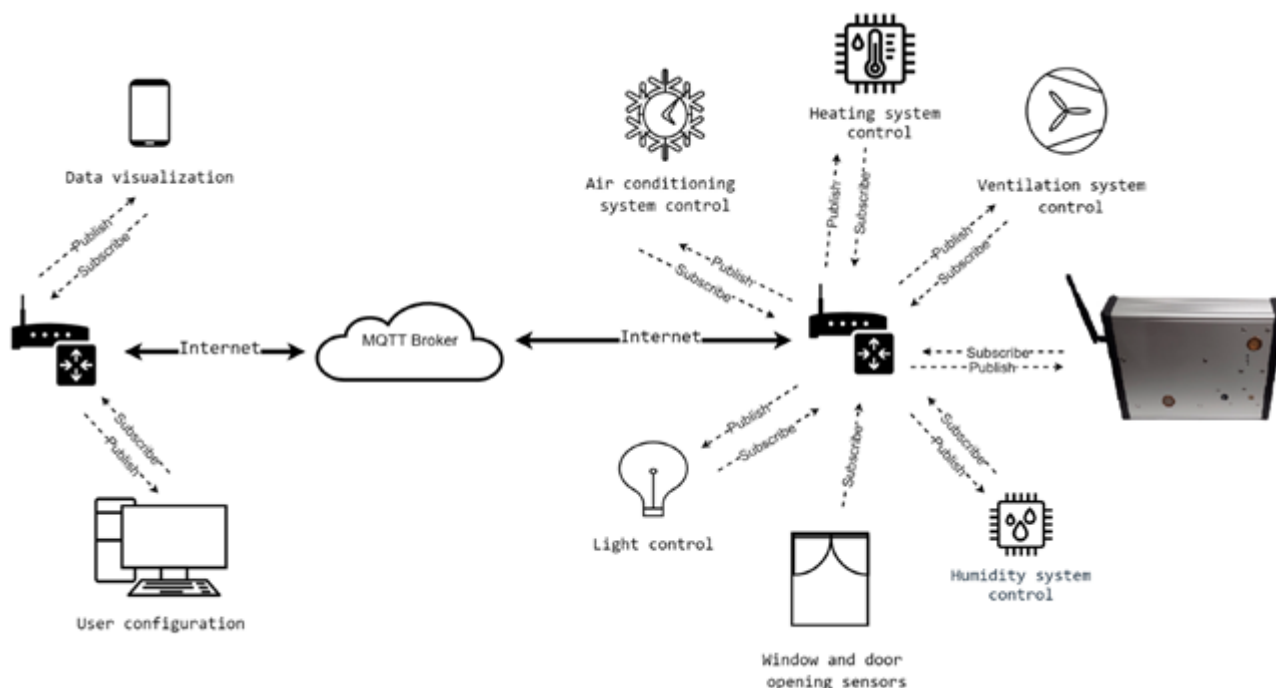


Рисунок 4.1 – Мультисенсорний пристрій як елемент IoT для моніторингу внутрішнього середовища

4.2 Вибір типу мікроконтролера

Для керування роботою вимірювального приладу обрано та застосовано мікроконтролер ESP-WROOM-32 (ESPRESSIF, Shanghai, China), структурна схема якого подана на рис. 4.2. Він має 520 КБ пам'яті SRAM, 8 МБ FLASH-пам'яті та двоядерний процесор Tensilica LX6 (Санта-Клара, Каліфорнія, США) з частотою 240 МГц. Мікроконтролер оснащений кількома різноманітними комунікаційними інтерфейсами та системою бездротового зв'язку, яка використовує частоту 2,4 ГГц.

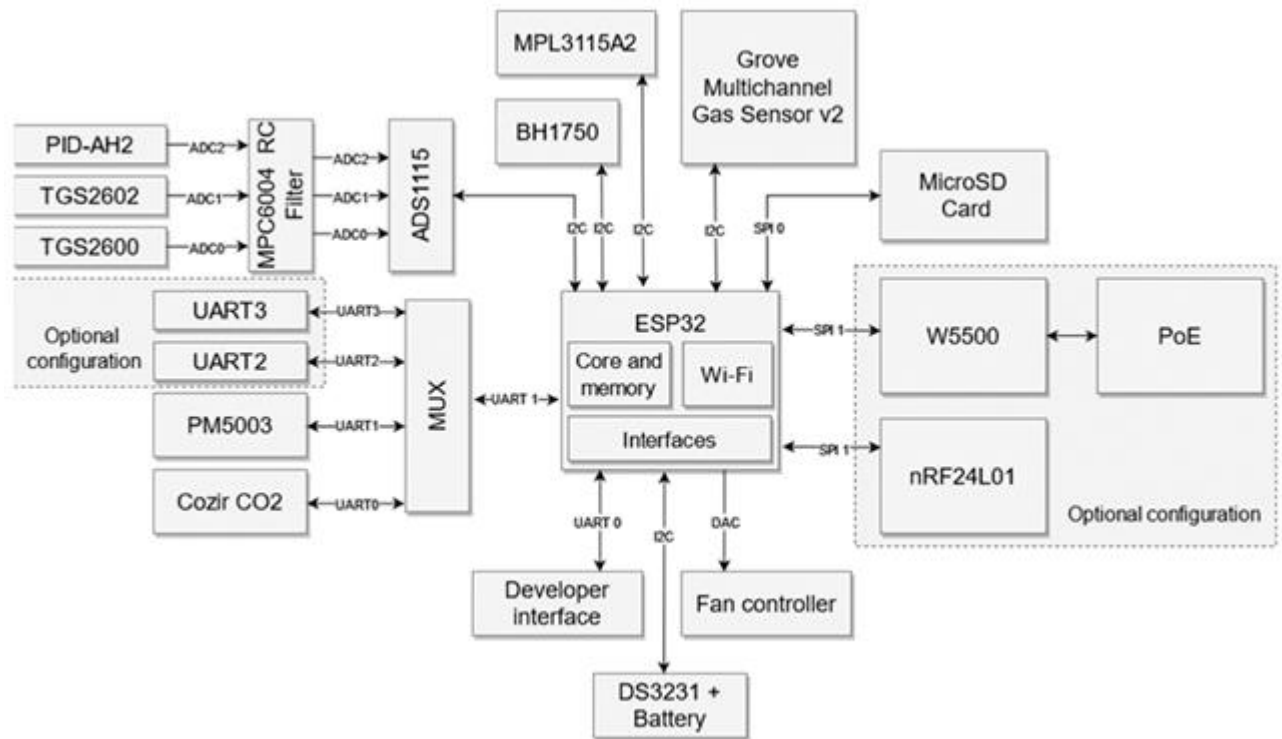


Рисунок 4.2 – Структурна схема вимірювального пристрою та управління його роботою мікроконтролером EPS

Основним комунікаційним інтерфейсом мікроконтролера EPS є шина I2C. Він використовувався для передачі інформації між мікроконтролером і АЦП, BH1750 (датчик інтенсивності світла), Grove Multichannel Gas Sensor v3 і MPL3115A2 (датчик атмосферного тиску). Інтерфейс АЦП був оснащений схемою регулювання напруги шини I2C на основі двох транзисторів Mosfet. Перетворювач логічних рівнів забезпечує двосторонній зв'язок по лініях SDA і SCL між перетворювачем АЦП (робоча напруга 5 В) і цифровою частиною (робоча напруга 3,3 В).

Модуль Cozir-Blink5000 і модуль PMS5003 взаємодіють з мікроконтролером EPS через інтерфейс UART. Виходячи з характеристик цих приладів, інтервал зчитування виміряного значення в обох випадках становить 10 с. Це передбачає малу пропускну здатність зчитування інформації для мікроконтролера EPS. У такому випадку достатньо використовувати швидкий чотиріканальний подвійний мультиплексор з низьким енергоспоживанням як

розширення інтерфейсу UART. Таке рішення дозволяє використовувати менший і дешевший мікроконтролер, який має лише один інтерфейс UART.

Дані вимірювань зберігаються на картці microSD, яка спілкується з мікроконтролером EPS через шину SPI0. Інший послідовний інтерфейс SPI1 використовується для зв'язку з модулями передачі даних. Залежно від застосованої конфігурації, це можуть бути системи бездротового зв'язку RF або GSM або дротова система Ethernet.

4.3 Розроблення блок-схеми алгоритму програми

Мікроконтролер EPS забезпечує багатопотоковість. Алгоритм роботи мікроконтролера EPS, застосованого у вимірювальному пристрої, показаний на рис. 4.3. Перший потік відповідає за ініціалізацію пристрою, зчитування датчиків, збір даних і запис на карту microSD. Другий потік стосується комунікаційного інтерфейсу. Він інтерпретує вхідні запити та відповідає. Файли конфігурації зберігаються на картці microSD. Файли доступні для мікроконтролера для інтерпретації, щоб отримати правильну конфігурацію вимірювального пристрою. Багатопотоковість може породжувати конфлікти доступу. Щоб запобігти запитам на одночасний доступ двох потоків до одних і тих самих ресурсів, був введений елемент синхронізації. Це гарантує, що потік має виключний доступ до спільного ресурсу.

Для програмування мікроконтролера ESP32 застосовано програмне забезпечення Thonny 4.0.2 на мові MicroPython.

Правильну роботу мікроконтролера забезпечує сторожовий таймер (WTD). Щоб запобігти несподіваному вимкненню пристрою, система WTD скине мікроконтролер. Скидання мікроконтролера автоматично ініціалізує систему, щоб вона могла збирати та публікувати дані в мережі MQTT.

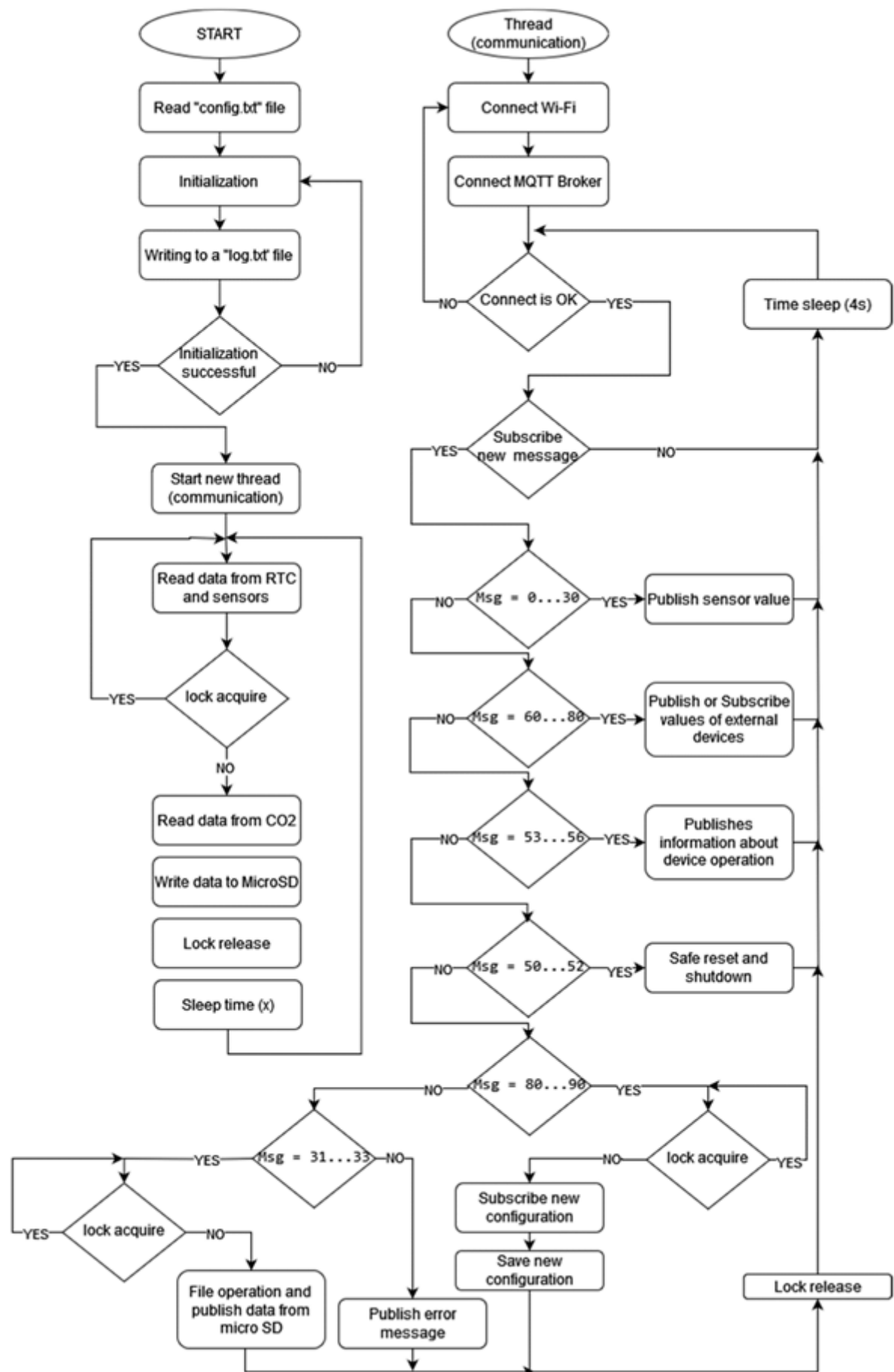


Рисунок 4.3 – Алгоритм роботи програми мікроконтролера EPS

4.4 Моделювання блоку терморегулятора

В даній дипломній роботі проводитимемо моделювання за допомогою програмного пакету Electronic Work Bench 5.12 тому, що даний програмний пакет зараз найбільш розповсюджений; простий у користуванні; має великий набір бібліотек з елементами.

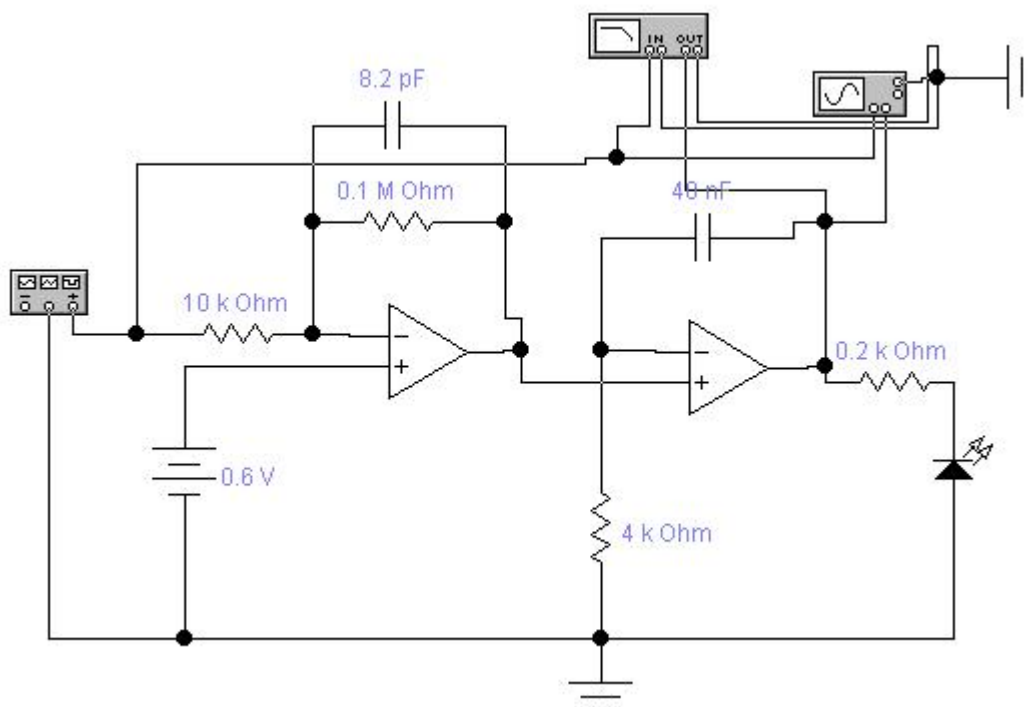


Рисунок 4.4 – Схема блоку терморегулятора в моделюючому пакеті Electronic Work Bench 5.12

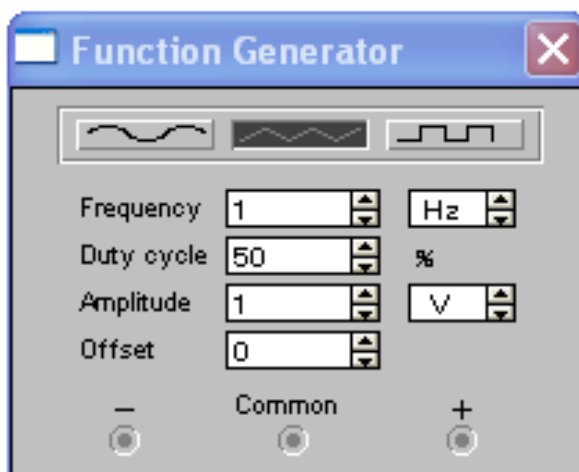


Рисунок 4.5 – Панель керування функціональним генератором в моделюючому пакеті Electronic Work Bench 5.12

Як бачимо з рисунку 4.5 в панелі керування функціональним генератором є параметр вибору рівня вхідного сигналу, частота вхідного сигналу та форма вхідного сигналу (синусоїда, прямокутний імпульс, пілкоподібний сигнал).

Для моделювання обрані ідеальні операційні підсилювачі для спрощення моделювання. Для першого варіанту подамо опорну напругу першого джерела живлення 0,6В. Так як температура змінюватися різко (кілька тисяч разів в секунду) не може, то ми працюватимемо на дуже низьких частотах. Подаємо на вхід сигнал трикутної форми з частотою 1 Гц та амплітудою 1 В.

Графіки вхідного та вихідного сигналів зображені на рисунку 4.6.

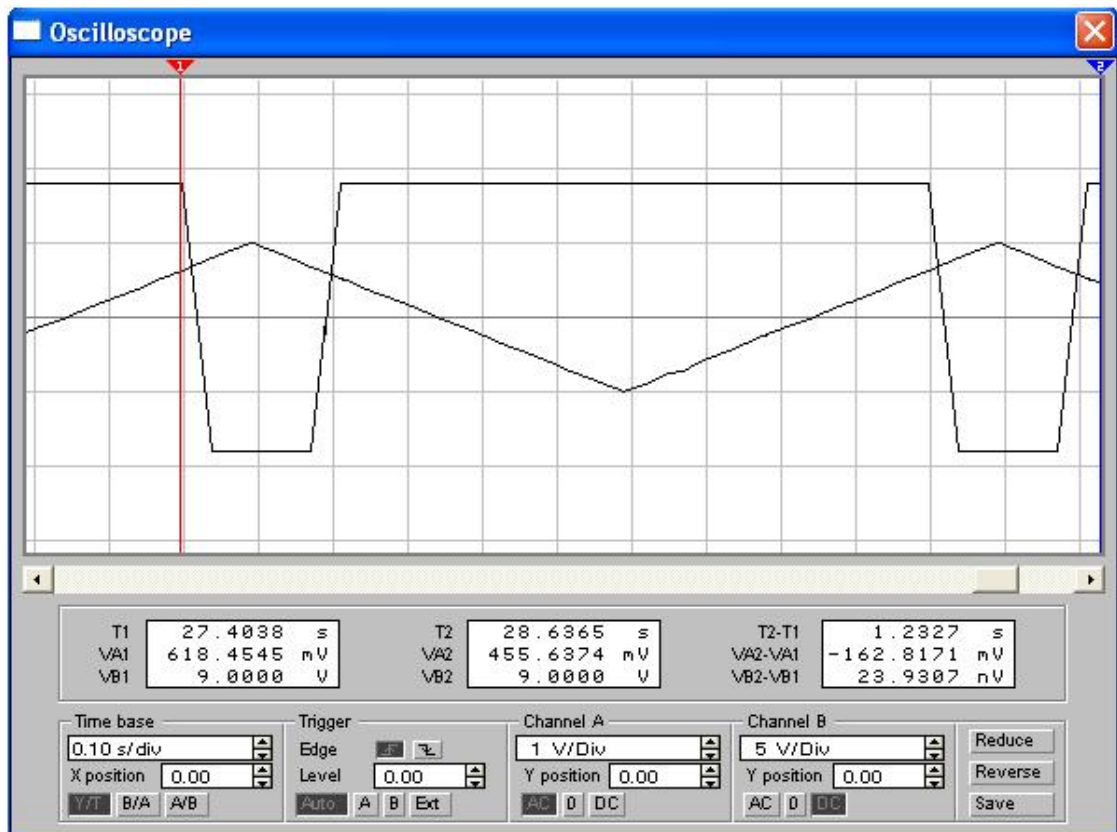


Рисунок 4.6 – Осцилограми вхідного та вихідного сигналу при опорній напрузі 0,6 В

Далі змінюємо опорну напругу джерела живлення на 0,7 В. Графіки вхідного та вихідного сигналу зображені на рисунку 4.7.

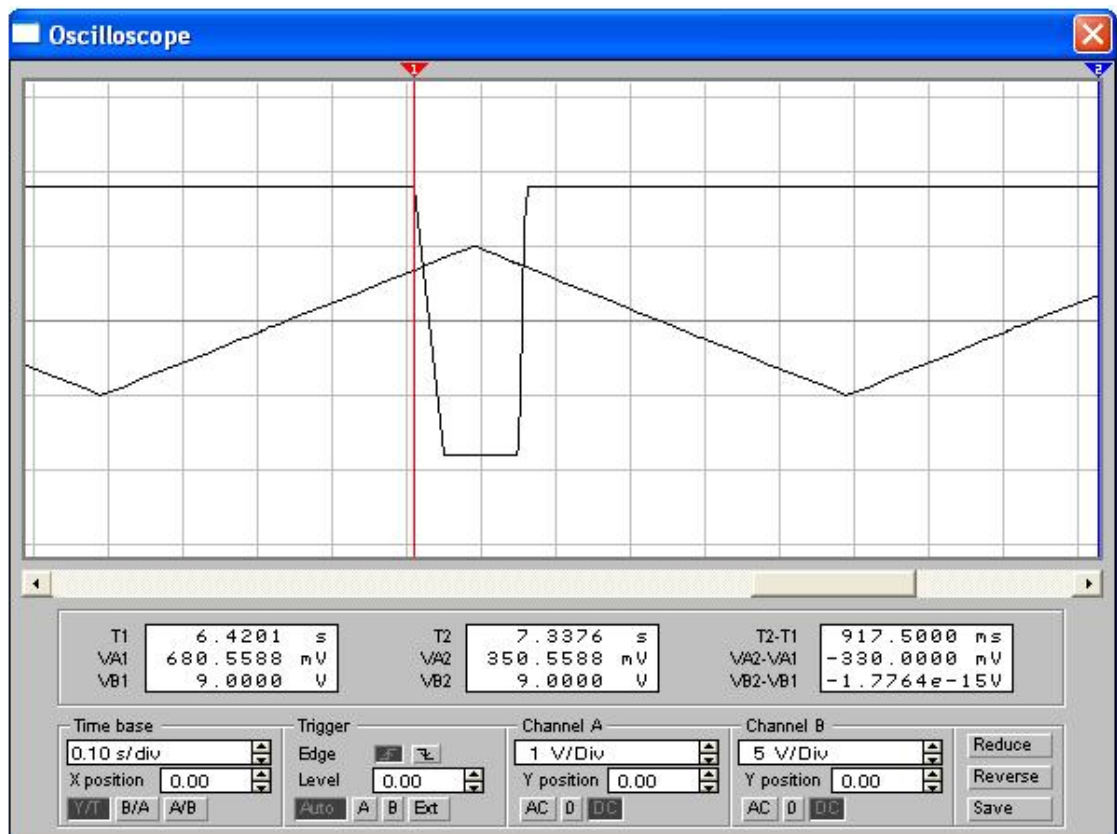


Рисунок 4.7 – Осцилограми вхідного та вихідного сигналу
при опорній напрузі 0,7 В

Амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики представлені на рис. 4.8.

Промодельюємо імпульсну характеристику досліджуваного кола. Імпульсна характеристика кола – це реакція кола на одиничний дельта імпульс. Одиничний дельта імпульс ми промодельюємо як прямокутний сигнал з дуже малою тривалістю імпульсу. В даному випадку тривалість імпульсу складає 0,1% від тривалості періоду.

Для цього подаємо на вхід пристрою сигнал з функціонального генератора з параметрами, які з показані на рисунку 4.9. Імпульсна характеристика зображена на рисунку 4.10.

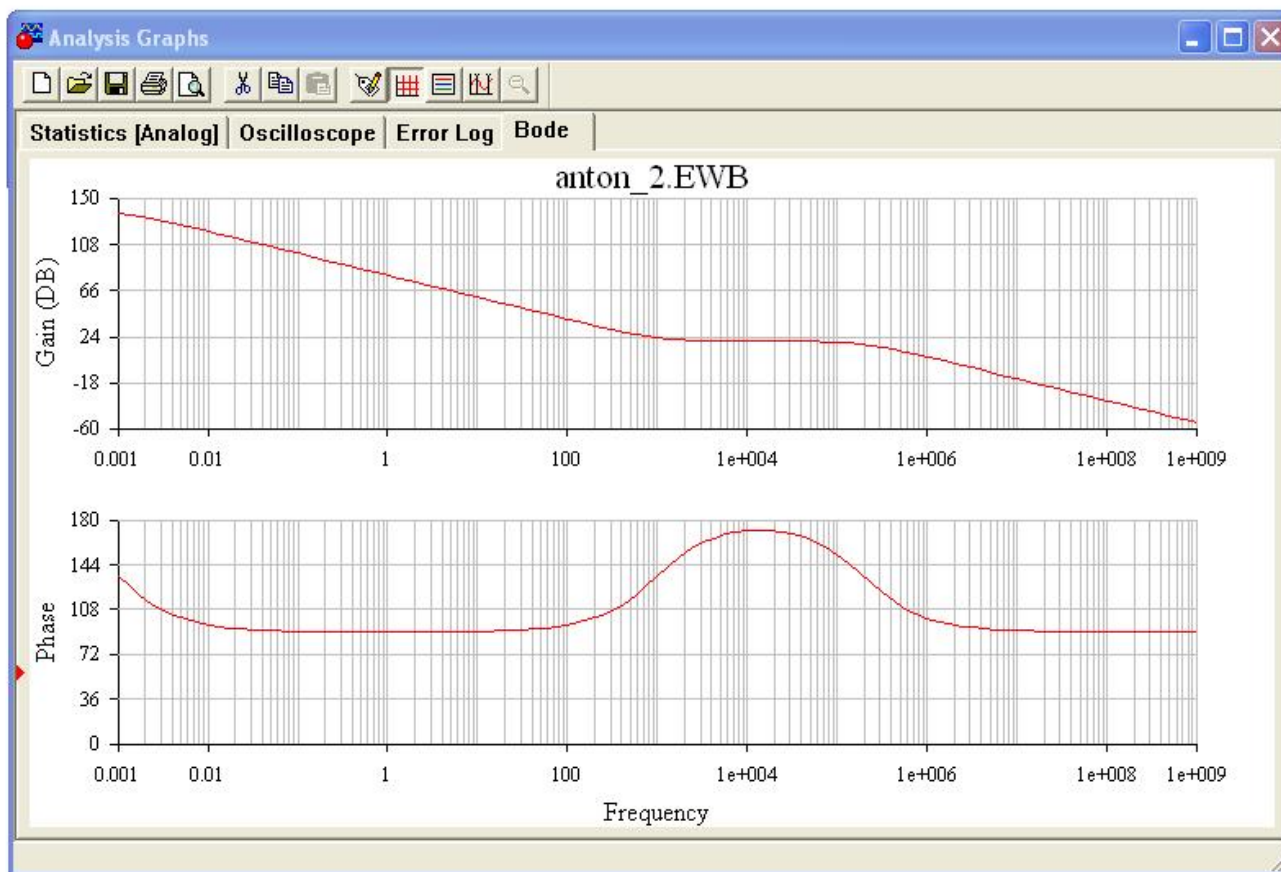


Рисунок 4.8 – Амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики

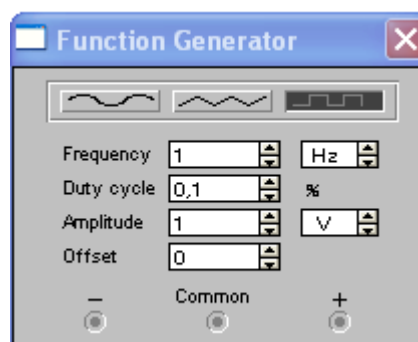


Рисунок 4.9 – Панель функціонального генератора в моделюючому пакеті Electronic Work Bench 5.12 для дослідження імпульсної характеристики

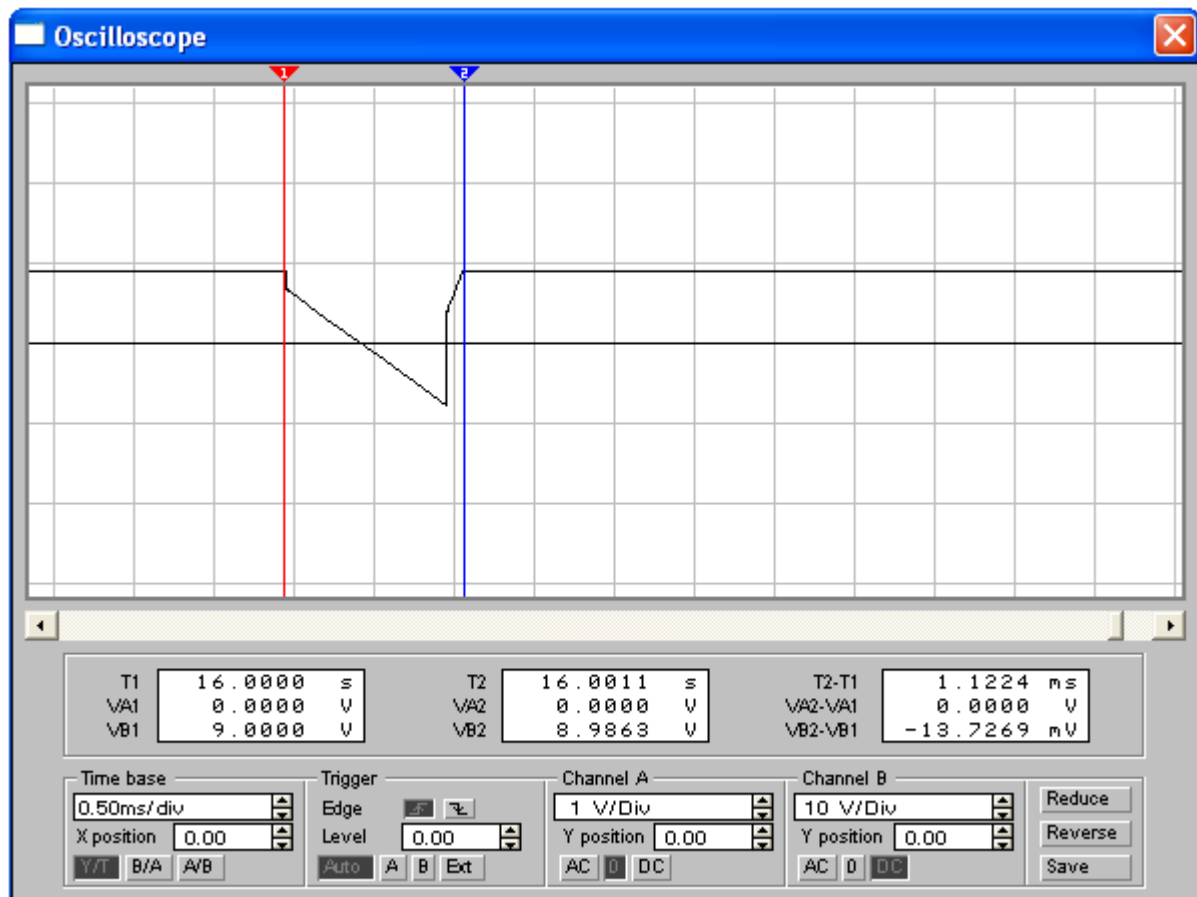


Рисунок 4.10 – Імпульсна характеристика пристрою
в моделюючому пакеті Electronic Work Bench 5.12

Промодельюємо перехідну характеристику досліджуваного кола. Перехідна характеристика кола – це реакція кола на одиничну сходинку. Одиничну сходинку ми промодельюємо як прямокутній сигнал з дуже великою тривалістю імпульсу. В даному випадку тривалість імпульсу складає 99% від тривалості періоду.

Для цього подаємо на вхід пристрою сигнал з функціонального генератора з параметрами, які з показані на рисунку 4.11. Перехідна характеристика зображена на рисунку 4.12.

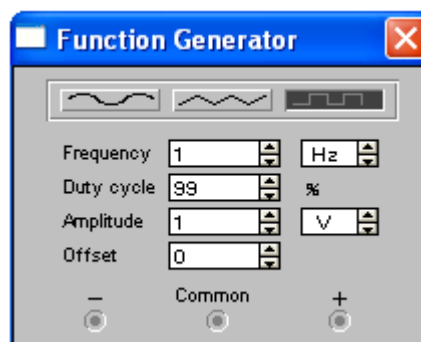


Рисунок 4.11 – Панель функціонального генератора в моделюючому пакеті Electronic Work Bench 5.12 для дослідження перехідної характеристики

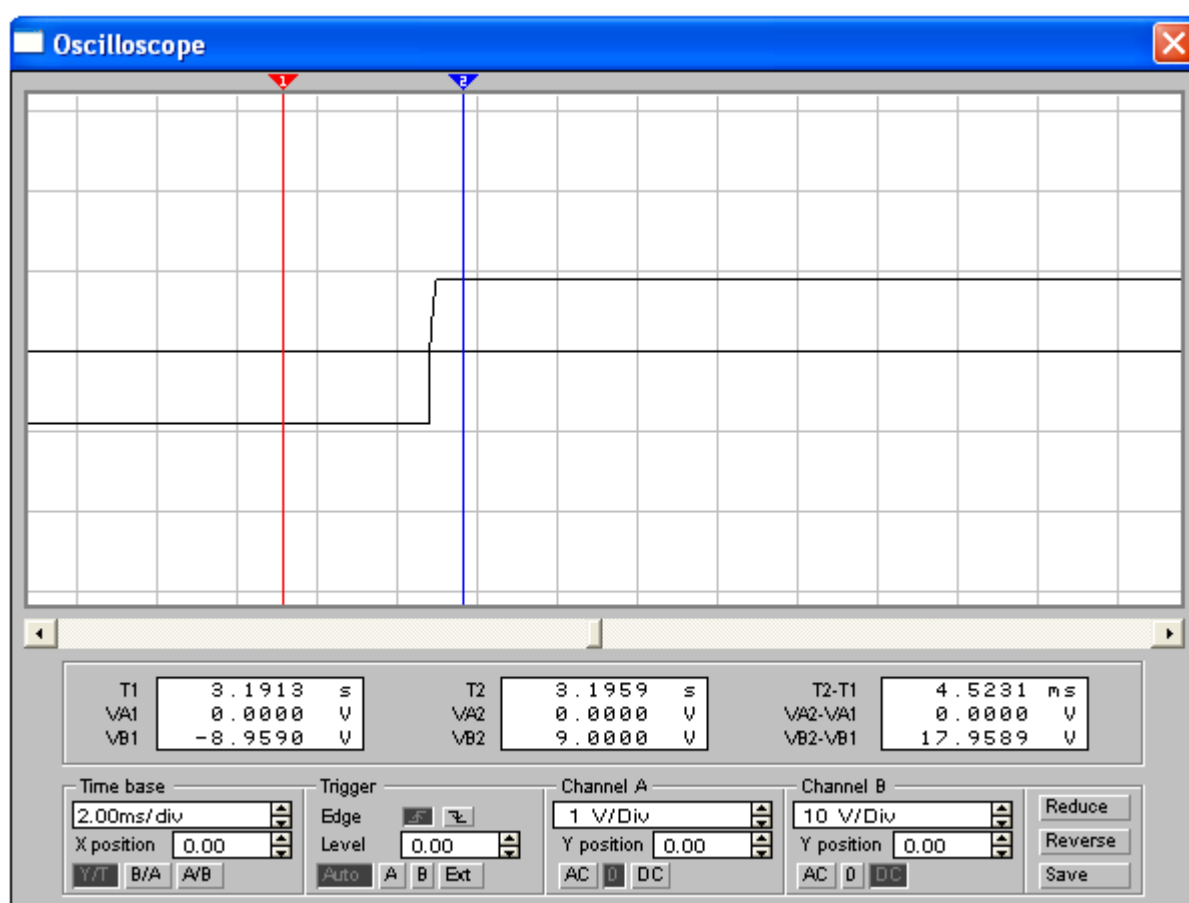
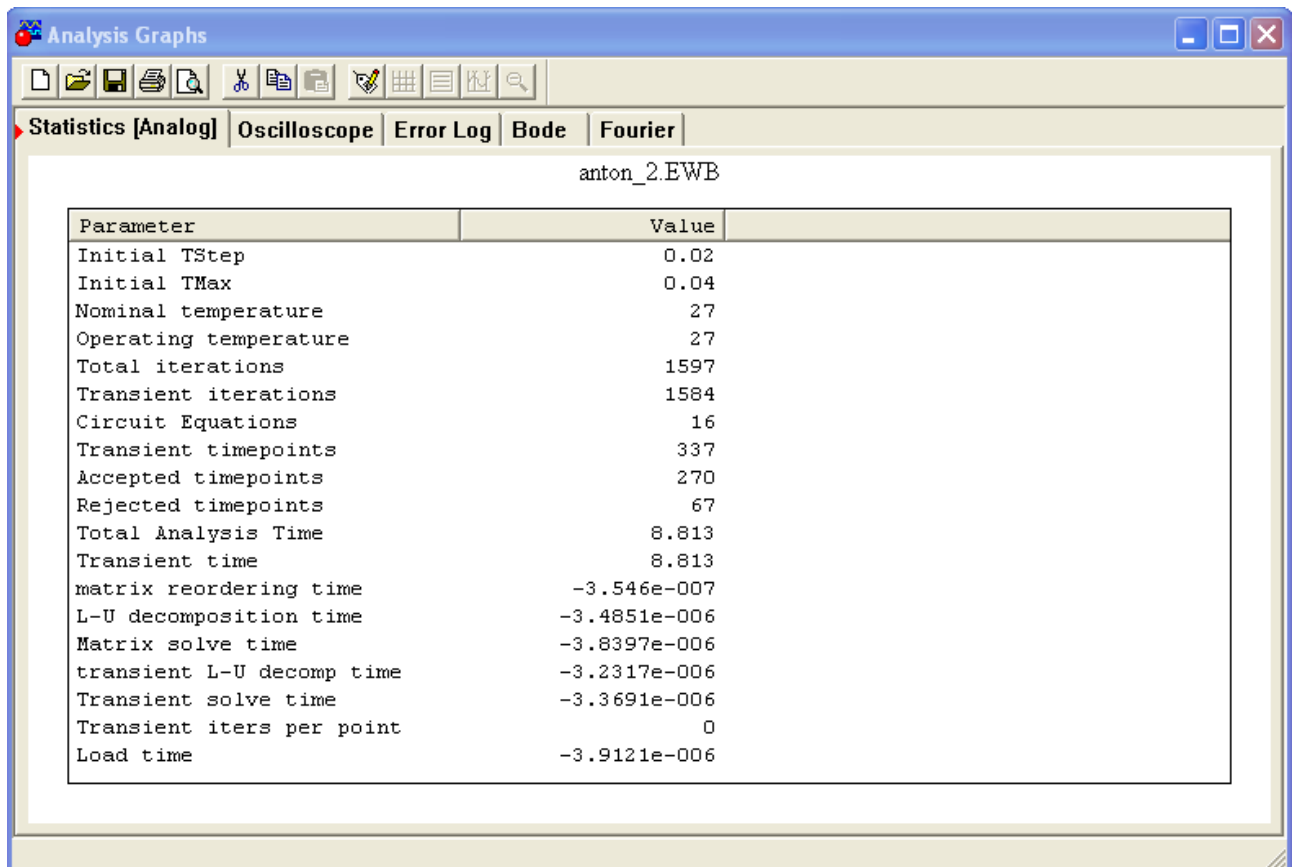


Рисунок 4.12 – Перехідна характеристика пристрою в моделюючому пакеті Electronic Work Bench 5.12



Parameter	Value
Initial TStep	0.02
Initial TMax	0.04
Nominal temperature	27
Operating temperature	27
Total iterations	1597
Transient iterations	1584
Circuit Equations	16
Transient timepoints	337
Accepted timepoints	270
Rejected timepoints	67
Total Analysis Time	8.813
Transient time	8.813
matrix reordering time	-3.546e-007
L-U decomposition time	-3.4851e-006
Matrix solve time	-3.8397e-006
transient L-U decomp time	-3.2317e-006
Transient solve time	-3.3691e-006
Transient iters per point	0
Load time	-3.9121e-006

Рисунок 4.13 – Додаткові параметри моделювання пристрою

З рисунку 4.6 видно, що при перевищенні рівня вхідного сигналу в 600мВ, напруга на виході починає змінюватися на протилежну, тобто починає засвічуватися сигнальний світлодіод (індикатор) на виході пристрою. Аналогічно він згасає при зменшенні рівня вхідного сигналу.

З рисунку 4.7 бачимо, що при перевищенні рівня вхідного сигналу в 700мВ, напруга на виході починає змінюватися на протилежну, тобто починає засвічуватися сигнальний світлодіод (індикатор) на виході пристрою. Аналогічно він згасає при зменшенні рівня вхідного сигналу. Якщо ж для світлодіоду поміняти полярності, то він буде загорятися при зменшенні температури (вхідного сигналу).

З рисунку 4.8 бачимо, що на низьких частотах (необхідний діапазон частот від 0,01 Гц до 3 Гц.) АЧХ пристрою є лінійною. ФЧХ в цьому ж діапазоні є також лінійною.

Також в даному розділі ми промодельовали імпульсну та перехідну характеристики кола, що представлені на рисунках 4.10 та 4.12.

Додаткові параметри моделювання (час аналізу схеми, час передачі, робоча температура, кількість повторів вимірювання та інші) наведені на рисунку 4.13.

Промодельовавши повністю проєктований пристрій, ми бачимо, що він повністю відповідає умовам технічного завдання.

4.5 Висновки до розділу

Приведемо порівняльну таблицю отриманих параметрів в результаті проєктування терморегулятора на ЕОМ та заданих параметрів в технічному завданні.

Таблиця 4.1 – Порівняння результатів технічного завдання та моделювання

Параметр, що досліджувався	Задане значення в індивідуальному ному завданні	Отримане значення при моделюванні
Споживана потужність	5 Вт	1 Вт
Напруга живлення	9 В	9 В
Струм споживання	150 мА	110 мА
Кількість датчиків	> 2	3
Діапазон температур	-50 / +100 °C	-50 / +100 °C
Частота зміни температури	≈ 1 Гц	10 Гц

Отже, провівши моделювання пристрою, що був розроблений в магістерській дипломній роботі, можна стверджувати, що синтезований пристрій повністю відповідає вимогам індивідуального завдання. Хоча моделі складових схеми є лише моделями і не дають характеристик реальних резисторів, конденсаторів, операційних підсилювачів. Тому параметри, отримані при моделюванні можуть бути менші тих, які отримані при розрахунках.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

В умовах стрімкого розвитку технологій Інтернету речей (IoT) значна увага приділяється створенню інтелектуальних систем моніторингу різноманітних параметрів, включаючи мікроклімат приміщень.

Мікроклімат — це комплекс фізичних параметрів, таких як температура, вологість, рівень вуглекислого газу (CO₂) та інші показники, які суттєво впливають на комфорт, здоров'я людей, а також на ефективність роботи обладнання.

Зміна кліматичних умов, підвищення вимог до енергоефективності та потреба у створенні комфортного середовища для життя й роботи стимулюють пошук нових підходів до моніторингу та управління мікрокліматом.

У цьому контексті багатосенсорні пристрої для IoT-систем є одним із найбільш перспективних рішень. Завдяки інтеграції різноманітних сенсорів в одному пристрої та використанню сучасних технологій передачі даних, такі системи дозволяють не лише відстежувати стан мікроклімату в реальному часі, але й автоматизувати процеси керування.

Наприклад, на основі зібраних даних можна оптимізувати роботу вентиляції, кондиціонування та опалення, знижуючи енергоспоживання та мінімізуючи вплив на довкілля.

Актуальність цієї теми також зумовлена широким спектром її застосувань: від житлових приміщень та офісів до великих промислових і комерційних об'єктів. Крім того, такі пристрої є важливими елементами "розумних" міст, що сприяють підвищенню якості життя населення.

Метою даної роботи є дослідження основних принципів розробки та функціонування багатосенсорних пристроїв для моніторингу параметрів мікроклімату, їх інтеграції в IoT-системи та аналіз можливостей їх практичного застосування.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями [47].

Таблиця 5.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	3	4	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	4	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	2	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	3
Сума балів	37	40	40
Середньоарифметична сума балів CB_c	39,0		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.1, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в [47].

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем» становить 39,0 бала, що, відповідно до [47], свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

Використання IoT для моніторингу мікроклімату дозволяє значно знизити енергоспоживання завдяки точному регулюванню систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Автоматизовані пристрої здатні контролювати температуру та вологість приміщень на основі реальних даних, забезпечуючи необхідні умови за мінімальних витрат енергії. Це важливо не лише для зменшення витрат на комунальні послуги, але й для зменшення навантаження на енергетичні мережі та зниження загального рівня викидів парникових газів.

Інтелектуальні системи можуть регулювати температуру в залежності від погодних умов, кількості людей у приміщенні, а також за рахунок аналізу історичних даних прогнозувати оптимальний рівень енергоспоживання для кожного приміщення чи будівлі.

Інтеграція багатосенсорних пристроїв у системи моніторингу мікроклімату може значно покращити якість життя людей. Регулювання температури, вологості та якості повітря в приміщеннях створює комфортні умови для здоров'я та роботи людей. Наприклад, правильна вентиляція та оптимальна вологість можуть запобігати виникненню проблем із дихальними шляхами, знижувати ризики алергічних реакцій або захворювань, що викликані поганою якістю повітря.

З іншого боку, автоматизація процесів дозволяє створювати адаптивні системи, що реагують на зміни у середовищі та забезпечують найбільш ефективне використання ресурсів. В результаті, зниження енергоспоживання, покращення екологічних умов і підвищення комфорту позитивно впливає на

здоров'я людей, що в свою чергу сприяє покращенню соціальних умов у громадах та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

Таким чином, екологічні та соціальні переваги від використання багатосенсорних пристроїв у системах моніторингу мікроклімату є не лише важливими для збереження природних ресурсів, але й для поліпшення якості життя людей у сучасному світі.

5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки

В процесі визначення економічної ефективності науково-технічної розробки також доцільно провести прогноз рівня її конкурентоспроможності за сукупністю параметрів, що підлягають оцінюванню.

Загальні технічні та економічні характеристики розробки представлено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Основні техніко-економічні показники аналога та розробки, що проектується

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Напруга живлення	В	12	6	2	0,15
Кількість виконуваних функцій	од.	4	12	3	0,3
Маса	кг	0,5	0,25	1,5	0,2
Термін безвідмовної роботи	год.	4500	15000	3,33	0,25
Швидкість та легкість налаштування	бали	6	8	1,4	0,1
Експлуатаційні витрати	грн	120	60	0,5	0,25
Ціна пристрою	грн	3600	5200	1,44	0,5

Одиничний параметричний індекс розраховуємо за формулою [47]

$$q_i = \frac{P_i}{P_{\text{баз}i}}. \quad (5.1)$$

де q_i – одиничний параметричний індекс, розрахований за i -м параметром;

P_i – значення i -го параметра виробу;

$P_{\text{баз}i}$ – аналогічний параметр аналога, з яким проводиться порівняння.

Нормативні параметри оцінюємо показником, який отримує одне з двох значень: 1 – пристрій відповідає нормам і стандартам; 0 – не відповідає.

За нормативними параметрами розроблюваний пристрій відповідає вимогам ДСТУ, тому $I_{nn} = 1$.

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначаємо з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра [47]

$$I_{TP} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.2)$$

де I_{TP} – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом-аналогом);

q_i – одиничний параметричний показник i -го параметра;

α_i – вагомість i -го параметричного показника, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$;

n – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 5.2.

$$I_{mn} = 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,3 + 1,5 \cdot 0,2 + 3,33 \cdot 0,25 + 1,4 \cdot 0,1 = 2,47.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховуємо за формулою [48]

$$I_{EP} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (5.3)$$

де I_{EP} – груповий параметричний індекс за економічними показниками;

q_i – економічний параметр i -го виду;

β_i – частка i -го економічного параметра, $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$;

m – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 5.2.

$$I_{EP} = 0,5 \cdot 0,25 + 1,44 \cdot 0,5 = 0,85.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розрахуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою [47]

$$K_{INT} = I_{HP} \cdot \frac{I_{TP}}{I_{EP}}, \quad (5.4)$$

$$K_{INT} = 1 \cdot 2,47 / 0,85 = 2,93.$$

Інтегральний показник конкурентоспроможності $K_{INT} > 1$, отже розробка переважає відомі аналоги за своїми техніко-економічними показниками.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.3.1 Витрати на оплату праці

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_o$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [47]

$$З_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.5)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=24$ дні.

$$З_o = 18380,00 \cdot 8 / 24 = 6181,84 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту (проектний менеджер-координатор)	18380,00	772,73	8	6181,84

Продовження таблиці 5.3 – Витрати на заробітну плату дослідників

Інженер-конструктор радіоелектронної апаратури	17400,00	750,00	36	27000,00
Інженер-метролог	17400,00	681,82	6	4090,92
Провідний фахівець	8120,00	338,33	12	4060,00
Всього				41332,76

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.6)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, (грн/год.);

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.7)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення (табл. Б.2, додаток Б) [47];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 24$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_I = 8000,00 \cdot 1,35 \cdot 1,15 / (24 \cdot 8) = 64,69 \text{ (грн.)}.$$

$$З_{pl} = 64,69 \cdot 7,50 = 485,16 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 5.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
Встановлення допоміжного обладнання	7,50	2	1,35	64,69	485,16
Інсталяція програмного забезпечення	6,20	3	1,50	71,88	445,63
Монтаж макетної схеми	4,50	5	1,35	64,69	291,09
Наладка	5,60	6	1,50	71,88	402,50
Випробування	4,20	5	1,10	52,71	221,38
Виготовлення друкованої плати	7,60	4	1,00	47,92	364,17
Підгонка корпусу пристрою	4,20	4	1,50	71,88	301,88
Монтаж плати	2,20	6	2,00	95,83	210,83
Випробування системи	5,60	2	1,10	52,71	295,17
Всього					3017,79

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$З_{\text{доо}} = (З_{\text{o}} + З_{\text{p}}) \cdot \frac{H_{\text{доо}}}{100\%}, \quad (5.8)$$

де $H_{\text{доо}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 12%.

$$З_{\text{доо}} = (41332,76 + 3017,79) \cdot 12 / 100\% = 5322,07 \text{ (грн.)}.$$

5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$З_{\text{н}} = (З_{\text{o}} + З_{\text{p}} + З_{\text{доо}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (5.9)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$З_{\text{н}} = (41332,76 + 3017,79 + 5322,07) \cdot 22 / 100\% = 10927,98 \text{ (грн.)}.$$

5.3.3 Сировина та матеріали

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot Ц_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot Ц_{\text{с}j}, \quad (5.10)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, (грн/кг.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг.).

$$M_1 = 2,0 \cdot 145,00 \cdot 1,12 - 0 \cdot 0 = 324,80 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, (грн.)	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, (грн/кг.)	Вартість витраченого матеріалу, (грн.)
USB-пам'ять Kingsman (32 ГБ) Class 10	145,00	2,0	0	0	324,80
USB-пам'ять Kingsman (64 ГБ) Class 10 A	239,00	1,0	0	0	267,68
Диск оптичний БЕКО-10 (CD-R)	23,00	3,0	0	0	77,28
Диск оптичний БЕКО-W (CD-RW)	32,00	3,0	0	0	107,52
Картридж для принтера HP-265AF-tR	980,00	1,0	0	0	1097,60
Начиння канцелярське DATUM FX	162,00	4,0	0	0	725,76
Органайзер офісний DATUM Office	200,00	4,0	0	0	896,00

Продовження таблиці 5.5 – Витрати на матеріали

Папір для заміток ECONOMIC (A5)-60	126,00	4,0	0	0	564,48
Папір канцелярський офісний ECONOMIC (A4-500)	193,00	3,0	0	0	648,48
Склотекстоліт СТФ 2–1.5	126,00	0,100	0	0	14,11
Дріт монтажний	90,00	0,010	0	0	1,01
Лак УР-231	345,00	0,03	0	0	11,59
Припій ПОС-61	528,00	0,2500	0	0	147,84
Спирт етиловий	170,00	0,0500	0	0	9,52
Флюс БС-2	165,00	0,1000	0	0	18,48
Хлорне залізо	190,00	0,1000	0	0	21,28
Всього					4933,43

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.11)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, (грн.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 12 \cdot 2,90 \cdot 1,12 = 38,98 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, (грн.)	Сума, (грн.)
Конденсатори	12	2,90	38,98
Резистори	15	3,65	61,32
Кварцевий резонатор	1	24,20	27,10
Мікросхеми	2	175,00	392,00
Транзистори	9	54,00	544,32
Діоди	6	7,95	53,42
Роз'єми	2	29,90	66,98
Кнопки	4	16,20	72,58
Вимикач	1	33,00	36,96
Датчик температури	4	64,00	286,72
Корпус пристрою	1	248,00	277,76
Всього			1858,14

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, (грн.);

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{спец} = 6300,00 \cdot 1 \cdot 1,12 = 7056,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Блок інтерфейсний	1	6300,00	7056,00
Програматор мікроконтролерний	1	6200,00	6944,00
Система температурного аналізу	1	4300,00	4816,00
Термометр лабораторний цифровий	1	1110,00	1243,20
Всього			20059,20

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{прог} = \sum_{i=1}^k C_{прог} \cdot C_{прог.i} \cdot K_i, \quad (5.13)$$

де $C_{прог}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, (грн.);

$C_{прог.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{прог} = 4520,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 4746,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Пакет Visual System Simulator	1	4520,00	4746,00
Пакет Microwave Office	1	3710,00	3895,50
Proteus Custom Packages	1	9680,00	10164,00
Всього			18805,50

5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{г}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.14)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{г}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (36599,00 \cdot 2) / (3 \cdot 12) = 2033,28 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, (грн.)	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, (грн.)
Електронний комплекс системи проведення досліджень	36599,00	3	2	2033,28
Персональний комп'ютер розробника радіоелектронної апаратури	24699,00	3	2	1372,17
Спеціалізоване робоче місце розробника	7280,00	5	2	242,67
Вольтметр цифровий	6610,00	5	2	220,33
Осцилограф цифровий	7800,00	5	2	260,00
Пристрій виводу текстової інформації	6580,00	4	2	274,17
Оргтехніка	8760,00	4	2	365,00
Приміщення лабораторії досліджень	420000,00	30	2	2333,33
ОС Windows 11	5840,00	3	2	324,44
Прикладний пакет Microsoft Office 2019	5320,00	3	2	295,56
Всього				7720,94

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.15)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,45 \cdot 280,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 1383,48 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Електронний комплекс системи проведення досліджень	0,45	280,0	1383,48
Персональний комп'ютер розробника радіоелектронної апаратури	0,32	280,0	983,81
Спеціалізоване робоче місце розробника	0,04	280,0	122,98
Вольтметр цифровий	0,10	120,0	131,76
Осцилограф цифровий	0,12	120,0	158,11
Пристрій виводу текстової інформації	0,16	15,0	26,35

Продовження таблиці 5.10 – Витрати на електроенергію

Оргтехніка	0,10	4,5	4,94
Блок інтерфейсний	0,05	120,0	65,88
Програматор мікроконтролерний	0,02	4,0	0,88
Система температурного аналізу	0,01	120,0	13,18
Всього			2891,36

5.3.9 Службові відрядження

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 0\%$.

$$B_{cv} = (41332,76 + 3017,79) \cdot 0 / 100\% = 0,00 \text{ (грн.)}.$$

5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де $H_{\text{сп}}$ – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{\text{сп}} = 0\%$.

$$B_{\text{сп}} = (41332,76 + 3017,79) \cdot 0 / 100\% = 0,00 \text{ (грн.)}.$$

5.3.11 Інші витрати

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_{\text{с}} = (Z_{\text{o}} + Z_{\text{p}}) \cdot \frac{H_{\text{іс}}}{100\%}, \quad (5.18)$$

де $H_{\text{іс}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\text{іс}} = 50\%$.

$$I_{\text{с}} = (41332,76 + 3017,79) \cdot 50 / 100\% = 22175,28 \text{ (грн.)}.$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{\text{нзв}} = (Z_{\text{o}} + Z_{\text{p}}) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (5.19)$$

де $H_{\text{нзв}}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{\text{нзв}} = 105\%$.

$$B_{\text{нзв}} = (41332,76 + 3017,79) \cdot 105 / 100\% = 46568,08 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів

мікроклімату приміщень для IoT систем» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{\text{заг}} = Z_o + Z_p + Z_{\text{доо}} + Z_n + M + K_v + B_{\text{спец}} + B_{\text{прз}} + A_{\text{обл}} + B_e + B_{\text{св}} + B_{\text{сп}} + I_v + B_{\text{нзб}}. \quad (5.20)$$

$$B_{\text{заг}} = 41332,76 + 3017,79 + 5322,07 + 10927,98 + 4933,43 + 1858,14 + 20059,20 + 18805,50 + 7720,94 + 2891,36 + 0,00 + 0,00 + 22175,28 + 46568,08 =$$

$$= 185612,52 \text{ (грн.)}.$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (5.21)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,95$.

$$ZB = 185612,52 / 0,95 = 195381,60 \text{ (грн.)}.$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

Результати дослідження проведені за темою «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	100	150	200	100

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 4300 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 3600,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 1201,00 (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [47]

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (5.22)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 40\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta \Pi_1 = (1201,00 \cdot 4300,00 + 4801,00 \cdot 100) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1536631,46 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta \Pi_2 = (1201,00 \cdot 4300,00 + 4801,00 \cdot 250) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1732685,09 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (1201,00 \cdot 4300,00 + 4801,00 \cdot 450) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1994089,94 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (1201,00 \cdot 4300,00 + 4801,00 \cdot 550) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2124792,36 \text{ (грн.)}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.23)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, (грн.);

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,09$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} ПП &= 1536631,46/(1+0,09)^1 + 1732685,09/(1+0,09)^2 + 1994089,94/(1+0,09)^3 + \\ &+ 2124792,36/(1+0,09)^4 = 1409753,63 + 1458366,38 + 1539803,31 + 1505256,48 = \\ &= 5913179,79 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.24)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=2$;

$ЗВ$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 195381,60 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot ЗВ = 2 \cdot 195381,60 = 390763,21 \text{ (грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (5.25)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 5913179,79 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 390763,21 (грн.).

$$E_{абс} = ПП - PV = 5913179,79 - 390763,21 = 5522416,58 \text{ (грн.)}.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_g = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (5.26)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 5522416,58 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 390763,21 (грн.);

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_{\epsilon} = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 5522416,58/390763,21)^{1/4} = 0,97.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{мін}$

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (5.27)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,11$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,3.

$\tau_{мін} = 0,11 + 0,3 = 0,41 < 0,97$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (5.28)$$

де E_{ϵ} – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,97 = 1,03 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

4.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем» становить 39,0 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні рівня конкурентоспроможності, згідно узагальненого коефіцієнту конкурентоспроможності розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,93 рази.

Також термін окупності становить 1,03 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем».

ВИСНОВКИ

Інтернет речей є частиною мереж наступного покоління, і тому його архітектура значною мірою аналогічна відомій чотиришаровій архітектурі NGN. IoT складається з різноманітних інфокомунікаційних технологій, які забезпечують його роботу, а сама архітектура демонструє, як ці технології взаємодіють. Архітектура IoT має чотири основні функціональні рівні (Рис.3), які описані нижче:

Перший рівень - рівень датчиків та сенсорних мереж. Це найнижчий рівень в архітектурі IoT, який включає «розумні» пристрої, оснащені сенсорами.

Другий рівень - рівень шлюзів і мереж.

Третій рівень - сервісний рівень включає набір інформаційних послуг, які автоматизують технологічні та бізнес-операції в IoT.

Четвертий рівень - рівень додатків. На четвертому рівні архітектури IoT розташовані різні типи додатків для різних промислових секторів і сфер діяльності

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено та досліджено багатосенсорний пристрій з інноваційним дизайном і конструкцією. Це інструмент прямого зчитування, який може стати елементом IoT. Цей портативний пристрій пропонує вимірювання в реальному часі широкого спектру фізичних і хімічних величин із онлайн-доступом до даних і візуалізацією. Він компактний, маленький і легкий, тому його легко переміщати між місцями. Пристрій має відносно низьке енергоспоживання. Він працює автоматично, може працювати без нагляду та вимагає мінімального втручання. Потрібні лише періодичні перевірки спеціалізованою службою. Пристрій може збирати величезну кількість даних про середовище в приміщенні, щоб надавати інформацію про це в IoT. Пристрій можна налаштувати для управління приводами різних пристроїв і обладнання, включаючи зовнішні системи, що використовуються для вентиляції, опалення та кондиціонування повітря.

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи було розглянуто актуальне питання з проектування автоматичного регулятора температури повітря. Проведене техніко-економічне обґрунтування вибору структурної схеми блоку регулятора, розглянуто основні принципи побудови терморегуляторів, проведено аналіз ринку і визначено основних конкурентів.

Проведені електричні розрахунки цифрового вимірювача температури, аналогового терморегулятора і двохполярного блока живлення. Проведене моделювання терморегулятора в моделюючій програмі Electronic Work Bench 5.12 який підтвердив правильність розрахунків. Проведений конструкторський розрахунок друкованої плати. Розрахунки проведенні у відповідності до вимог технічного завдання.

При розробці пристрою було досягнуто значного зменшення споживаної потужності за рахунок використання сучасної елементної бази до 100 мВт, вдалось збільшити точність вимірювання до 0,1 °С, за рахунок використання кількох датчиків, та зменшити розміри і значно знизити собівартість пристрою в порівнянні з основним аналогом.

Однією з переваг нового пристрою є використання на його виході інтегратора з великою сталою часу, що дозволяє керувати навантаженням не стрибкоподібно, а використовуючи плавні переходи з одного стану в інший, причому швидкість переходу з одного стану в інший різна в залежності від різниці температур на вході пристрою і рівнем регулювання.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини, результати яких підтверджують перспективність і доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Oh, D.; Kim, J.; Kim, H.; Jang, H.; Hong, T.; An, J. Analyzing the impact of indoor environmental quality on physiological responses and work performance: Implications for IEQ control strategies. *Build. Environ.* 2023, 244, 110845.
2. Khalid, N.S.; Abdullah, Y.A.; Nasrudin, N. How does the indoor environment affect mental health when working remotely. *Plan. Malays. J.* 2022, 20, 287–310.
3. Felgueiras, F.; Mourao, Z.; Moreira, A.; Gabriel, M.F. Indoor environmental quality in offices and risk of health and productivity complaints at work: A literature review. *J. Hazard. Mater. Adv.* 2023, 10, 100314.
4. Diaz, M.; Piderit, M.B.; Attia, S. Parameters and indicators used in Indoor Environmental Quality (IEQ) studies: A review. *J. Phys.* 2021, 012132.
5. Troncoso-Pastoriza, F.; Martínez-Comesana, M.; Ogando-Martínez, A.; Lopez-Gomez, J.; Eguía-Oller, P.; Febrero-Garrido, L. IoT-based platform for automated IEQ spatio-temporal analysis in buildings using machine learning techniques. *Autom. Constr.* 2022, 139, 104261.
6. Roa, C.D.; Schiavon, S.; Parkinson, T. Targeted occupant surveys: A novel method to effectively relate occupant feedback with environmental conditions. *Build. Environ.* 2020, 184, 107129.
7. Berquist, J.; Ouf, M.M.; O'Brien, W. A method to conduct longitudinal studies on indoor environmental quality and perceived occupant comfort. *Build. Environ.* 2019, 150, 88–98.
8. Saini, J.; Dutta, M.; Marques, G. A comprehensive review on indoor air quality monitoring systems for enhanced public health. *Sustain. Environ. Res.* 2020, 30, 6.
9. Mujan, I.; Licina, D.; Kljajic, M.; Culic, A.; Andelkovic, A.S. Development of indoor environmental quality index using a low-cost monitoring platform. *J. Clean. Prod.* 2021, 312, 127846.

10. Tiele, A.; Esfahani, S.; Covington, J. Design and Development of a Low-Cost, Portable Monitoring Device for Indoor Environment Quality. *Hindawi J. Sens.* 2018, 2018, 5353816.
11. Saini, J.; Dutta, M.; Marques, G. Sensors for indoor air quality monitoring and assessment through internet of things: A systematic review. *Environ. Monit. Assess.* 2021, 193, 66.
12. Parkinson, T.; Parkinson, A.; de Dear, R. Continuous IEQ monitoring system: Context and development. *Build. Environ.* 2019, 149, 15–25.
13. Yang, C.T.; Chen, S.T.; Den, W.; Wang, Y.T.; Kristiani, E. Implementation of an Intelligent Indoor Environmental Monitoring and management system in cloud. *Future Gener. Comput. Syst.* 2019, 96, 731–749.
14. Jin, M.; Liu, S.; Schiavon, S.; Spanos, C. Automated mobile sensing: Towards high-granularity agile indoor environmental quality monitoring. *Build. Environ.* 2018, 127, 268–276.
15. Demanega, I.; Mujan, I.; Singer, B.C.; Anđelkovic, A.S.; Babich, F.; Licina, D. Performance assessment of low-cost environmental monitors and single sensors under variable indoor air quality and thermal conditions. *Build. Environ.* 2021, 187, 107415.
16. Bluyssen, P.M. Towards an integrated analysis of the indoor environmental factors and its effects on occupants. *Intell. Build. Int.* 2020, 12, 199–207.
17. horr, Y.A.; Arif, M.; Katafygiotou, M.; Mazroei, A.; Kaushik, A.; Elsarrag, E. Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *Int. J. Sustain. Built Environ.* 2016, 5, 1–11.
18. Ghaffarianhoseini, A.; AlWaer, H.; Omrany, H.; Ghaffarianhoseini, A.; Alalouch, C.; Clements-Croome, D.; Tookey, J. Sick building syndrome: Are we doing enough? *Archit. Sci. Rev.* 2018, 61, 99–121.
19. Schweiker, M.; Ampatzi, E.; Andargie, M.S.; Andersen, R.K.; Azar, E.; Barthelmes, V.M.; Berger, C.; Bourikas, L.; Carlucci, S.; Chinazzo, G.; et al. Review of multi-domain approaches to indoor environmental perception and behaviour. *Build. Environ.* 2020, 176, 106804.

20. Roskams, M.J.; Haynes, B.P. Testing the relationship between objective indoor environment quality and subjective experiences of comfort. *Build. Res. Inf.* 2021, 49, 387–398.
21. Wargocki, P.; Wei, W.; Bendžalová, J.; Espigares-Correa, C.; Gerard, C.; Greslou, O.; Rivallain, M.; Sesana, M.M.; Olesen, B.W.; Zirngibl, J.; et al. TAIL, a new scheme for rating indoor environmental quality in offices and hotels undergoing deep energy renovation (EU ALDREN project). *Energy Build.* 2021, 244, 111029.
22. Levin, H. Editorial indoor environmental quality. *Build. Res. Inf.* 2006, 34, 433–436.
23. Malmqvist, T. Environmental rating methods: Selecting indoor environmental quality (IEQ) aspects and indicators. *Build. Res. Inf.* 2008, 36, 466–485.
24. Parkinson, T.; Parkinson, A.; de Dear, R. Continuous IEQ monitoring system: Context and development. *Build. Environ.* 2019, 149, 15–25.
25. Mattoni, B.; Guattari, C.; Evangelisti, L.; Bisegna, F.; Gori, P.; Asdrubali, F. Critical review and methodological approach to evaluate the differences among international green building rating tools. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 82, 950–960.
26. Heinzerling, D.; Schiavon, S.; Webster, T.; Arens, E. Indoor environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme. *Build. Environ.* 2013, 70, 210–222.
27. Tiele, A.; Esfahani, S.; Covington, J. Design and development of a low-cost, portable monitoring device for indoor environment quality. *J. Sens.* 2018, 2018, 5353816.
28. Geng, Y.; Zhang, Z.; Yu, J.; Chen, H.; Zhou, H.; Lin, B.; Zhuang, W. An Intelligent IEQ Monitoring and Feedback System: Development and Applications. *Engineering* 2022, 18, 218–231.
29. García, M.R.; Spinazzé, A.; Branco, P.T.; Borghi, F.; Villena, G.; Cattaneo, A.; Gilio, A.D.; Mihucz, V.G.; Álvarez, E.G.; Lopes, S.I.; et al. Review of low-cost sensors for indoor air quality: Features and applications. *Appl. Spectrosc. Rev.* 2022, 57, 747–779.

30. Parkinson, T.; Parkinson, A.; de Dear, R. Continuous IEQ monitoring system: Performance specifications and thermal comfort classification. *Build. Environ.* 2019, 149, 241–252.
31. Astolfi, A.; Carullo, A.; Fissore, V.; Puglisi, G.E.; Arcamone, G.; Shtrepi, L.; Raviola, E.; Barbaro, A.; Espinosa, G.R.; Chiavassa, P.; et al. Development and Metrological Characterization of a Multi-sensor Device for Indoor Environmental Quality (IEQ) monitoring. In *Proceedings of the 2023 IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment (MetroLivEnv)*, Milano, Italy, 29–31 May 2023; pp. 179–184.
32. Fissore, V.; Barbaro, A.; Chiavassa, P.; Espinosa, G.R.; Puglisi, G.; Raviola, E.; Giusto, E.; Shtrepi, L.; Servetti, A.; Montrucchio, B.; et al. Development of a Multi-sensor Device for Indoor Environmental Quality Assessment. In *Proceedings of the Forum Acusticum 2023*, Torino, Italy, 11–15 September 2023.
33. Fissore, V.I.; Saugo, M.; Arcamone, G.; Puglisi, G.E.; Shtrepi, L.; Sassoli, N.; Cassone, V.I.; Paduos, S.; Corrado, V.; Servetti, A.; et al. Definition of a methodology for occupants' feedback collection on perceived indoor environmental comfort. In *Proceedings of the Healthy Buildings Europe 2023*, Aachen, Germany, 11–14 June 2023.
34. ISO 10012:2003; Measurement Management Systems—Requirements for Measurement Processes and Measuring Equipment. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2003.
35. Wei, W.; Wargocki, P.; Zirngibl, J.; Bendžalová, J.; Mandin, C. Review of parameters used to assess the quality of the indoor environment in Green Building certification schemes for offices and hotels. *Energy Build.* 2020, 209, 109683.
36. Fissore, V.I.; Fasano, S.; Puglisi, G.E.; Shtrepi, L.; Astolfi, A. Indoor Environmental Quality and Comfort in Offices: A Review. *Buildings* 2023, 13, 2490.
37. The WELL Building Standard v2; International WELL Building Institute: New York, NY, USA, 2018.
38. ISO 7726:2001; Ergonomics of the Thermal Environment. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2001.

39. WELL Performance Verification Guidebook, Q4, 2023; International WELL Building Institute: New York, NY, USA, 2023.
40. Zawawi, S.; Hamzah, A.; Majlis, B.; Mohd-Yasin, F. A Review of MEMS Capacitive Microphones. *Micromachines*. *Micromachines* 2020, 11, 484.
41. CEN/TS 17660-1:2021; Air Quality—Performance Evaluation of Air Quality Sensor Systems—Part 1: Gaseous Pollutants in Ambient Air. European Committee for Standardization: Bruxelles, Belgium, 2021.
42. Yarkin, S.; Gerboles, M.; Borowiak, A.; Davila, S.; Spinelle, L.; Bartonova, A.; Dauge, F.; Schneider, P.; Van Poppel, M.; Peters, J.; et al. Modified Target Diagram to check compliance of low-cost sensors with the Data Quality Objectives of the European air quality directive. *Atmos. Environ.* 2022, 273, 118967.
43. DIN 5032-7:2017; Photometry—Part 7: Classification of Illuminance Meters and Luminance Meters. European Standards: Brussels, Belgium, 2017.
44. Yuan, Z.; Yang, C.; Meng, F. Strategies for Improving the Sensing Performance of Semiconductor Gas Sensors for High-Performance Formaldehyde Detection: A Review. *Chemosensors* 2021, 9, 179.
45. Pei, Z.; Maxim Balitskiy, R.T.; Kelly, K.E. Laboratory Performance Evaluation of a Low-Cost Electrochemical Formaldehyde Sensor. *Sensors* 2023, 23, 7444.
46. Sun, L.; Wong, K.C.; Wei, P.; Ye, S.; Huang, H.; Yang, F.; Westerdahl, D.; Louie, P.K.K.; Luk, C.W.Y.; Ning, Z. Development and Application of a next Generation Air Sensor Network for the Hong Kong Marathon 2015 Air Quality Monitoring. *Sensors* 2016, 16, 211.
47. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
48. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

БАГАТОСЕНСОРНИЙ РАДІОТЕХНІЧНИЙ ПРИСТРІЙ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ ДЛЯ ІОТ СИСТЕМ

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Окара М.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент кафедри ІРТС

 Осадчук Я.О.

(прізвище та ініціали)

«12» 12 2024 р.

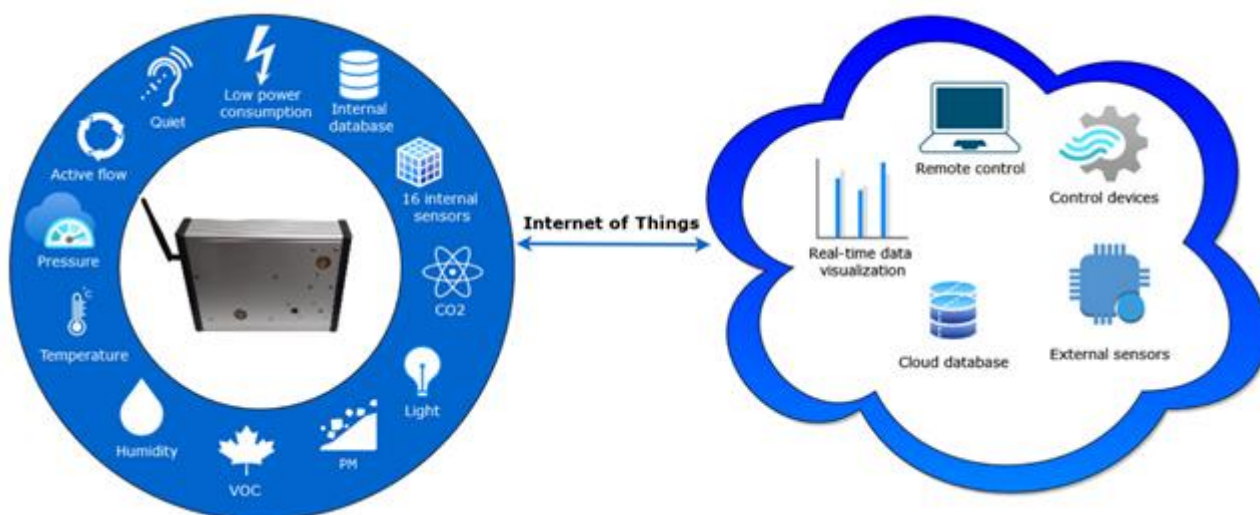


Рисунок 1 – Загальна діаграма застосування сенсорів мікроклімату приміщення для системи Інтернету речей

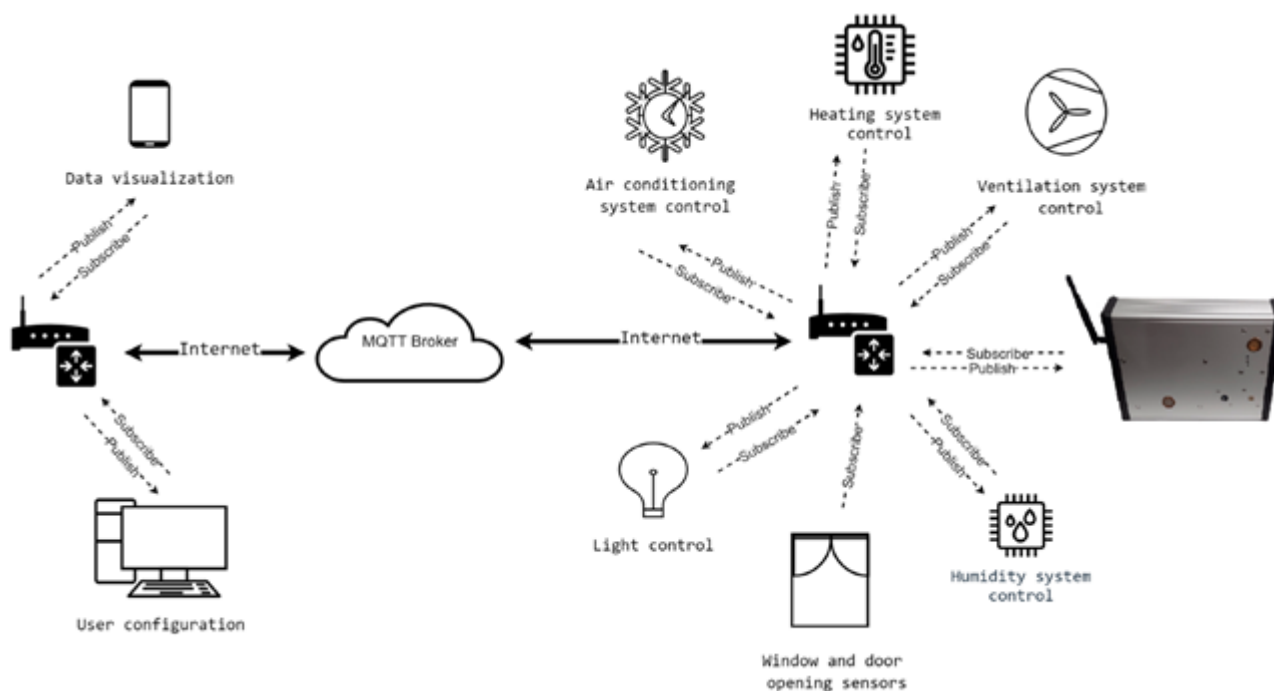


Рисунок 2 – Мультисенсорний пристрій як елемент IoT для моніторингу внутрішнього середовища

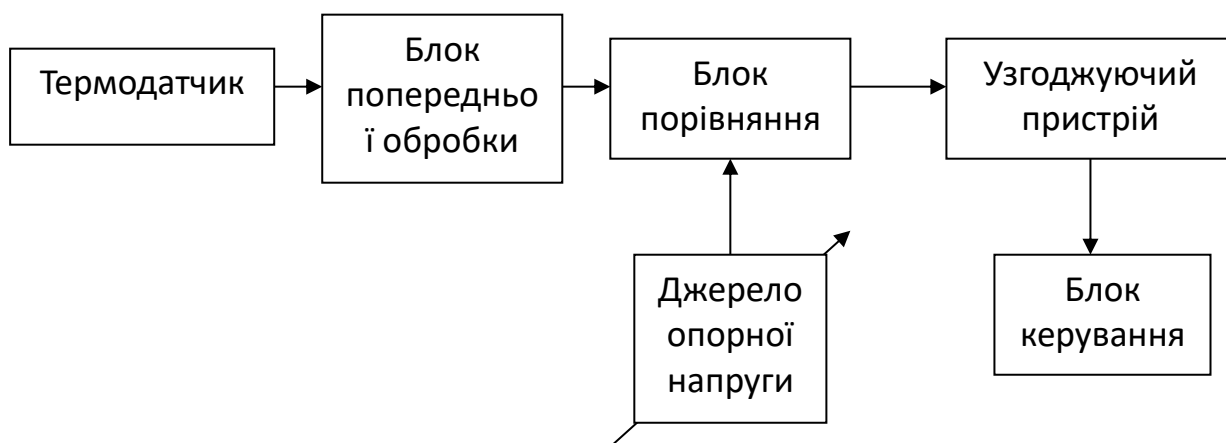


Рисунок 3 – Узагальнена структура пристрою

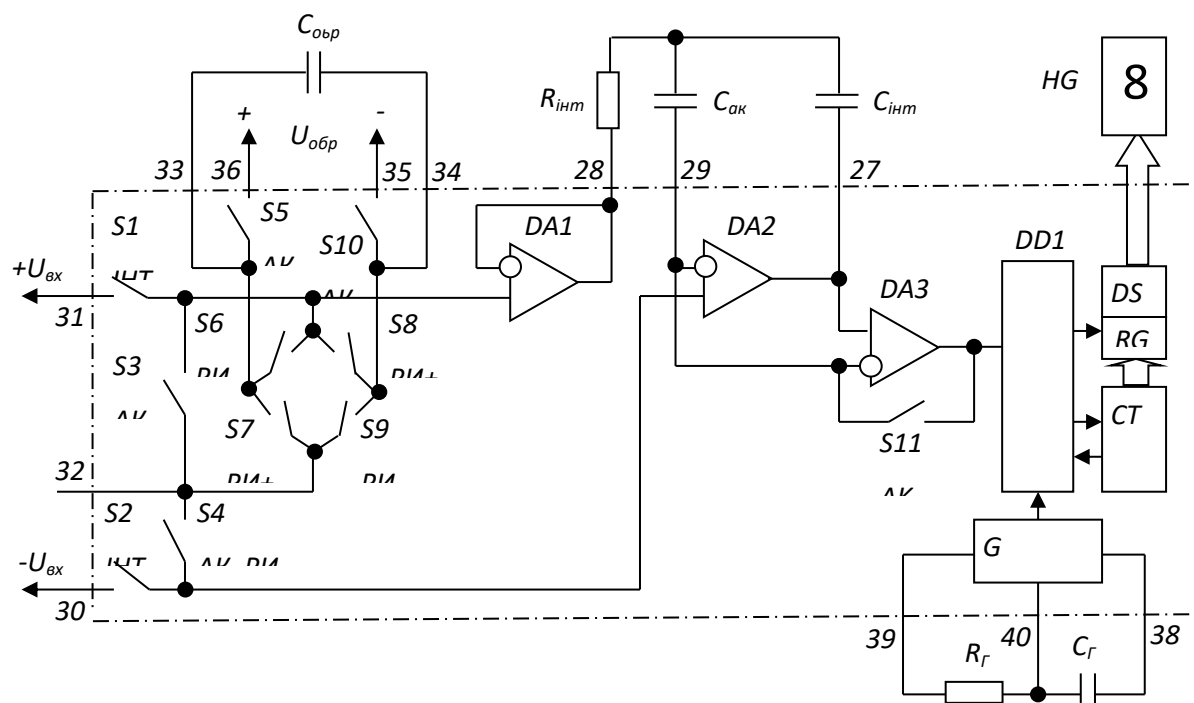


Рисунок 4 – Структура мікросхеми IL7106N

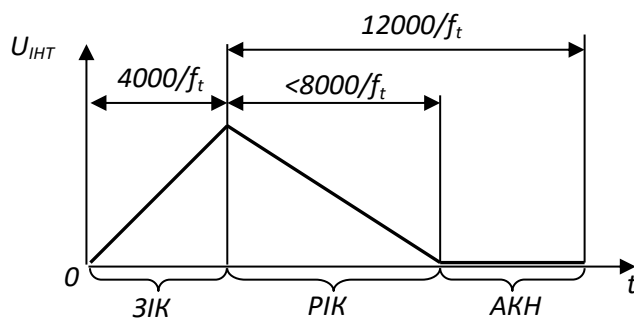


Рисунок 5 – Цикл вимірювання мікросхеми IL7106N

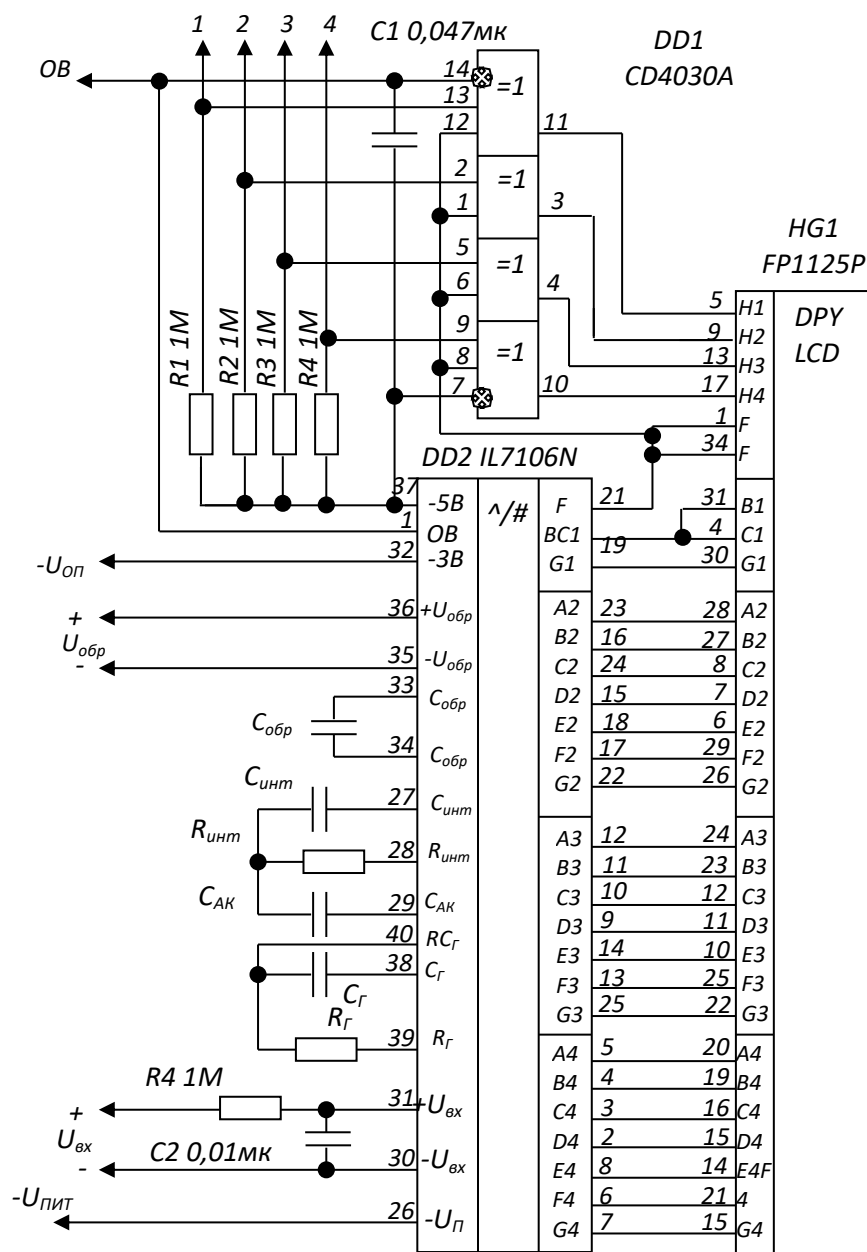


Рисунок 6 – Типова схема включення мікросхеми IL7106N

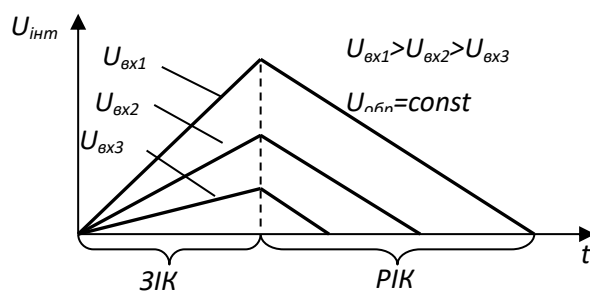


Рисунок 7 – Діаграма роботи інтегратора

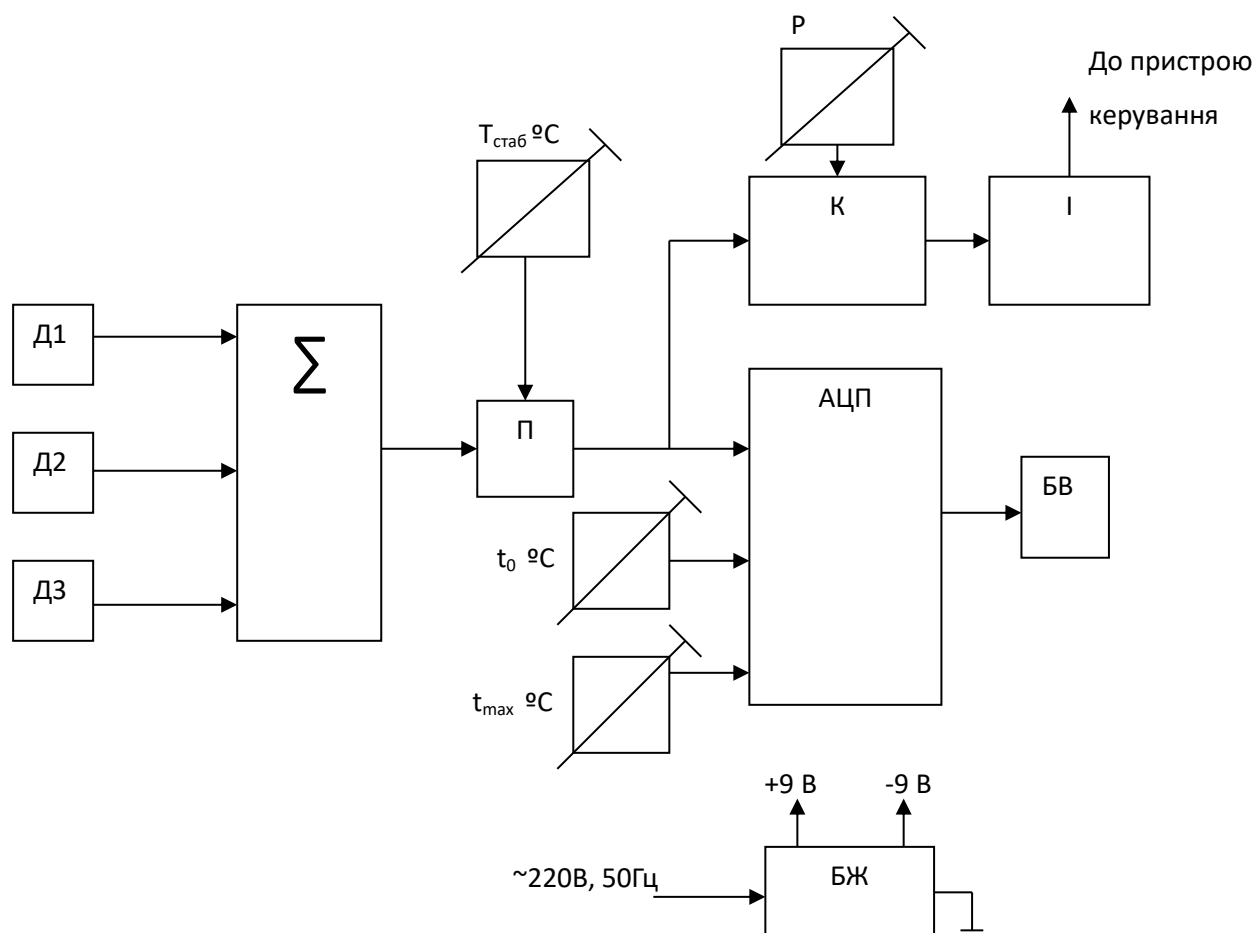


Рисунок 8 – Структурна схема пристрою

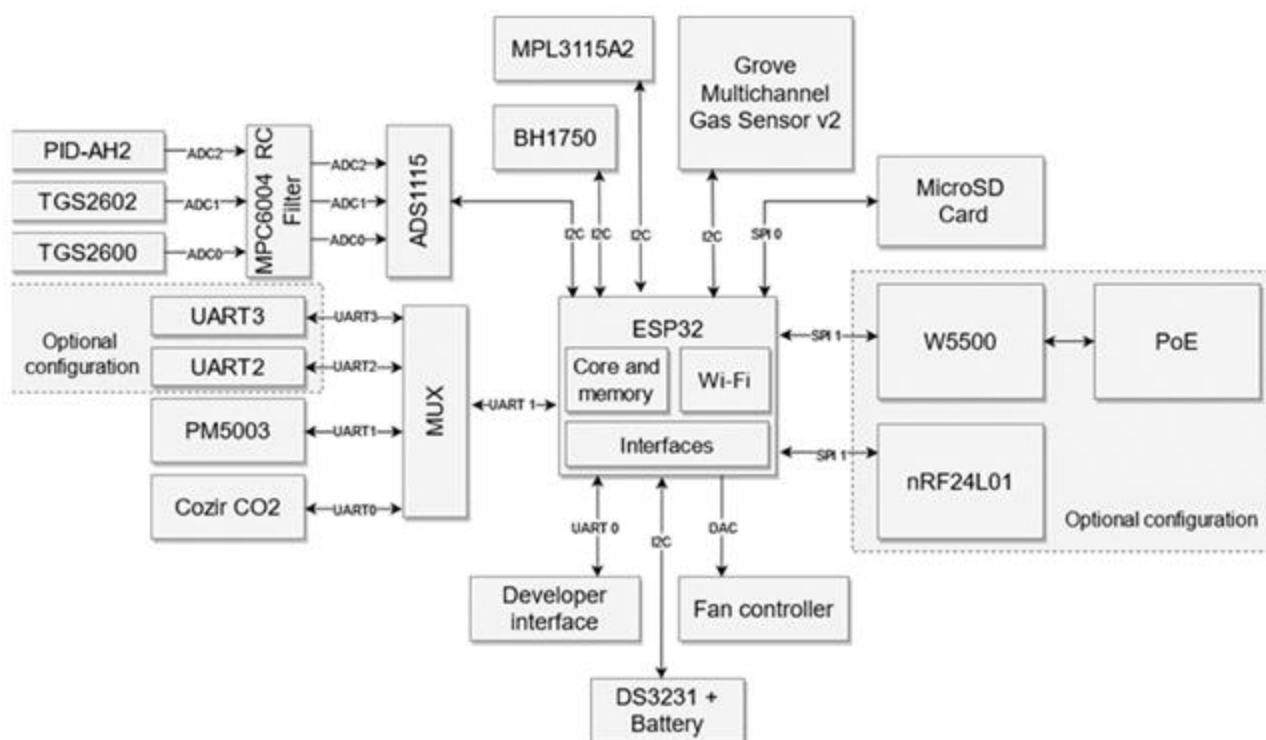


Рисунок 9 – Блок-схема схема мультисенсорного пристрою та управління його роботою мікроконтролером EPS

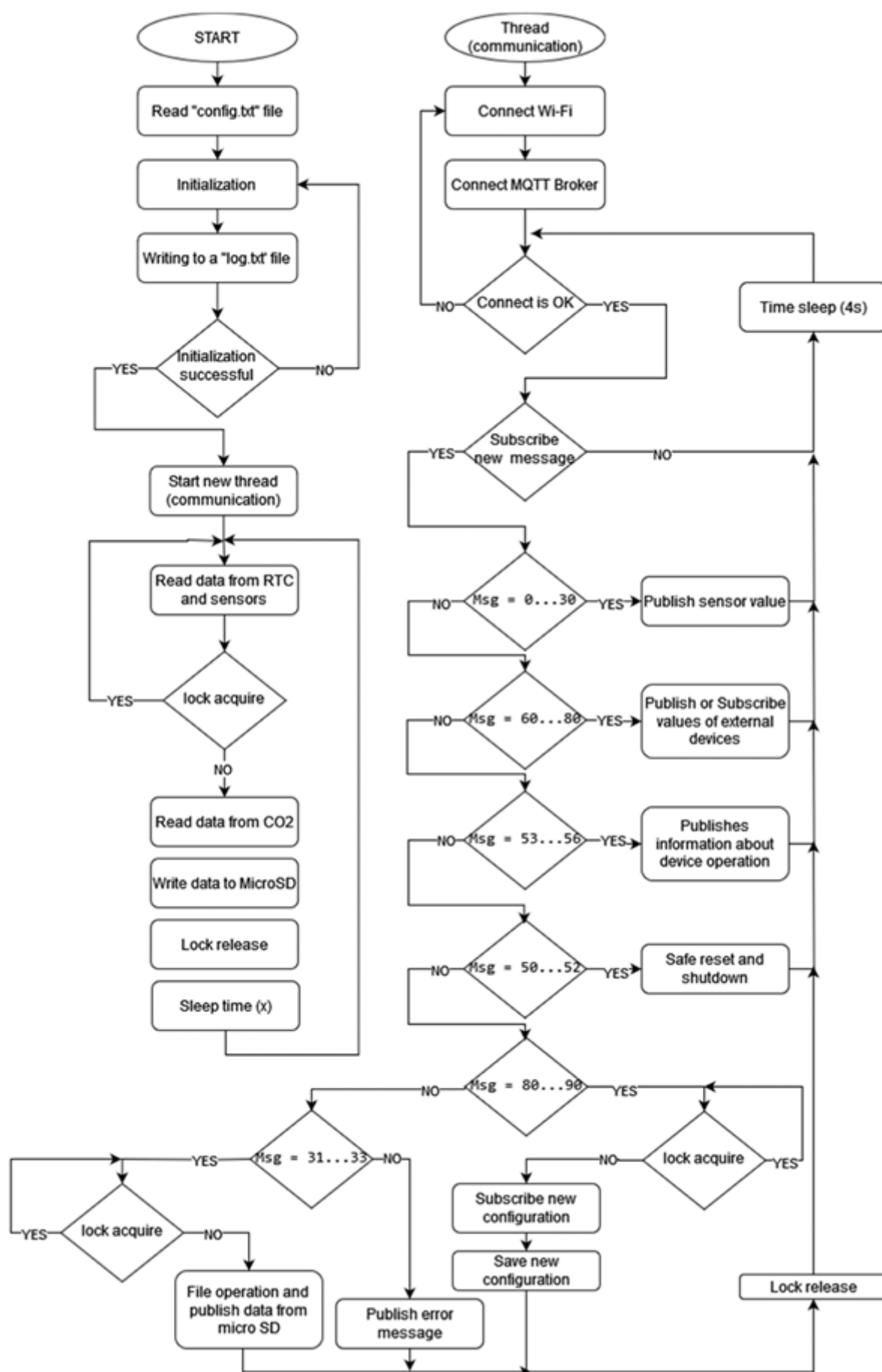


Рисунок 10 – Блок- схема алгоритму роботи програми мікроконтролера EPS

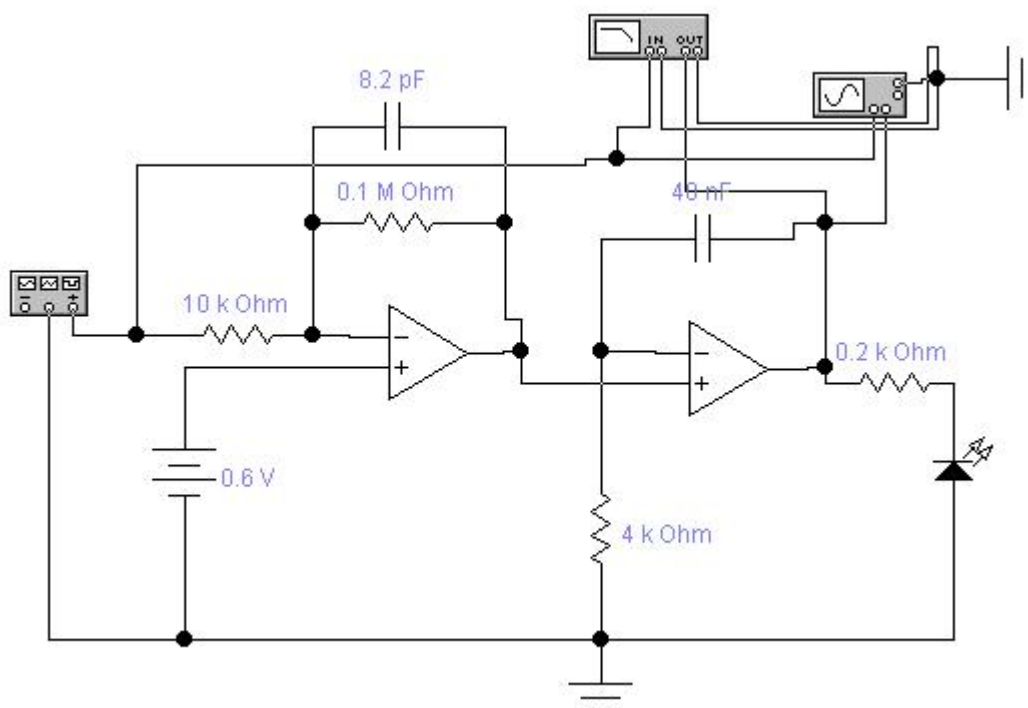


Рисунок 11 – Схема блоку терморегулятора в моделюючому пакеті Electronic Work Bench 5.12

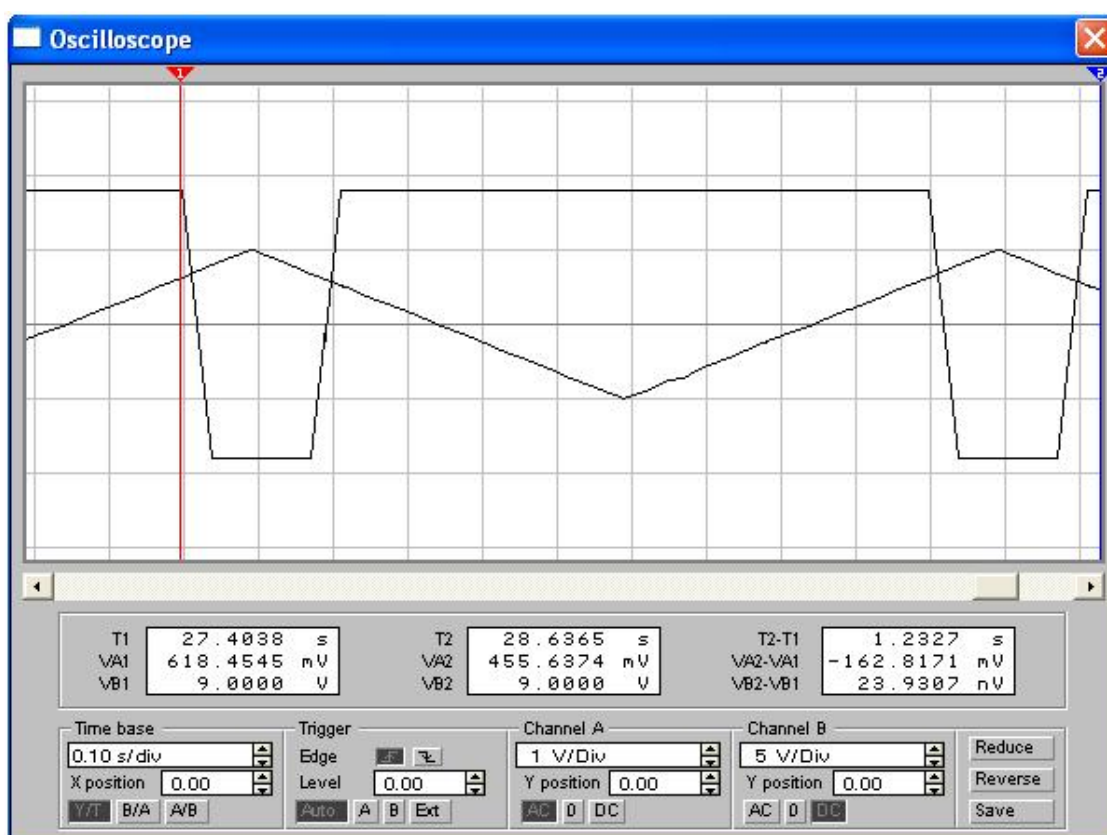


Рисунок 12 – Осцилограми вхідного та вихідного сигналу при опорній напрузі 0,6 В

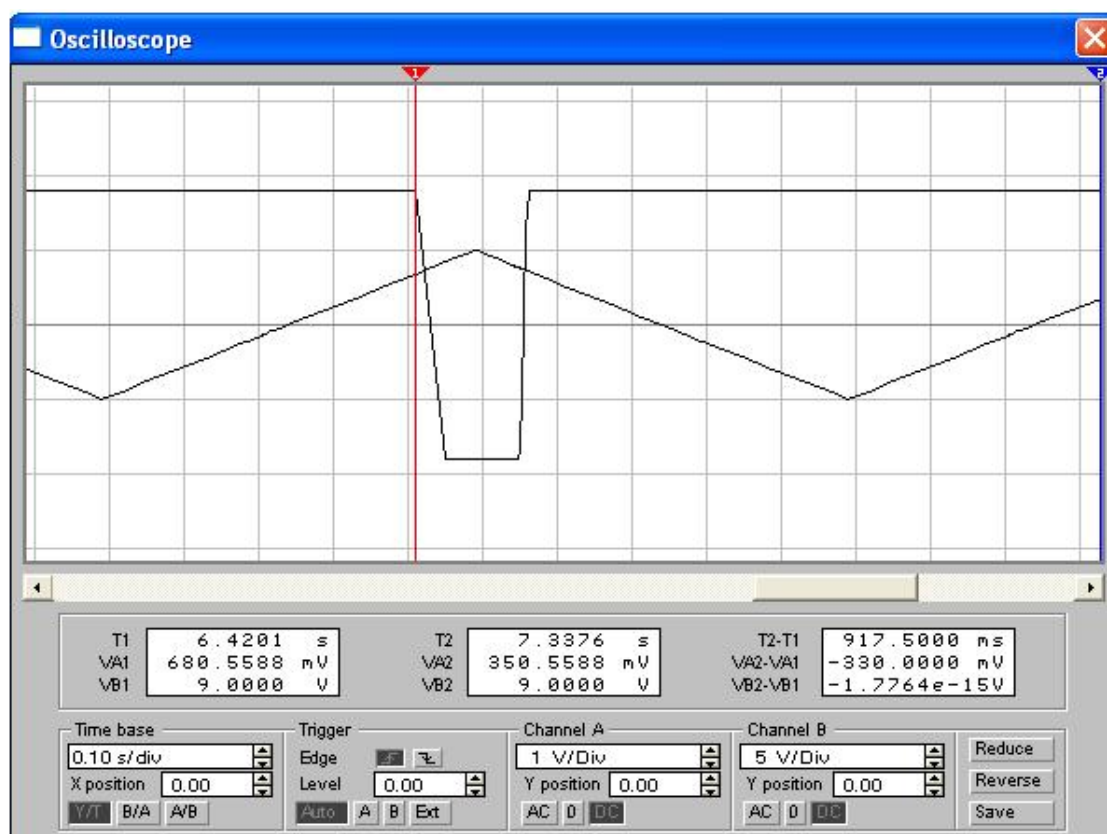


Рисунок 13 – Осцилограми вхідного та вихідного сигналу при опорній напрузі 0,7 В

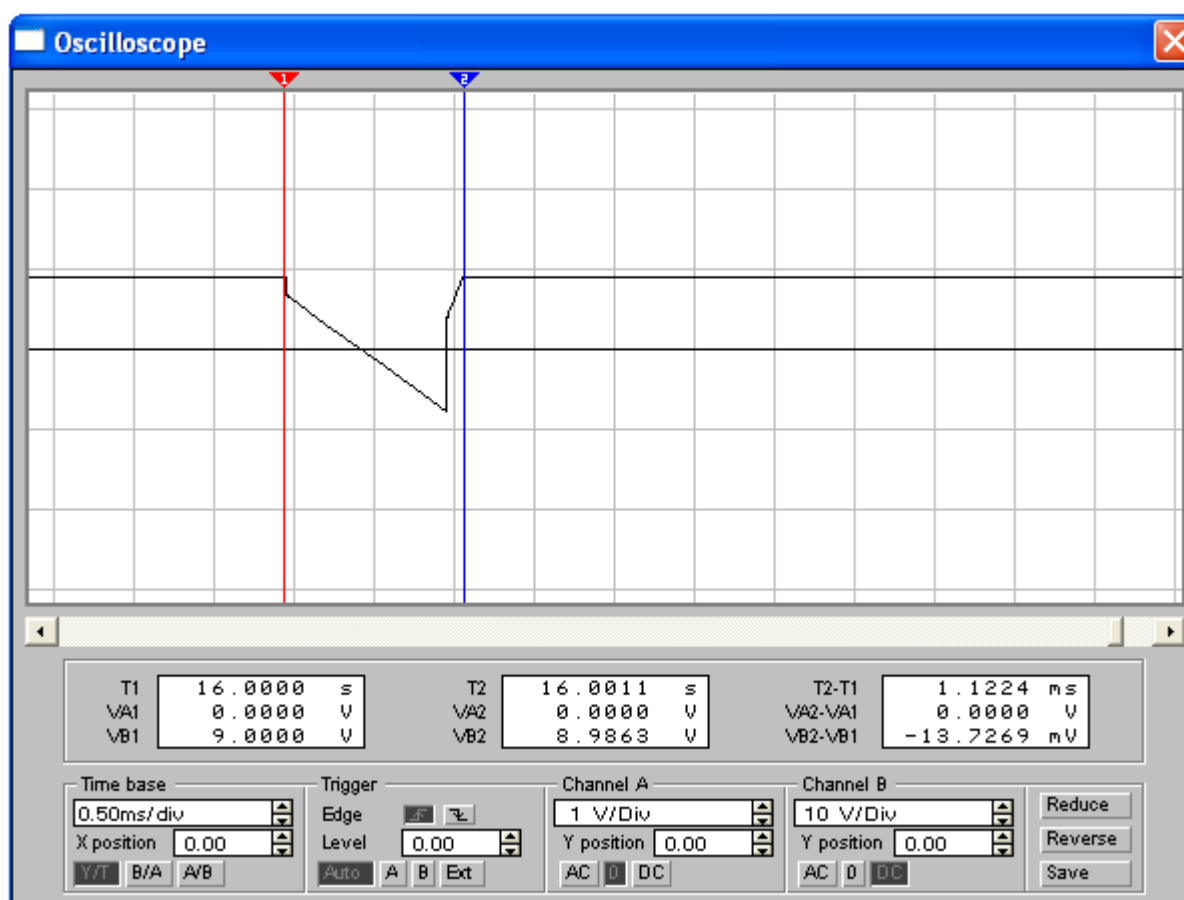


Рисунок 14 – Імпульсна характеристика пристрою в моделюючому пакеті Electronic Work Bench 5.12

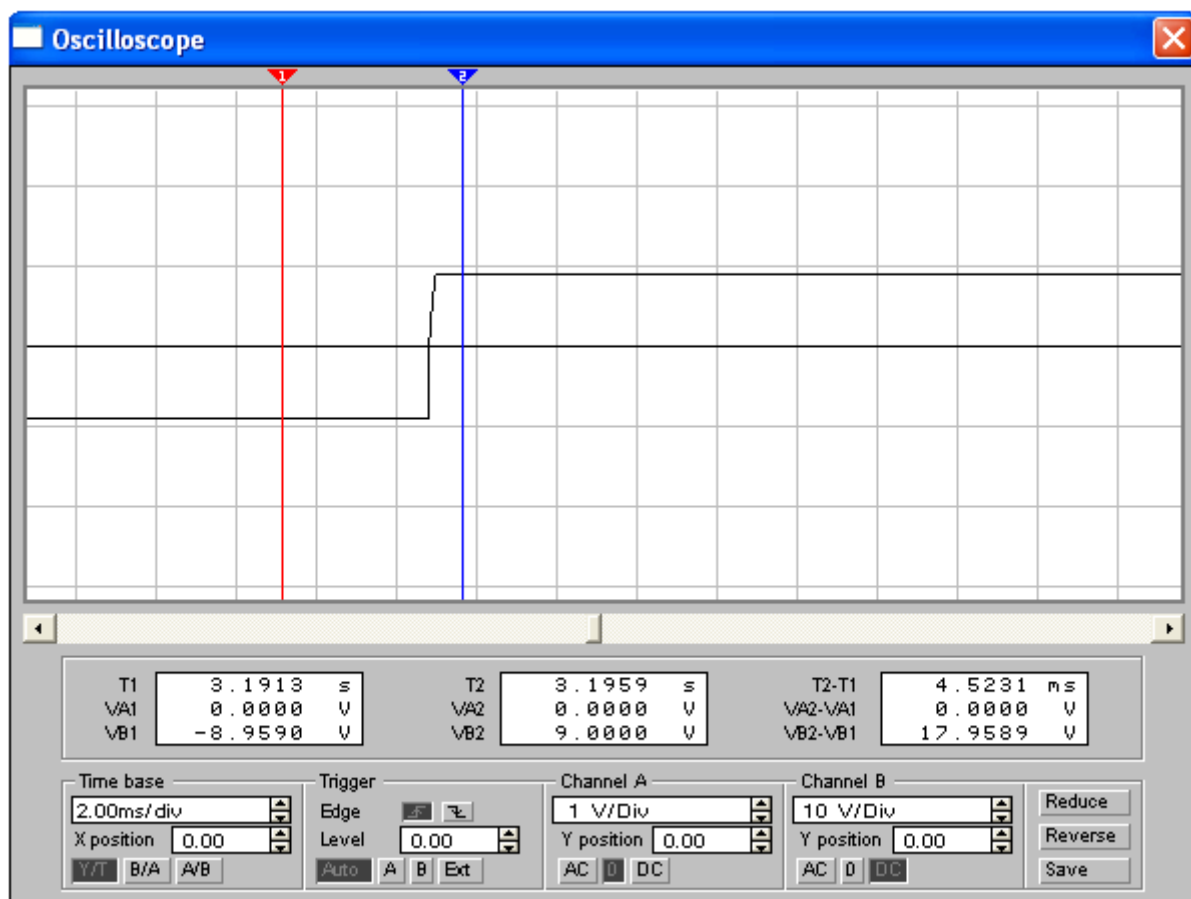


Рисунок 15 – Перехідна характеристика пристрою в моделюючому пакеті Electronic Work Bench 5.12

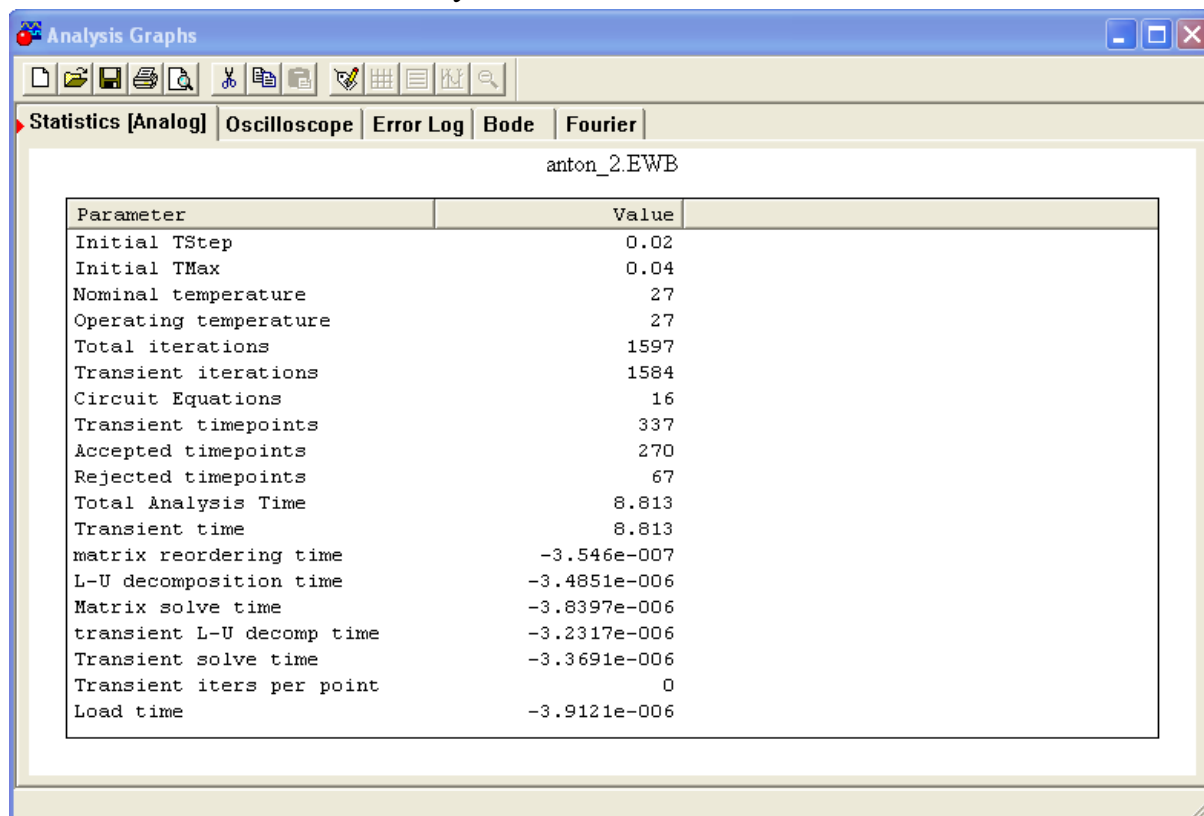


Рисунок 16 – Додаткові параметри моделювання пристрою

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

**БАГАТОСЕНСОРНИЙ РАДІОТЕХНІЧНИЙ ПРИСТРІЙ МОНІТОРИНГУ
ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ ДЛЯ ІОТ СИСТЕМ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Багатосенсорний радіотехнічний пристрій моніторингу параметрів мікроклімату приміщень для IoT систем»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 92,0% Схожість 8,0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Максим ОКАРА
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Ярослав ОСАДЧУК
(прізвище, ініціали)