

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:

«РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕНЬ»

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

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Гаврилюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., зав. каф. ІРТС

Осадчук О.В.

(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.

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

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гаврилюку Валентину Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень»

керівник роботи д.т.н., проф., зав. каф. кафедри ІРТС Осадчук О.В.

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

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

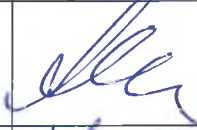
2. Строк подання студентом роботи 13.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: діапазон вимірювальної температури -50...125 °С; абсолютна похибка вимірювання температури 0,5 °С; дозволяюча здатність 12 біт; крок вимірювання температури 0,0625 °С; напруга живлення 5 В; Діапазон робочих частот перетворювача температури 300 кГц - 3000 кГц.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Огляд сучасних мікроелектронних сенсорів температури та протоколів передачі даних. Розробка структурної схеми пристрою. Електричний і конструкторський розрахунок блоків пристрою. Комп'ютерне математичне та схемотехнічне моделювання пристрою. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема включення ІМС MAX232. Електрична схема частотного перетворювача температури. Структурна схема радіовимірювального пристрою. Електрична схема радіовимірювального пристрою. Ескізне креслення друкованої плати. Ескізне креслення становлення елементів на друкованій платі. Алгоритм програми для мікроконтролера. Результати математичного моделювання. Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

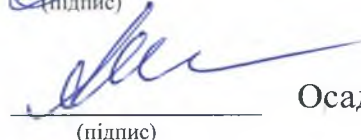
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приймає
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	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)

Гаврилюк В.В.

Керівник роботи


(підпис)

Осадчук О.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396.6

Гаврилюк В.В. Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 140 с. На українській мові. Бібліогр.: 64 назв; Табл. 15; Рис. 40.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень на базі мікроконтролера ATmega8. Радіовимірювальний пристрій складається з перетворювачі температури у частоту, керуючого мікроконтролера, РКІ індикатора для виведення виміряної інформації та інтерфейсу RS232 для передачі даних на комп'ютер. Розроблено структурну схему та електричну схему радіовимірювального пристрою для автоматичного регулювання температури повітря приміщень. Виконані електричні та конструкторські розрахунки пристрою, здійснений розрахунок надійності та технологічності. Отримані результати комп'ютерного математичного моделювання та комп'ютерного схемотехнічного моделювання.

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

Gavryliuk V.V. Radio measuring device for automatic control of indoor air temperature. Master's thesis in speciality 172 - electronic communications and radio engineering, educational programme - radio engineering: VNTU, 2024. 140 p. In Ukrainian. Bibliography: 64 titles; Table 15; Fig. 40.

In the master's qualification work, a radio measuring device for automatic control of indoor air temperature based on the ATmega8 microcontroller was developed. The radio measuring device consists of a temperature-to-frequency converter, a control microcontroller, an LCD display for displaying measured information and an RS232 interface for transferring data to a computer. The structural diagram and electrical circuit of the radio measuring device for automatic control of the indoor air temperature were developed. Electrical and design calculations of the device were performed, reliability and manufacturability were calculated. The results of computer mathematical modelling and computer circuit modelling were obtained.

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 ОГЛЯД СУЧАСНИХ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ СЕНСОРІВ	
ТЕМПЕРАТУРИ ТА ПРОТОКОЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ	11
1.1 Загальні відомості про мікроелектронні перетворювачі фізичних величин	11
1.2 Аналогові сенсори температури.....	15
1.3 Цифрові сенсори температури.....	16
1.4 Провідні протоколи (I2C, SPI).....	18
1.5 Безпроводні протоколи (BLE, Wi-Fi, LoRa, ZigBee).....	20
1.6 Розумний дім та автоматизація клімату	24
1.7 Промислові IoT застосування	28
1.8 Висновки до розділу.....	30
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ	31
2.1 Загальна структурна схема	31
2.2 Вибір датчика температури	32
2.3 Вибір мікроконтролера	37
2.4 Вибір роз'єму USB	42
2.5 Вибір типу РКІ.....	46
2.6 Передача даних на комп'ютер по USART	47
3 ЕЛЕКТРИЧНИЙ І КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗРАХУНОК	
БЛОКІВ ПРИСТРОЮ.....	49
3.1 Розрахунок мікроконтролера	49
3.2 Розрахунок опорного генератора	51
3.3 Електричний розрахунок частотного перетворювача температури	56
3.4 Функція перетворення та чутливість частотного перетворювача температури	59
3.5 Формувач ТТЛ рівня.....	62
3.6 Конструкторські розрахунки топології друкованої плати.....	69
3.7 Висновки до розділу.....	78

4	КОМП'ЮТЕРНЕ МАТЕМАТИЧНЕ ТА СХЕМОТЕХНІЧНЕ	
4.1	МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ	79
4.2	Комп'ютерне схемотехнічне моделювання пристрою	84
4.3	Комп'ютерне математичне моделювання пристрою.....	88
4.4	Висновки до розділу.....	89
5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	90
5.1	Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	90
5.2	Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки	95
5.3	Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	97
5.4	Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором	112
5.5	Висновок до розділу.....	116
	ВИСНОВКИ.....	118
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	120
	Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	129
	Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	139

ВСТУП

Актуальність теми.

Сучасні мікроелектронні пристрої відіграють важливу роль у розвитку систем автоматичного регулювання температури повітря приміщень, що сприяє глибокій інтеграції технологій у різні сфери життя. Одним з найпоширеніших типів сенсорних пристроїв для систем автоматичного регулювання температури повітря приміщень є температурні сенсори, які забезпечують точне та оперативне вимірювання температури в режимі реального часу. Вони мають критичне значення для моніторингу кліматичних умов, контролю за станом обладнання, оптимізації енергоспоживання, а також забезпечення безпеки у виробничих, медичних та побутових середовищах.

Розвиток мікроелектронних температурних сенсорів для систем автоматичного регулювання температури повітря приміщень обумовлений необхідністю точного та стабільного вимірювання у поєднанні з енергоефективністю та можливістю безпроводної передачі даних. Використання таких сенсорів дозволяє покращити автоматизацію процесів та оптимізувати взаємодію між пристроями у розумних домах, промислових системах, а також в екологічному моніторингу.

Огляд сучасного стану

В даний час для вимірювання температури використовуються напівпровідникові або мікроелектронні датчики у вигляді мікросхем, інфрачервоні датчики, термометри опору, термістори і термопари. Мікроелектронні датчики призначені для використання при температурах від -55°C до 150°C. Вони зазвичай використовуються в пристроях, установках, елементах керування, медичному обладнанні, комп'ютерах, засобах зв'язку, джерелах живлення та в інших сферах.

Основними виробниками напівпровідникових датчиків температури є такі компанії, як Analog Devices, National Semiconductor, Dallas Semiconductor та інші. Лідером з них є Analog Devices, яка займається розробкою та виробництвом датчиків температури, які мають вихід струму або напруги,

датчиків, які перетворюють температуру в часовий інтервал або цифровий код, датчиків, які мають функції контролера, і вторинних перетворювачів, які підключають термопари та термометри опору.

Однією з наукових цілей при розробці вимірювальних перетворювачів є використання залежності реактивних властивостей і негативного опору напівпровідникових приладів від впливу зовнішніх фізичних величин і створення нового типу мікроелектронних перетворювачів температури з частотою вихід на основі цієї концепції. У приладах цього типу температура перетворюється на частоту, що дозволяє використовувати перетворювачі, які використовують інтегральну технологію, ця технологія дозволяє збільшити швидкість, точність і чутливість, розширити діапазон вимірюваних значень, надійність і стабільність параметри підвищуються, і забезпечується імунітет. Крім того, поєднання первинного вимірювального перетворювача зі схемами обробки інформації на монокристалі дозволяє створювати «розумні» датчики. Використання частоти як метрики, що описує інформацію, дозволяє уникнути необхідності аналого-цифрового перетворення при обробці інформації, це б зменшило витрати на системи контролю та управління.

Мета, об'єкт і предмет дослідження.

Метою цієї роботи є аналіз типів температурних сенсорів, що використовуються в системах автоматичного регулювання температури повітря приміщень, їхніх принципів дії, а також технологій передачі даних, які забезпечують надійне підключення сенсорів до інформаційної мережі. Окрім цього, робота розглядає ключові параметри чутливості, точності та ефективності сенсорів, що впливають на їх застосування в різних сферах. Це дослідження дає змогу краще зрозуміти перспективи використання температурних сенсорів у різних галузях і розкрити їхній потенціал у майбутньому розвитку систем автоматичного регулювання температури повітря приміщень, зокрема Індустрія 4.0 та IoT.

Об'єкт дослідження – процеси перетворення температури в електричний сигнал в мікроелектронних датчиках температури.

Предмет дослідження – параметри та характеристики мікроелектронних датчиків температури.

Задачі дослідження

- Здійснити розроблення структурної схеми пристрою.
- Обґрунтувати вибір і обрати елементну базу.
- Здійснити електричні та конструкторські розрахунки.
- Виконати комп'ютерне схемотехнічне моделювання.
- Розрахувати розділ економіки.

Методи дослідження

При розв'язанні поставлених задач були використані теоретичні та експериментальні дослідження. Теоретичні засновані на використанні методі аналізу та синтезу аналогової та цифрової радіоелектронної апаратури. Експериментальні методи засновані на основі комп'ютерного схемотехнічного моделювання та комп'ютерної симуляції.

Новизна одержаних результатів

Запропоновано новий варіант схемотехнічного та конструкторського рішення Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень. В пристрої використовується перетворювач температура на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом, який має високу чутливість.

Обсяг і структура роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота містить 15 таблиць, 40 рисунків і 64 літературних джерел.

1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ПРОТОКОЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

1.1 Загальні відомості про мікроелектронні перетворювачі фізичних величин

Перетворювач - це пристрій, який перетворює одну форму енергії в іншу для таких цілей, як вимірювання, передача даних і обробка інформації. Цей процес перетворення регулюється принципом перетворення енергії.

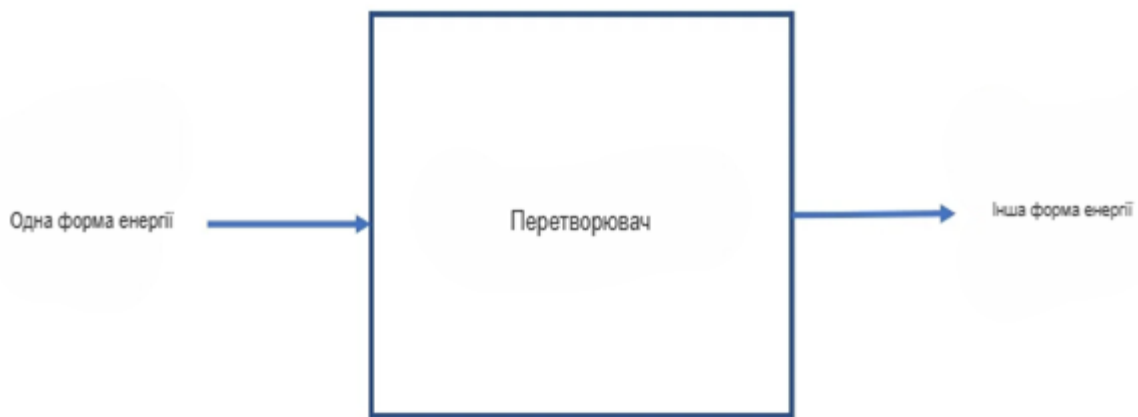


Рисунок 1.1 – Процес перетворення енергії

Перетворювачі – це елементи, які перетворюють вхідну фізичну змінну в придатну для використання форму. У більшості випадків вихідний сигнал має форму електричного сигналу. Переваги електричного сигналу полягають у відсутності ефектів інерції та тертя, оскільки в перетворювачах з механічним вихідним сигналом посилення може бути досягнуто відносно легшим способом, а також полегшується віддалена індикація та запис. Існує широкий діапазон перетворювачів, класифікованих за принципом роботи, вихідним сигналом тощо.

Вони широко використовуються в різних галузях техніки та технології. Наприклад, в електроніці та обробці сигналів п'єзоелектричні кристали можуть

служити перетворювачами, перетворюючи механічну напругу в електричний сигнал.

Перетворювач складається з кількох ключових компонентів, які дозволяють йому перетворювати одну форму енергії в іншу. Вони обговорюються таким чином:

1) Чутливий елемент: ця частина перетворювача знаходиться в прямому контакті з фізичною величиною, що підлягає вимірюванню, виявляє будь-які зміни у фізичній величині та передає їх іншим елементам перетворювача у вигляді сигналу.

2) Елемент перетворення: у цьому елементі сигнал перетворюється з одного на інший за допомогою різних принципів роботи, таких як п'єзоелектрика, термоелектрика, електромагнітна індукція тощо, залежно від типу перетворювача.

3) Вихідний інтерфейс: ця частина перетворювача забезпечує інтерфейс для передачі вихідного сигналу, згенерованого для подальшої обробки. Це включає роз'єми, клеми, перемикачі тощо.

4) Корпус: перетворювачі часто поміщені в захисний корпус або кожух, щоб захистити внутрішні компоненти від факторів навколишнього середовища, таких як волога, пил, коливання температури та механічні удари.

Існує два типи перетворювачів на основі напрямку перетворення сигналу, тобто вхідний перетворювач і вихідний перетворювач, які коротко обговорюються наступним чином:

- Вхідний перетворювач: перетворювачі, які перетворюють різні фізичні величини в електричний сигнал для подальшої обробки та маніпулювання, називаються вхідними перетворювачами. Приклади можна знайти в датчиках, які вимірюють температуру, тиск, світло, звук, вологість, переміщення тощо.

- Вихідні перетворювачі: перетворювачі, які приймають електричний сигнал як вхідний сигнал і перетворюють його на певні фізичні дії для контролю або маніпулювання фізичними процесами. Приклади можна знайти в таких приводах, як двигуни, клапани, реле, соленоїди, динаміки, дисплеї тощо.

Перетворювачі загалом поділяються на дві категорії залежно від типу вихідного сигналу, тобто аналогові та цифрові. Коротко вони обговорюються таким чином:

- Аналогові перетворювачі: аналогові перетворювачі виробляють вихідні сигнали, які постійно змінюються з часом і пропорційні вхідній величині, що вимірюється. Прикладами є датчики вихідної напруги, вихідного струму, вихідного опору та вихідної частоти.

- Цифрові перетворювачі: цифрові перетворювачі виробляють вихідні сигнали, які є дискретними та квантованими, які зазвичай представлені у двійковому форматі. Декілька прикладів: вихідний сигнал із двійковим десятковим кодуванням (BCD), вихідні перетворювачі широтно-імпульсної модуляції (ШИМ) тощо.

Основні характеристики перетворювачів:

Тип перетворення:

- 1) Аналого-цифровий перетворювач (АЦП): перетворює аналоговий сигнал (наприклад, напругу) в цифровий код.

- 2) Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП): перетворює цифровий код в аналоговий сигнал.

- 3) Частотний перетворювач: змінює частоту змінного струму.

- 4) Амплітудний перетворювач: змінює амплітуду сигналу.

- 5) Фазовий перетворювач: змінює фазу сигналу.

Точність: характеризує наскільки точно вихідний сигнал відповідає вхідному.

Швидкодія: визначає час, за який перетворювач виконує перетворення.

- Лінійність: характеризує лінійність залежності між вхідним і вихідним сигналами.

- Динамічний діапазон: визначає різницю між максимальним і мінімальним значеннями сигналу, який може бути оброблений перетворювачем.

- Роздільна здатність: для АЦП визначає кількість бітів, які використовуються для кодування сигналу, і характеризує точність квантування.

- Стабільність: характеризує здатність перетворювача зберігати свої характеристики в часі і при зміні зовнішніх умов.

- Споживана потужність: кількість енергії, яку споживає перетворювач.

Основні параметри перетворювачів:

- Вхідний сигнал: тип сигналу, який подається на вхід перетворювача (напруга, струм, частота тощо).

- Вихідний сигнал: тип сигналу, який отримується на виході перетворювача.

- Діапазон вхідних і вихідних сигналів: мінімальні та максимальні значення сигналів, які може обробляти перетворювач.

- Частота дискретизації: для АЦП визначає кількість відліків сигналу за одиницю часу.

- Частота зрізу: для фільтрів визначає частоту, починаючи з якої сигнал починає затухати.

- Коефіцієнт посилення: для підсилювачів визначає відношення амплітуди вихідного сигналу до амплітуди вхідного сигналу.

- Коефіцієнт передачі: для загального випадку визначає відношення вихідної величини до вхідної величини.

Види перетворювачів:

- Електричні: перетворюють один вид електричної енергії в інший (наприклад, змінний струм в постійний).

- Електромеханічні: перетворюють електричну енергію в механічну або навпаки (наприклад, електродвигун, генератор).

- Електронні: використовують електронні компоненти для перетворення сигналів (наприклад, операційні підсилювачі, компаратори).

- Оптичні: перетворюють електричні сигнали в оптичні або навпаки (наприклад, фотодіоди, світлодіоди).

Застосування перетворювачів:

Перетворювачі широко застосовуються в різних областях, таких як:

- Автоматика: для управління технологічними процесами.
- Вимірювальна техніка: для перетворення фізичних величин в електричні сигнали.
- Комунікації: для передачі інформації по різних каналах зв'язку.
- Обчислювальна техніка: для взаємодії комп'ютерів з аналоговими пристроями.
- Енергетика: для перетворення енергії з однієї форми в іншу.

1.2 Аналогові сенсори температури

Аналогові сенсори температури є одними з найстаріших і найпоширеніших рішень для вимірювання температури завдяки простоті конструкції, надійності та стабільності роботи. Основним принципом роботи аналогових сенсорів є перетворення фізичних змін температури на зміну певного фізичного параметра, наприклад, опору або напруги, що можна легко виміряти за допомогою мікроконтролера або іншого обчислювального пристрою. Серед найпопулярніших аналогових сенсорів у мікроелектронних системах виділяються термістори та термопари.

Термістори – це сенсори, що змінюють свій електричний опір залежно від температури. Вони можуть мати позитивний (PTC) або негативний (NTC) температурний коефіцієнт, що означає, що їхній опір або зростає, або зменшується зі зміною температури. Завдяки високій чутливості до температурних коливань, термістори широко застосовуються у пристроях, які вимагають швидкої реакції на зміни температури, зокрема в медичних, побутових та промислових IoT системах. Зокрема, у розумних термостатах вони дозволяють точніше регулювати температуру в приміщеннях. Однак, термістори мають певні обмеження щодо вимірювання надвисоких або наднизьких температур, що знижує їх ефективність у важких або екстремальних умовах.

Термопари, в свою чергу, працюють на принципі термоелектричного ефекту: при з'єднанні двох різнорідних металів виникає електрорушійна сила, яка змінюється залежно від різниці температур на кінцях. Термопари здатні витримувати значно вищі температури порівняно з термісторами та забезпечують точні показники в широкому діапазоні вимірювань, що робить їх незамінними для промислових IoT застосувань, де контроль температури є критично важливим. Вони також часто використовуються в хімічній та енергетичній промисловості для моніторингу екстремально високих температур та важких умов експлуатації, де надійність і точність мають ключове значення.

Порівняно з цифровими сенсорами, аналогові сенсори часто більш енергоефективні, що є суттєвою перевагою для IoT пристроїв з автономним живленням. Проте вони можуть вимагати додаткових схем для калібрування і фільтрації сигналів, що робить їхню інтеграцію трохи складнішою. Незважаючи на ці особливості, аналогові сенсори залишаються ефективним і перевіреним рішенням для вимірювання температури в IoT системах. Їхня здатність швидко реагувати на зміни температури, висока точність і простота конструкції дозволяють використовувати їх у різних галузях, хоча для розширення функціональних можливостей системи іноді потрібне поєднання аналогових та цифрових сенсорів.

1.3 Цифрові сенсори температури

Цифрові сенсори температури стали одними з найважливіших компонентів у системах IoT завдяки високій точності, надійності та простоті інтеграції з іншими пристроями. На відміну від аналогових сенсорів, які перетворюють температуру в зміну опору чи напруги, цифрові сенсори автоматично обробляють виміряні дані і передають їх у цифровому вигляді. Це дозволяє усунути додаткові перешкоди та мінімізувати похибки, пов'язані з обробкою аналогових сигналів, що особливо ціно для IoT систем, де точність і надійність передачі даних є критичними.

Одними з найпоширеніших цифрових сенсорів є DS18B20 та DHT22. DS18B20 — це високоточний цифровий сенсор, який підтримує стандартний інтерфейс 1-Wire, що дозволяє підключати кілька сенсорів до одного порту мікроконтролера, зменшуючи кількість фізичних з'єднань. Це спрощує монтаж і розширює можливості розташування сенсорів у системах моніторингу. DS18B20 має точність до $\pm 0,5$ °C в діапазоні температур від -55 до +125 °C, що робить його популярним для застосування в промислових IoT системах, системах розумного дому та для моніторингу умов зберігання продуктів.

DHT22 є багатофункціональним сенсором, який вимірює не лише температуру, а й вологість. Він забезпечує точність до $\pm 0,5$ °C для температури і $\pm 2\%$ для вологості, що дозволяє використовувати його у системах контролю клімату та моніторингу якості повітря. Завдяки цьому DHT22 є популярним у системах розумного дому, системах управління мікрокліматом у теплицях, а також у застосунках для моніторингу середовища в офісах та комерційних будівлях.

Цифрові сенсори часто використовують такі протоколи передачі даних, як I2C, SPI та 1-Wire, що значно полегшує їх підключення до мікроконтролерів і дозволяє об'єднувати їх у комплексні IoT системи. Протокол I2C, зокрема, дозволяє підключати велику кількість сенсорів до одного мікроконтролера з використанням всього двох проводів для передачі даних, що зручно для масштабних IoT проектів. Цифрові сенсори, що працюють на SPI, можуть забезпечувати швидку передачу даних у режимі реального часу, що особливо важливо для додатків, де потрібна висока частота вимірювань.

Однією з основних переваг цифрових сенсорів є те, що вони зазвичай мають вбудовані схеми для компенсації температурних коливань та фільтрації шумів, що підвищує їх надійність навіть у складних умовах експлуатації. Багато цифрових сенсорів також мають низьке енергоспоживання, що робить їх ідеальними для автономних IoT пристроїв з обмеженим живленням, таких як бездротові сенсори для моніторингу зовнішнього середовища або енергоефективні рішення для розумного дому. Це дозволяє використовувати

такі сенсори у віддалених і важкодоступних місцях, де заміна батарей або часте обслуговування є проблематичним.

Цифрові сенсори також мають значно кращу стійкість до електромагнітних завад порівняно з аналоговими, оскільки вони безпосередньо передають цифрові сигнали, що мінімізує ризик втрати даних. Завдяки цій особливості цифрові сенсори широко використовуються в промислових IoT застосуваннях, де надійність передачі даних має вирішальне значення, а також у медичних пристроях, які потребують високої точності та стійкості до зовнішніх впливів.

Таким чином, цифрові сенсори є оптимальним вибором для багатьох IoT додатків, особливо там, де важливі висока точність, стійкість до завад, компактність і легкість інтеграції. Вони дозволяють створювати надійні системи для моніторингу температури та інших параметрів у режимі реального часу, що є ключовим для підтримання комфорту, безпеки та ефективності у багатьох галузях, від побутових систем до промислових і медичних середовищ.

1.4 Провідні протоколи (I2C, SPI)

Провідні протоколи, такі як I2C та SPI, відіграють ключову роль у передачі даних між температурними сенсорами і мікроконтролерами в IoT системах. Ці протоколи дозволяють встановити надійний зв'язок з високою пропускнуою здатністю, що робить їх особливо цінними для систем, де потрібна точна і стабільна передача даних у реальному часі.

Протокол I2C (Inter-Integrated Circuit) був розроблений як універсальний стандарт для підключення різних мікросхем, і сьогодні є одним з найбільш популярних способів обміну даними між температурними сенсорами і мікроконтролерами в IoT пристроях. Основною особливістю I2C є використання лише двох проводів для зв'язку: одна лінія (SDA) для передачі даних та одна (SCL) для синхронізації. Це значно спрощує підключення кількох сенсорів до одного мікроконтролера, оскільки всі пристрої в системі можуть

ділити одну і ту ж пару проводів. Кожен сенсор має унікальну адресу, що дозволяє контролеру звертатися до нього індивідуально. Завдяки простоті та можливості підключення великої кількості пристроїв, I2C широко застосовується у розумних будинках, мобільних пристроях та екологічному моніторингу.

I2C також має порівняно низьке енергоспоживання, що є важливим для автономних IoT систем, які працюють на батареях. Однак, протокол має обмеження щодо довжини кабелів і може бути чутливим до перешкод при значній віддаленості між пристроями, що може вплинути на точність даних у складних умовах.

Протокол SPI (Serial Peripheral Interface) є ще одним поширеним стандартом для підключення температурних сенсорів до мікроконтролерів, який відрізняється високою швидкістю передачі даних. На відміну від I2C, SPI використовує чотири лінії зв'язку: MOSI (Master Out Slave In), MISO (Master In Slave Out), SCK (Serial Clock), і SS (Slave Select), що дозволяє передавати дані в обох напрямках з високою швидкістю. Завдяки цьому SPI є більш ефективним у додатках, де важлива частота оновлення температурних даних, наприклад, у промислових системах моніторингу і контролю. Ще однією перевагою SPI є стійкість до електромагнітних завад і більша довжина кабелів, що дозволяє використовувати його в умовах промислових виробництв і важких умовах експлуатації.

Проте SPI має певні обмеження – наприклад, цей протокол не підтримує такої ж великої кількості пристроїв на одній шині, як I2C, оскільки кожен сенсор потребує окремого проводу для активації (SS), що ускладнює підключення великої кількості сенсорів.

Провідні протоколи передачі даних I2C і SPI забезпечують надійний і швидкий зв'язок для температурних сенсорів у IoT системах, але їх вибір залежить від конкретних вимог додатка. Наприклад, I2C є оптимальним вибором для систем з великою кількістю сенсорів та обмеженою потребою в

високошвидкісній передачі даних, тоді як SPI краще підходить для ситуацій, де важлива швидкість обміну інформацією та стійкість до перешкод.

I2C і SPI є універсальними рішеннями, які можуть бути використані для багатьох різновидів сенсорів у IoT – від побутових до промислових. Їх застосування дозволяє IoT системам залишатися енергоефективними, економічними та стабільними, що є ключовими факторами для пристроїв з автономним живленням і тривалим терміном служби. Водночас, для додатків, де потрібна максимальна гнучкість або інтеграція з бездротовими мережами, можуть застосовуватися інші протоколи, такі як BLE або Wi-Fi, які забезпечують передачу даних на відстані без використання кабелів.

Таким чином, вибір протоколу передачі даних для температурних сенсорів у IoT системах є критичним рішенням, що впливає на продуктивність, масштабованість і надійність мережі. Правильний підбір протоколу допомагає оптимізувати роботу температурних сенсорів, забезпечуючи точне і стабільне вимірювання температури у різних умовах та сферах застосування – від розумного дому до промислових установок і медичних приладів.

1.5 Безпроводні протоколи (BLE, Wi-Fi, LoRa, ZigBee)

BLE, або Bluetooth Low Energy, є сучасною версією класичного Bluetooth, спеціально розробленою для пристроїв з низьким енергоспоживанням. Мікроелектронні датчики, які використовують BLE для вимірювання температури, можуть працювати місяці або навіть роки на одному заряді батареї, що робить цей протокол ідеальним для автономних IoT систем. BLE функціонує на частоті 2,4 ГГц і забезпечує передачу даних на відстань до 100 метрів. Це підходить для пристроїв, які використовуються в межах приміщень і вимагають частого оновлення даних. Низьке енергоспоживання і можливість швидкої передачі невеликих обсягів інформації роблять BLE оптимальним рішенням для сенсорів у розумних будинках та портативних пристроях.

Wi-Fi є загально визнаним протоколом для підключення пристроїв до Інтернету і передачі великих обсягів даних. Для мікроелектронних пристроїв вимірювання температури, які вимагають швидкої і безперервної передачі даних, Wi-Fi є чудовим вибором завдяки високій пропускній здатності. Проте його головний недолік полягає у високому енергоспоживанні, що обмежує тривалість автономної роботи пристроїв. Працюючи у діапазонах 2,4 ГГц та 5 ГГц, Wi-Fi дозволяє вибирати між стабільністю з'єднання і високою швидкістю передачі. Цей протокол підходить для систем IoT, де пристрої мають доступ до постійного живлення, таких як розумні термостати або кліматичні системи у приміщеннях.

LoRa, або Long Range, вирізняється можливістю передачі даних на великі відстані при низькому енергоспоживанні, що робить його ідеальним для розподілених IoT систем. Він використовується для збору даних з датчиків, розташованих на значній відстані, наприклад, у сільському господарстві або в розумних містах. Завдяки модуляції з широким спектром LoRa може передавати дані на відстань до 15-30 км у відкритій місцевості, забезпечуючи стійкість до перешкод та стабільний зв'язок навіть у складних умовах. Хоча LoRa має низьку швидкість передачі, його енергоефективність дозволяє використовувати протокол у мікроелектронних сенсорах, які не потребують частої заміни батарей і забезпечують передачу невеликих обсягів даних на великих відстанях.

Вибір відповідного протоколу залежить від вимог конкретної IoT системи. BLE підходить для застосувань, де важлива енергоефективність і коротка дистанція передачі, що робить його ідеальним для використання у розумних будинках або носимих пристроях. Wi-Fi підходить для систем, де потрібна висока швидкість передачі даних і постійне підключення до Інтернету, зокрема для централізованих кліматичних систем. LoRa стає найкращим рішенням для віддалених сенсорів, які потребують стабільного зв'язку на великій відстані з мінімальним споживанням енергії. Таким чином, впровадження цих безпроводних протоколів у мікроелектронні пристрої для

вимірювання температури сприяє створенню більш ефективних, автономних та гнучких IoT рішень для моніторингу та управління кліматичними умовами у різних середовищах.

Wi-Fi (Wireless Fidelity)

Wi-Fi - це набір стандартів для бездротової локальної мережі (WLAN), який дозволяє пристроям підключатися до Інтернету або один до одного через радіочастоти в діапазоні 2.4 ГГц або 5 ГГц. Технологія використовує модифікації стандарту IEEE 802.11 і дозволяє передавати дані на швидкостях до декількох гігабіт на секунду в умовах прямої видимості.

Особливості Wi-Fi:

Швидкість передачі: Wi-Fi забезпечує високу швидкість передачі даних, що робить його ідеальним для потокового відео, онлайн-ігор та великих за обсягом завдань.

Дальність покриття: Може забезпечувати зв'язок на відстанях до кількох сотень метрів в межах відкритих просторів або до 30-50 метрів в закритих приміщеннях.

Безпека: Стандарти безпеки включають шифрування WPA3, що забезпечує високий рівень захисту даних.

Сфери застосування: Wi-Fi є основним стандартом для підключення до Інтернету в домашніх та офісних умовах, в готелях, кафе, на аеропортах та в інших публічних місцях.

ZigBee

ZigBee - це бездротовий стандарт для малопотужних мереж, що підтримують короткодистанційні з'єднання з низьким споживанням енергії. Технологія працює на частотах 2.4 ГГц, 868 МГц та 915 МГц, з максимальним діапазоном від кількох десятків метрів до 100 метрів. ZigBee використовує протокол IEEE 802.15.4 для забезпечення зв'язку між пристроями.

Особливості ZigBee:

Низьке споживання енергії: ZigBee ідеально підходить для пристроїв, що працюють від батарей, таких як датчики або елементи розумного дому.

Низька швидкість передачі даних: Максимальна швидкість передачі даних у ZigBee становить 250 Кбіт/с, що робить його підходящим для передачі малих обсягів даних.

Мережева топологія: ZigBee підтримує різні топології мережі, включаючи точка-точка, точка-многоточкове з'єднання та мережі з багатьма хабами.

Сфери застосування: ZigBee широко використовується в автоматизації будівель, розумних будинках, системах охорони та промислових мережах для моніторингу та керування.

Bluetooth

Bluetooth - це стандарт для бездротового зв'язку на коротких відстанях, який використовується для підключення мобільних пристроїв, таких як телефони, навушники, комп'ютери та інші периферійні пристрої. Bluetooth працює в діапазоні 2.4 ГГц і має дальність до 100 метрів, залежно від класу пристрою.

Особливості Bluetooth:

Швидкість передачі: Bluetooth забезпечує швидкість передачі даних від 1 до 3 Мбіт/с, що достатньо для передачі аудіо, відео та малих файлів.

Низька енергоспоживаність: Останні версії Bluetooth, такі як Bluetooth Low Energy (BLE), оптимізовані для роботи з малим споживанням енергії, що робить його популярним у пристроях з обмеженими ресурсами живлення.

Підключення до кількох пристроїв: Bluetooth підтримує підключення до кількох пристроїв одночасно, що дозволяє створювати мережі між різними гаджетами.

Сфери застосування: Bluetooth використовується для бездротових навушників, годинників, автомобільних систем, пультів дистанційного керування, а також у пристроях для здоров'я та фітнесу.

Таблиця 1.1 - Порівняння технологій бездротової передачі даних

Характеристика	Wi-Fi	ZigBee	Bluetooth
Швидкість передачі	Висока (до 1 Гбіт/с)	Низька (до 250 Кбіт/с)	Помірна (1-3 Мбіт/с)
Дальність покриття	До 100-150 м (залежно від умов)	До 100 м (при відкритому просторі)	До 100 м (залежно від класу)
Споживання енергії	Високе	Дуже низьке	Низьке (особливо BLE)
Сфера застосування	Інтернет, офісні мережі, публічні зони	Розумні будинки, промисловість	Персональні пристрої, автомобілі, фітнес

1.6 Розумний дім та автоматизація клімату

Температура повітря Температура є ключовим фактором мікроклімату, оскільки від неї залежить теплообмін організму із середовищем:

Норми температури:

- Холодна пора року: 16–24°C.
- Тепла пора року: 18–25°C.

Зниження температури нижче оптимальних меж може призвести до переохолодження та послаблення імунітету.

Підвищення температури понад 25°C викликає головний біль, зниження концентрації уваги і працездатності. Робота в умовах високої температури супроводжується сильним потовиділенням, що призводить до втрати води та електролітів.

Норми мікроклімату ДСТУ 30494-2011 визначають температуру повітря в приміщенні. У жаркий період доречна температура 22-25 °C. У холодну пору року температура трохи нижча: 20-23°C для житлових приміщень, 24-26°C для

ванної кімнати, 23-24°C для дитячих і близько 20°C для всіх інших приміщень. Додатково є також вказаний СанНіП, а це 2.1.2.2645-10. Він визначає гігієнічні нормативи мікросередовища приміщень. Однак норми температури і вологості в цих документах абсолютно ідентичні.

Застосування температурних сенсорів у IoT системах відіграє ключову роль у створенні ефективних і розумних середовищ, зокрема в сфері розумного дому та автоматизації клімату. Завдяки здатності вимірювати та передавати дані про температуру в режимі реального часу, ці сенсори сприяють підвищенню комфорту, зниженню енергоспоживання та поліпшенню загальної ефективності роботи систем управління кліматом (рис. 1.2).

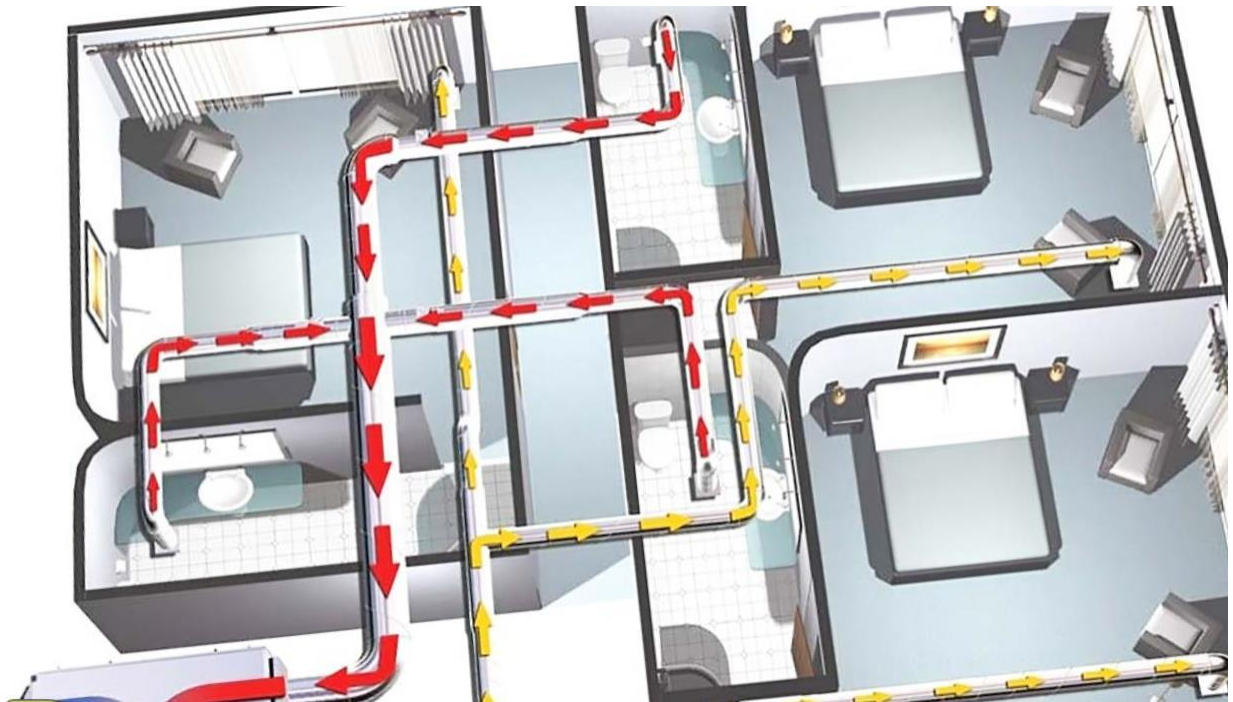


Рисунок 1.2 – Система керування мікрокліматом

В розумному домі температурні сенсори використовуються для моніторингу внутрішнього середовища та його автоматичної адаптації під потреби мешканців. Вони встановлюються у різних зонах будинку, щоб забезпечити підтримку комфортних умов у кожній кімнаті. Інтеграція сенсорів з системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) дозволяє автоматично регулювати температуру, враховуючи час доби, погодні умови або

присутність людей у приміщенні. Це не тільки забезпечує комфорт, але й оптимізує витрати енергії, що важливо для зниження рахунків за електроенергію та збереження ресурсів (рис. 1.3).

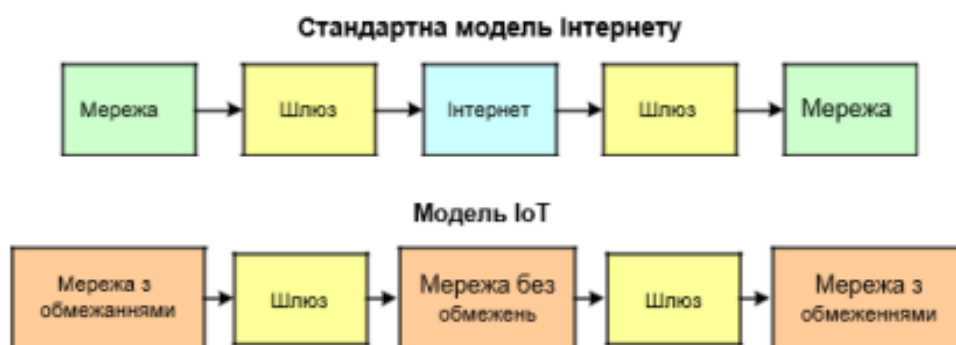


Рисунок 1.3 – Модель системи IoT

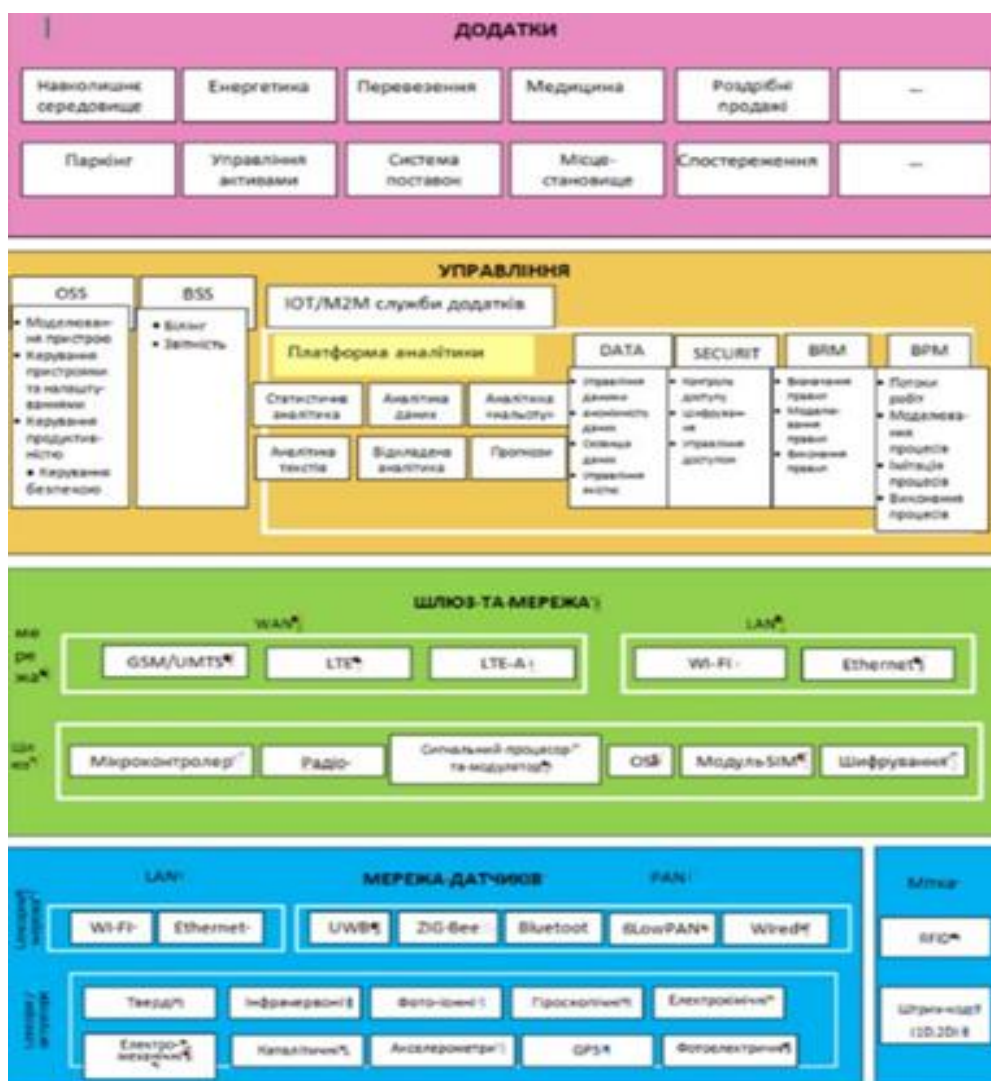


Рисунок 1.4 – Рівні IoT

Автоматизація клімату з використанням температурних сенсорів також дозволяє створювати складні сценарії управління. Наприклад, при зміні зовнішньої температури система може автоматично змінювати налаштування опалення або охолодження для збереження бажаного мікроклімату. Температурні сенсори можуть працювати разом із іншими датчиками, такими як сенсори вологості або присутності, щоб створювати більш комплексні і точні моделі управління кліматом.

Інтеграція температурних сенсорів в IoT системи розширює їх можливості завдяки підключенню до мережі Інтернет, що дозволяє віддалений моніторинг та управління через мобільні додатки або голосових асистентів (рис. 1.4). Користувачі можуть отримувати сповіщення про критичні зміни температури або контролювати системи управління кліматом з будь-якої точки світу. Це зручно не тільки для особистого використання, а й для комерційних та промислових застосувань, де точний моніторинг температури є критичним фактором.



Рисунок 1.5 – Вигляд датчика температури DS18B20

Додатковою перевагою використання температурних сенсорів у IoT системах є можливість інтеграції з іншими пристроями і технологіями, такими як системи управління освітленням або розумні вікна, що дозволяє досягти ще більшої енергоефективності та автоматизації. Наприклад, якщо температура в приміщенні перевищує встановлені межі, система може автоматично відкрити вікна або включити вентилятори для природного охолодження перед активацією кондиціонера.

У підсумку, застосування температурних сенсорів у розумних будинках і системах автоматизації клімату забезпечує зручність, економію енергії та підвищений рівень комфорту. Завдяки цим технологіям мешканці отримують можливість оптимізувати середовище свого проживання, а також впливати на споживання ресурсів та підтримувати більш стійке використання енергії.

1.7 Промислові IoT застосування

Промислові IoT (IIoT) застосування розширюють можливості підприємств, інтегруючи цифрові технології з фізичним виробництвом для створення інтелектуальних систем управління та автоматизації. Зокрема, завдяки використанню мережі підключених пристроїв підприємства можуть збирати й аналізувати величезні обсяги даних у реальному часі, що дозволяє значно підвищити ефективність і точність управління процесами. Це веде до впровадження концепції "розумного виробництва", де кожен аспект роботи підприємства оптимізується завдяки даним та аналітиці.

Моніторинг обладнання є однією з найважливіших сфер використання IoT. Завдяки встановленню сенсорів на ключових машинах і механізмах можна постійно відслідковувати їхній стан і визначати ранні ознаки несправностей, такі як вібрації, підвищена температура або зниження продуктивності. Це дозволяє здійснювати планове технічне обслуговування, запобігаючи аварійним зупинкам і значним витратам на ремонт. Зменшення простоїв та збільшення терміну служби обладнання суттєво підвищують загальну ефективність виробничих процесів та скорочують витрати на обслуговування.

Застосування IIoT виходить за рамки лише технічного обслуговування. В автоматизації процесів IoT системи дозволяють створювати гнучкі виробничі лінії, які можуть швидко адаптуватися до зміни специфікацій продукту або змін у попиті. Застосування таких рішень забезпечує високу якість продукції, завдяки постійному моніторингу параметрів процесу та автоматичному налаштуванню обладнання для підтримки оптимальних умов. Аналітичні

системи на основі штучного інтелекту у поєднанні з IoT технологіями дозволяють виробникам прогнозувати майбутні потреби, краще управляти ресурсами та зменшувати відходи.

Безпека працівників – ще один критичний аспект промислових IoT застосувань. Системи з підключеними датчиками можуть виявляти небезпечні умови, наприклад, витік газу, надмірний шум або перевищення допустимих температурних норм. У разі виявлення потенційно небезпечної ситуації, система негайно надсилає сповіщення, активує аварійні протоколи або навіть автоматично зупиняє обладнання для запобігання нещасним випадкам. Це суттєво підвищує рівень безпеки на виробництві, зменшуючи ризик травматизму та сприяючи створенню сприятливих умов праці.

Завдяки IoT підприємства також можуть значно зменшити енерговитрати, інтегруючи системи моніторингу та аналізу енергоспоживання. Це дає змогу виявляти області перевитрат енергії та оптимізувати використання енергетичних ресурсів. Використання "розумних" технологій дозволяє підприємствам контролювати екологічний вплив своєї діяльності, знижувати викиди шкідливих речовин і підтримувати відповідність міжнародним стандартам з екології.

У логістиці IoT сенсори забезпечують точне відстеження вантажів, оптимізацію маршрутів доставки та моніторинг умов транспортування. Наприклад, у випадку продуктів, що вимагають підтримки певної температури, сенсори можуть сповіщати операторів про будь-які відхилення від заданих параметрів, забезпечуючи збереження якості товарів. Така інтеграція дозволяє компаніям покращувати управління ланцюгами поставок, мінімізувати втрати і швидше реагувати на непередбачені ситуації.

Промислові IoT застосування перетворюють традиційні моделі управління, додаючи інтелектуальні інструменти, що підвищують продуктивність та безпеку. Завдяки цим технологіям підприємства стають більш гнучкими, знижують свої витрати, підвищують ефективність та сприяють сталому розвитку, що відповідає сучасним вимогам конкурентного ринку.

1.8 Висновки до розділу

Температурні сенсори є важливими елементами для систем автоматичного регулювання температури повітря приміщень і відіграють значну роль у різних сферах – від побутових до промислових застосувань. Аналогові сенсори, такі як термістори та термопари, характеризуються високою чутливістю та широким діапазоном застосування, особливо в умовах, де потрібні швидка реакція та надійність. Цифрові сенсори забезпечують високу точність і надійність передачі даних, спрощену інтеграцію та більшу стійкість до електромагнітних завад, що робить їх ідеальними для багатьох IoT-додатків, таких як розумний дім, системи моніторингу умов зберігання і промислові рішення.

Протоколи передачі даних, як провідні (I2C, SPI), так і безпроводні (BLE, Wi-Fi, LoRa), мають свої переваги та обмеження, що впливають на вибір їх використання залежно від вимог конкретного додатка. Провідні протоколи забезпечують стабільний зв'язок і ефективність передачі, тоді як безпроводні підходять для віддалених сенсорів і енергоефективних рішень. Застосування сенсорів у системах для автоматичного регулювання температури повітря приміщень дозволяє автоматизувати кліматичні умови в будинках і виробничих приміщеннях, оптимізуючи споживання енергії та забезпечуючи віддалене управління.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

2.1 Загальна структурна схема

Мікроконтролер ATmega8 має превентивне багатоканальне 10-бітне аналого-цифрове перетворення. Датчики температури DS18B20 підключаються до аналогових входів АЦП мікроконтролера. Важливо відзначити, що ATmega8 у корпусі DIP має 6 каналів АЦП, а ATmega8 у корпусі TQFP має 8 каналів АЦП.[17]

Для вимірювання температури використовуються прецизійні датчики температури DS18B20 - недорогі термочутливі компоненти, які мають діапазон від -55 до +125 градусів за Цельсієм і точністю 0,5 градуса за Цельсієм.

Розроблена структурна схема пристрою показана на рисунку 2.1.

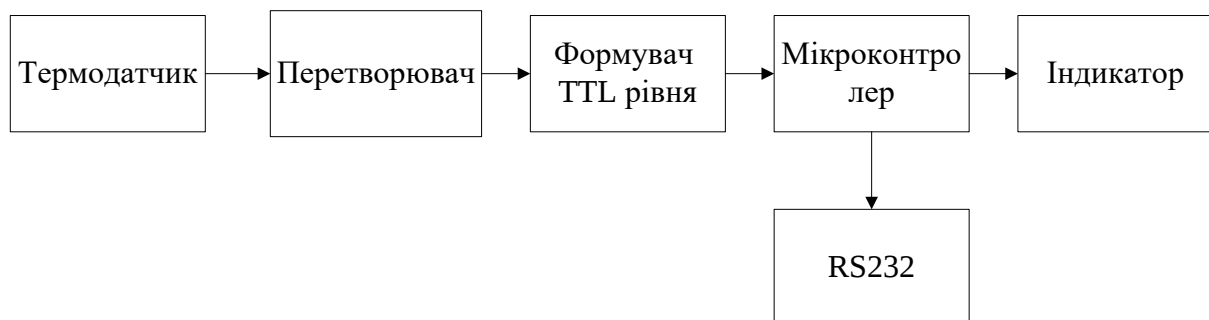


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

Пристрій складається з термодатчика, перетворювача, формувача TTL рівня, керуючого мікроконтролера та РКІ. Термодатчик являє собою термоопір який ввімкнено в подільник напруги. Біполярні транзистори VT1, VT2 і VT3 ІМС 44Н349 виконують роль перетворювача з активним індуктивним елементом. Більш детальний опис функціонування перетворювача температури буде описано в наступному підрозділі. Синосуїдальний сигнал поступає на підсилювач і формувач TTL рівня, який являє собою біполярний транзистор що працює у режимі повторювача. Основним елементом пристрою є мікроконтролер який приймає, обробляє та виводить дані на екран. Так як в

якості керуючого пристрою схеми використовується мікроконтролер сімейства AVR, то структурна схема спрощується за рахунок використання внутрішніх можливостей МК.

Основною функцією мікроконтролера є читання даних АЦП, які надсилаються ПК через протокол RS232. Частота, на якій працює мікроконтролер, вибирається кварцевим генератором 8 МГц, але також можна використовувати окремий внутрішній генератор 8 МГц. Можна використовувати будь-який мікроконтролер з архітектурою AVR, але код для програми мікроконтролера повинен бути змінений.[17]

Макетна плата AVR-USB-MEGA8 спроектована для швидкої розробки низькошвидкісних (низька швидкість) пристроїв USB на мікроконтролері Atmega8, при цьому протокол USB реалізований програмно, без використання додаткових спеціалізованих чіпів. Це рішення добре підходить для проектування таких периферійних пристроїв для комп'ютера, які не вимагають високих швидкостей обміну по шині USB (підключення датчиків, пристроїв введення, спеціалізованих програматорів для чіпів). Програмна реалізація протоколу USB значно спрощує принципову схему і знижує вартість пристрою в цілому.[18]

2.2 Вибір датчика температури

DS18B20 - це цифровий датчик температури. Він по суті являє собою мікроконтролер, який по команді вимірює температуру і повертає ці дані в цифровому вигляді.[19]

Характеристики:

1-проводний цифровий термометр з програмованим дозволом

Відмінні Особливості:

- Точність: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$.
- Регульована користувачем роздільна здатність від 9 до 12 біт.
- Дані передаються через 1-провідне послідовне з'єднання.

- 64-розрядний унікальний і не може бути змінений.
- Багатоточне читання
- Діапазон робочої напруги від 3,0 В до 5,5 В
- Варіант датчика з живленням від лінії передачі даних (DS18B20-PAR).
- TO-92, 150 mil 8-pin SOIC, або корпус 1,98 мм х 1,37 мм із кульковими клемами ($\pm 2,0$ градуси Цельсія).

Таблиця 2.1 – Параметри датчика

Тип	Інтерфейс	Точність ($\pm^{\circ}\text{C}$)	Напруга живлення (В)	Паразитне живлення	Робочий діапазон ($^{\circ}\text{C}$)	Температурні порогови ($^{\circ}\text{C}$)	Роздільна здатність (бит)	Корпуса
DS18B20	1-пров.	0.5	від 3.0 до 5.5	допустиме	від -55 до +125	2, прог., енерго-незалежне	9-12	3/TO92 8/SO.150

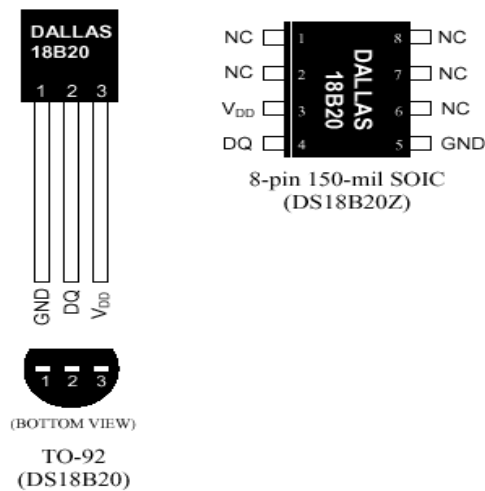


Рисунок 2.2 – Позначення виводів температурного датчика DS18B20

Мікросхема DS18B20 - це цифровий датчик температури з роздільною здатністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Дані зчитуються через 1-провідну послідовну шину в додатковому 9-12-бітному (програмованому користувачем) коді з молодшим значенням $0,5^{\circ}\text{C}$ до $0,0625^{\circ}\text{C}$.

При використанні в якості терморегулятора DS18B20 має програмовані користувачем параметри перевищення температури (TH) і зниження температури (TL) у внутрішній незалежній пам'яті (EEPROM). Внутрішній реєстр прапорів буде активовано, коли поточна позиція буде перетинана. Це буде досягнуто, коли виміряна температура буде більшою за TL або меншою за TH. Якщо температура не регулюється, можна використовувати два байти енергонезалежної пам'яті (EEPROM), призначеної для зберігання інформації загального призначення.

Кожна мікросхема DS18B20 має унікальну постійну 64-розрядну адресу, яка використовується для адресації вузла датчика. Це полегшує одночасну присутність кількох мікросхем DS18B20 на одній 1-провідній шині. Чіп DS18B20 можна живити локально від 3,0 до 5,5 вольт або його можна налаштувати для живлення через 1-провідну лінію передачі даних.

DS18B20 доступний у стилі TO-92 із товщиною 150 міліметрів, 8-вивідним SOIC і композицією кулька-вивід (перевернутий кристал) розміром 1,98 мм x 1,37 мм. Чіп на кінці кулі призначений для точності 2,0 градуса Цельсія. Для програм, яким не потрібна точна температура 0,5 градуса Цельсія, чіп DS1822 доступний зі зниженим ступенем точності 2,5 градуса Цельсія, більш доступний чіп, який повністю сумісний із TO-92 (доступний лише в SOIC). формат).

Мікросхема DS18B20 пов'язана з демонстраційним набором DS1701k.

Кожен датчик має унікальний 64-бітний код, який є унікальним для нього. Це полегшує прив'язку до конкретного датчика, якщо до лінії під'єднано декілька з них. Цей код можна вважати з датчика.

Датчик має внутрішню пам'ять, структура якої зображена на рисунку 2.3.

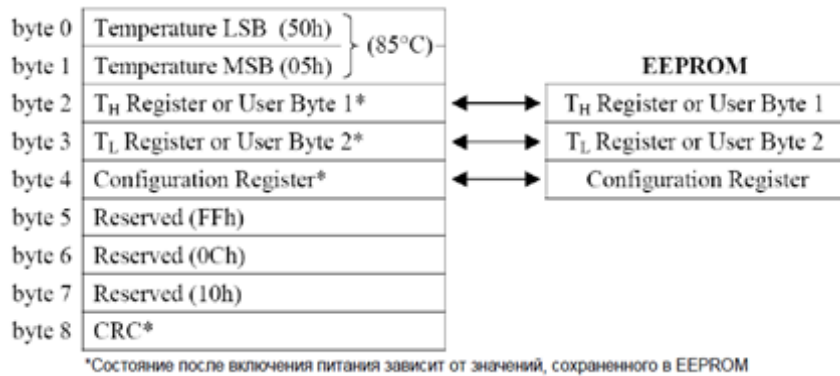


Рисунок 2.3 – Структура внутрішньої пам'яті DS18B20

За допомогою спеціальної команди всі 9 байт пам'яті можна прочитати. Вимірне значення температури зберігається в байтах 0 і 1. Байт № 4 - це конфігураційний регістр, який задає розрядність вимірювання температури. Його значення записується у внутрішній ЕЕТОМ, тому при вимиканні харчування зберігається.[20]

За умовчанням встановлена максимальна розрядність - 12 біт, що дозволяє вимірювати температуру з точністю 0,0625 градуса. Недоліком максимальної розрядності є більший час перетворення - майже 1000 мілісекунд.

Щоб датчик виміряв температуру - його потрібно штовхнути (надіслати спеціальну команду).

Після закінчення вимірювання можна прочитати результат (але не раніше, а то наслідки можуть бути не передбачуваними), пославши спеціальну команду читання внутрішньої пам'яті.

В однопроводній лінії зв'язку один майстер і один або кілька відомих. У початковому стані шина підтягнута до плюса живлення підтягуючим резистором.

Для зв'язку з відомими майстер посилає спеціальні імпульси. Існує три різновиди імпульсів:

1. Імпульс скидання
2. Імпульс записи
3. Імпульс читання

Процес зв'язку починається з посилки імпульсу скидання, який показаний на рисунку 2.4.

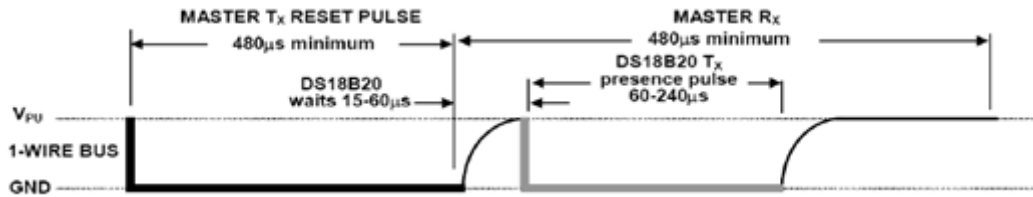


Рисунок 2.4 – Процес зв'язку

Майстер (тобто наш контролер) тягне шину до "землі" на час не менше 480 мікросекунд. Після відпускання шини, на неї знову буде одиниця. Якщо є підключений датчики, то через 15-60 мікросекунд вони повинні притягти шину до землі на час 60 ... 240 мікросекунд. Контролер може це проаналізувати - якщо імпульс присутності з'явився, значить хоча б один пристрій виявлено.

Після виявлення пристрою контролер може послати команду, що складається з 8 біт. Кожен біт передається за принципом, який показаний на рисунку 2.5.

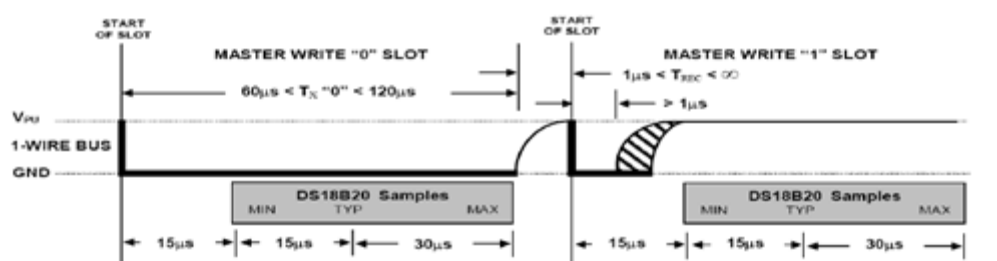


Рисунок 2.5 – Принцип передавання біту

Для посилки нульового біта контролер повинен потягнути шину до землі на час від 60 до 120 мікросекунд.

Для посилки одиничного біта - потягнути до землі на 1 мікросекунду, а потім відпустити приблизно на 60 мікросекунд. Тобто посилка одного біта тривати приблизно 60 мікросекунд.

Читання біта даних проходить за принципом, який показаний на рисунку 2.6.

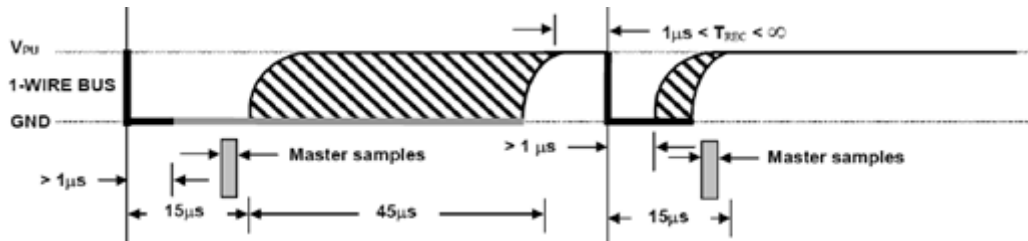


Рисунок 2.6 – Принцип читання біта даних

Контролер тягне шину до землі на 1 мікросекунду, відпускає, а через 15 мікросекунд читає шину.

Якщо датчик видає нуль, то він потягне шину до землі, інакше - буде плюс живлення. Потім потрібно почекати 45 мікросекунд.

Таким чином, прийом / передача одного байта буде тривати $8 \times 60 = 480$ мікросекунд.

Як видно, вимоги до тривалості імпульсів дуже жорсткі, і ці вимоги необхідно витримати. Якщо в контролері дозволені переривання їх необхідно заборонити хоча б на час читання / запису кожного біта, інакше зв'язок з датчиком буде дуже не стійкою.[20]

2.3 Вибір мікроконтролера

ATMega8 - це мікроконтролер, заснований на дизайні Atmel AVR. Контролер зазвичай виконує більшість команд за один цикл, що означає, що максимальна потужність контролера становить 1 MIPS на 1 МГц. Блок-схема процесора проілюстрована на рисунку 2.7.

Архітектура мікроконтролера базується на RISC, але формат команди складається лише з двох операндів, лише два регістри доступні за один цикл. Контролер має 32 регістри, які можна використовувати в обчисленнях з однаковим пріоритетом.

Основні апаратні атрибути мікроконтролера:

- 8 КБ флеш-пам'яті для команд;

- 512 байт пам'яті, що програмується за допомогою електрики;
 - 1 Кбайт постійної пам'яті;
 - 23 лінії введення/виведення, загальні для всіх цілей;
 - 32 RONA,
 - три багатоцільових таймера з режимом порівняння;
 - підтримка внутрішніх і зовнішніх пауз;
 - універсальний пульт дистанційного керування;
 - байт-орієнтований двопровідний послідовний інтерфейс зв'язку;
- 6/8-канальний АЦП з точністю 8 або 10 біт у другій або першій цифрі;
- таймер перевірки на наявність помилок;
 - послідовний порт USB;
 - розширені режими управління енергоспоживанням.
- Ядро мікроконтролера – AVR (рис. 2.7).

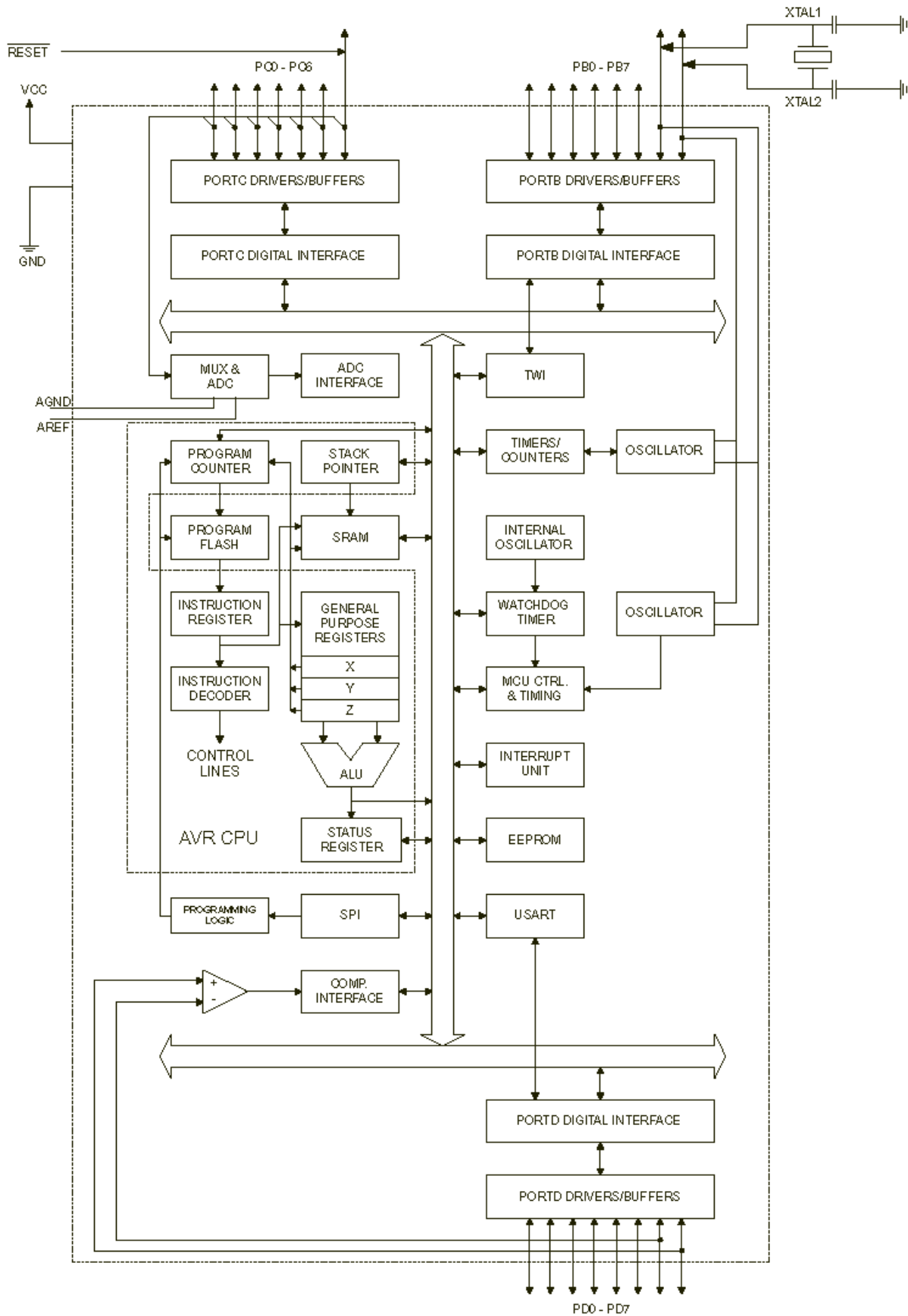


Рисунок 2.7 – Блок схема мікроконтролера

Ядро мікроконтролера відповідає за виконання програмних команд. Ядро складається з частин гарвардської архітектури, які мають власні шини, що призводить до того, що вибір інструкцій не залежить від операцій в ALP.

Старіші 6 8-розрядних регістрів утворюють 3 пари регістрів, які використовуються для адресації пам'яті - X, Y, Z.

ALU виконує логічні та числові операції між регістрами, які не обмежені законом найбільш пристосованого, а також між регістром і константою. Кожне обчислення та логічна операція встановлюватиме прапорці на значення, показане на рис. 2.8.

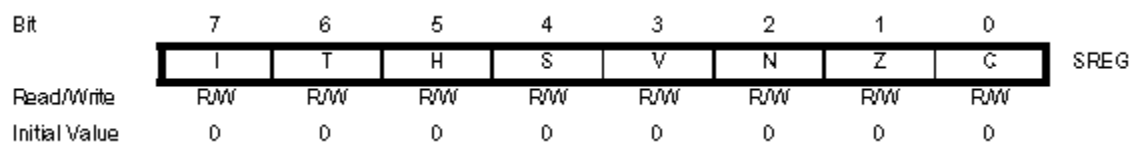


Рисунок 2.8 – Регістр прапорця контролера

I - заборонити доступ до прапора;

T - маленький прапорець - призначений для його аналізу та захисту, але це можуть зробити лише спеціальні інструкції.

H - прапорець, що вказує на додаткове перенесення з 3-го в 4-й розряд;

S - кінцевий знаковий прапор;

V - прапор, що переливається;

N - прапор негативного наслідку процедури;

Z - нульовий прапор;

C - взяти прапор.

В ALP обчислювальний стек підтримується внутрішньою статичною пам'яттю.

Склад структури файлу реєстру показано на рисунку 2.9.

	7	0	Addr.	
		R0	0x00	
		R1	0x01	
		R2	0x02	
		...		
		R13	0x0D	
		R14	0x0E	
		R15	0x0F	
General Purpose Working Registers		R16	0x10	
		R17	0x11	
		...		
		R26	0x1A	X-register Low Byte
		R27	0x1B	X-register High Byte
		R28	0x1C	Y-register Low Byte
		R29	0x1D	Y-register High Byte
		R30	0x1E	Z-register Low Byte
		R31	0x1F	Z-register High Byte

Рисунок 2.9 – Структура регістрового файлу AVR

Рисунок 2.8 демонструє, що 6 верхніх регістрів є частиною пар старших регістрів, які їх індексують. Ядро процесора, що використовує ці регістри, здатне виконувати автоматичне збільшення, автоматичне зменшення адресації та адресацію з невеликим зсувом.

Центральна частина процесора ATmega складається з кількох таймерів 0 та 1.

0-й таймер загального призначення має 10-бітний лічильник, який є 8-бітним. Крім того, він має 10-бітний дільник частоти. Таймер може створювати переривання, коли він переповнюється або коли досягає певного значення.

Перший таймер має 16-розрядний регістр. Він може бути використаний для створення сигналів із певною конфігурацією шини (наприклад, сигнал із широкою імпульсною модуляцією), генерації частот і визначення часу зовнішніх подій.

2 регістри, які відстежують значення таймера, можна комбінувати для створення пакетів із шиною як змінною. Вхідний регістр призначений для зберігання значення таймера у випадку зовнішньої події.

Таймери можуть запускатися різними сигналами, другий таймер є 8-бітним, і він може створювати частоту та інші змінні на своїй шині, він також

може створювати переривання, коли вона переповнюється, і він може досягати певного значення.

Аналоговий компаратор використовує 2 вхідних сигнали та встановлює біт порівняння на 1. Компаратор можна поєднати з таймером, щоб визначити момент, коли біт переходить до іншого значення. Усі входи можуть перемикатися між собою за допомогою мультиплексора.[7]

Область, призначена для завантажувача, зарезервована у флеш-пам'яті, ця пам'ять захищена від втрати, а також є програма, яка може бути використана для запуску виконуваних кодів через будь-який інтерфейс контролера. Природно, програміст може отримати доступ до внутрішньої флеш-пам'яті ззовні в двох різних режимах - паралельному і послідовному.

Враховуючи характеристики мікроконтролера, були обрані відповідні компоненти. Одним з пристроїв є декодер SN74LS145. Після цього ви повинні вибрати джерело живлення, яке буде відповідати характеристикам схеми.

2.4 Вибір роз'єму USB

USB (Universal Serial Bus - універсальна послідовна шина) - це послідовний протокол зв'язку для пристроїв із середньошвидкісними та низькошвидкісними периферійними компонентами. Для зв'язку використовується 4-жильний кабель, 2 провідники використовуються для отримання та передачі інформації, а 2 інших провідники використовуються для живлення периферійного пристрою. Завдяки вбудованим USB-розеткам ви можете підключати зовнішні пристрої до системи, не потребуючи власного живлення.

Базовий: склад кабелю USB складається з 4 мідних провідників - 2 провідника живлення і 2 провідника даних у витій парі, плюс заземлена оплетка (екран). Інтерфейси USB показано на малюнку 8.

Фізичні компоненти кабелю USB відрізняються для пристроїв і хостів. Можна реалізувати USB-пристрої, для яких не потрібен кабель, їх наконечник також вбудований у корпус.

Шина USB орієнтована в першу чергу, це визначення «головного пристрою» (хост, який зазвичай вбудований в мікропроцесор південного мосту на материнській платі), і «периферійних пристроїв».

Пристрої можуть отримувати живлення 5 В від шини, але їм також може знадобитися зовнішнє джерело живлення. Альтернативне живлення підтримується для пристроїв і розгалужувачів, які живляться від шини, але вони все одно можуть увімкнутися від шини.

USB здатний здійснювати підключення та відключення пристроїв. Цьому сприяє більша довжина провідника в порівнянні з сигнальними. При підключенні USB-кабелю контакти, які заземлюють кабель першими, потенціали корпусів двох пристроїв рівні, а з'єднання сигнальних провідників не призводить до перенапруг, навіть якщо пристрої живляться від різних фаз трьох-фазна електромережа.

На концептуальному рівні пристрій USB здатний виконувати дії з передачі та отримання даних. Кожен пакет у кожній транзакції має номер кінцевої точки на пристрої. Коли пристрій підключено, драйвери операційної системи зчитують список пов'язаних із ним кінцевих точок і створюють структури для зв'язку з кожною з кінцевих точок пристрою. Сукупність вихідних точок і інформаційних структур у ядрі ОС називається каналом.[21]

Кінцеві точки, а отже, і канали, належать до однієї з чотирьох категорій:

- 1) струм (маса),
- 2) регулювати,
- 3) ізохронний (isch),
- 4) підвіска (упор).

Канал для управління призначений для обміну з пристроєм короткими пакетами запитань і відповідей. Будь-який пристрій має канал керування, до якого можна отримати доступ через програмне забезпечення операційної

системи. Цей канал дозволяє читати інформацію про виробника та модель, а також підтримувати список інших пунктів призначення.

Канал, що перериває, дозволяє відправляти короткі пакети в обох напрямках, без отримання відповіді або підтвердження, але з гарантією часу доставки - пакет буде доставлений не пізніше, ніж через N мілісекунд. Наприклад, це використовується в пристроях введення, таких як клавіатури, миші або джойстики.

Ізохронний канал полегшує передачу пакетів без гарантії доставки або відповіді, але з гарантованою швидкістю N пакетів за період шини (1 кГц на низькій і повній швидкості, 8 кГц на високій швидкості). Його призначення - передача аудіо- та відеоконтенту.

Потоковий канал відповідає за доставку кожного пакету, він автоматично призупиняє передачу даних, якщо пристрій цього не хоче (буфер переповнюється або порожній), але не забезпечує швидкість або затримку доставки. Він використовується, наприклад, у принтерах і сканерах.

Час шини складається з періодів, перший період починається з пакета, який контролер видає як початок періоду. Далі протягом періоду передаються пакети переривання, потім через необхідну кількість часу передаються контрольні пакети в час, що залишився, і, нарешті, пакети потоку.

Активною стороною шини завжди є контролер, передача пакету даних від пристрою до контролера здійснюється за допомогою короткого запитання від контролера та довгої відповіді, яка містить інформацію від пристрою. Розклад руху пакетів для кожного періоду шини виходить з об'єднаних зусиль апаратного контролера та драйвера програмного забезпечення, що призводить до використання прямого доступу до пам'яті DMA (Direct Memory Access) – режиму передачі даних між пристроями або пристроєм і основної пам'яті, без участі центрального процесора. Таким чином, швидкість передачі збільшується, і дані не передаються на ЦП або назад.

Розмір пакетів у таблиці в кінці є константою, яка включена в таблицю пристрою в кінці і не може бути змінена.

Він вибраний розробником пристрою серед різноманітних підтримуваних стандартів USB.[22]

Технічні характеристики:

- Висока швидкість зв'язку (повношвидкісний бітрейт зв'язку) - 12 Мб/с
- Максимальна довжина кабелю для високошвидкісного зв'язку - 5 метрів.

Низька швидкість зв'язку (низькошвидкісний сигнал) - 1,5 Мб/с

Максимальна довжина кабелю для низькошвидкісного зв'язку - 3 метри.

- Максимальна кількість пристроїв, які можна підключати послідовно (включаючи помножувачі), становить 127.
- Є можливість підключати пристрої з різними курсами обміну.
- Користувачеві не потрібно встановлювати додаткові компоненти, такі як кілери для SCSI.
- Напруга живлення периферійних пристроїв - 5 В
- Максимальна сила струму, яку може споживати один пристрій, становить 500 мА.

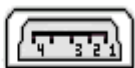
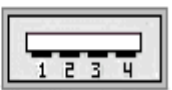
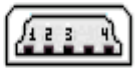
Роз'єми USB	USB A	USB B	USB mini
Вилка на кабелі			
Розетка на пристрої			

Рисунок 2.10 – Роз'єми USB

Таблиця 2.2 - Розпіновка виводів порта USB

Номер контакта	Позначення сигналу	Колір провідника
1	VBUS	Червоний
2	D-	Білий
3	D+	Зелений
4	GND	Чорний
Обплетення	Екран	Обплетення

GND - ланцюг «корпусу» для живлення периферійних пристроїв. VBUS - +5V також призначений для ланцюгів живлення. Шина D + призначена для передачі даних. Шина D- для прийому даних. Дані передаються диференційно по провідниках D- і D+ (diff0 і diff1 відповідно, в термінології офіційної документації). Стани «0» і «1» визначаються по різниці потенціалів між лініями більше 0,2 В і за умови, що на одній з ліній (D- в разі diff0 і D + при diff1) потенціал щодо GND вище 2,8 В. Диференціальний спосіб передачі є основним, але не єдиним (наприклад, при ініціалізації пристрій повідомляє хосту про режим, що підтримується пристроєм (англ. Full-Speed або англ. Low-Speed), підтягуванням однієї з ліній даних до VBUS через резистор 1,5 кОм (D- для режиму Low-Speed і D+ для режимів Full-Speed і High-Speed)).[23]

2.5 Вибір типу РКІ

Монохромний РКІ індикатор від телефонів Siemens C55/A55/A52 з роздільною здатністю 101 x 64 точки представляє собою недороге і зручне рішення, яке дозволяє економити час і ресурси при розробці широкого спектра пристроїв, при цьому забезпечує відображення великої кількості інформації при великій роздільній здатності і низькому споживанню. Можливість використання РКІ-дисплея з підсвічуванням дозволяє експлуатувати їх в умовах з пониженою або нульовою освітленістю.

Для зручного керування РКІ-модулем і забезпечення високої швидкості передачі інформації на ньому встановлений контролер PCF8812.

Для підключення РКІ-модуля з керуючою системою (мікроконтролером) використовується SPI інтерфейс передачі даних, працюючий тільки на ввід.

Послідовний периферійний інтерфейс - SPI (Serial Peripheral Interface) забезпечує високошвидкісний синхронний обмін даними між мікроконтролером Atmega8 і LCD-модулем.

На рисунку 2.11 зображено розташування виводів контролера дисплея.

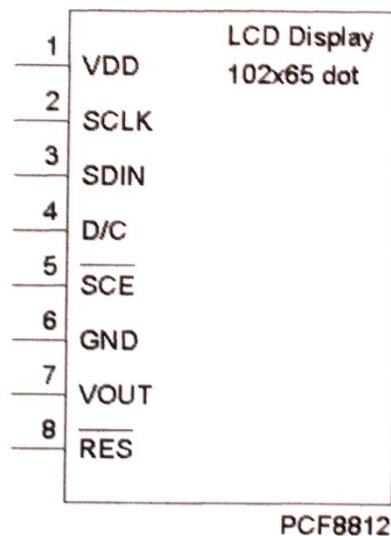


Рисунок 2.11 - Функціональні виводи контролера дисплея

2.6 Передача даних на комп'ютер по USART

Всі без виключення мікроконтролери сімейства Mega мають в своєму складі модулі універсального асинхронного/синхронного приймача/передавача даних. Модулі USART забезпечують двонаправлений обмін даними по послідовному каналу, при цьому швидкість передачі даних може змінюватись в широких межах.

Мікросхема MAX232 - це перетворювач рівнів ТТЛ (транзисторно-транзисторної логіки) в RS232 (рекомендований стандарт 232) і назад. Обладнання на базі цієї мікросхеми дозволяє обмінюватись даними різним

електронним приладам з комп'ютером. Електронна обв'язка схеми складасиві ліше з 4-х керамічних конденсаторів зображена на рисунку 2.12.

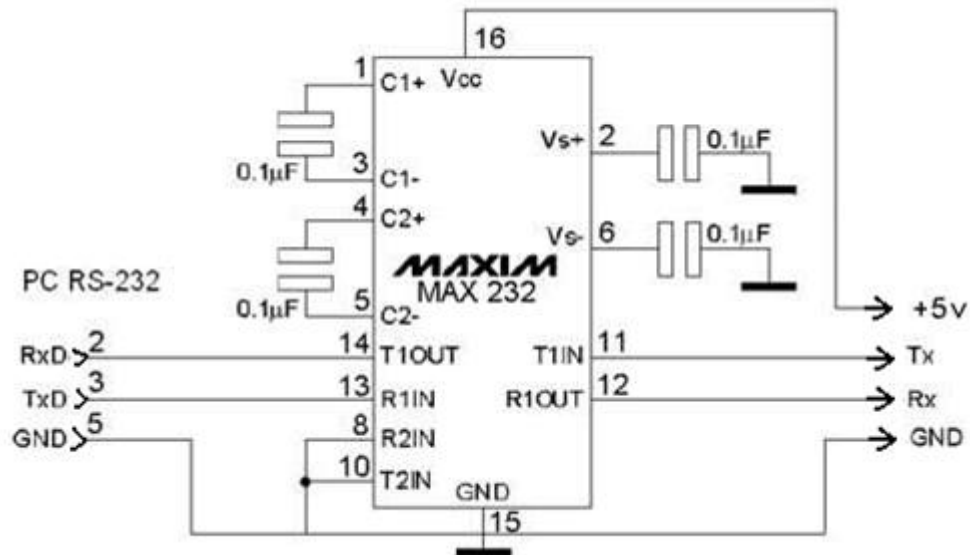
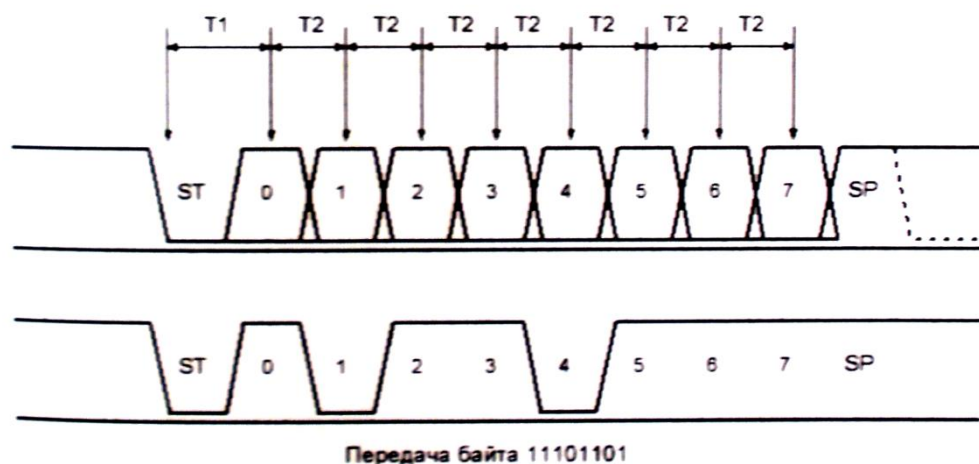


Рисунок 2.12 - Схема включення ІМС MAX232

Сукупність одного слова даних і супровідної інформації називається кадром. Кадр починається з стартового біта, за яким слідує молодший розряд слова даних. Після старшого розряду слова даних слідує один або два стопових біта. Формат кадру наведений на рисунку 2.13.



Передача байта 11101101

Рисунок 2.13 - Формат кадру

3 ЕЛЕКТРИЧНИЙ І КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗРАХУНОК БЛОКІВ ПРИСТРОЮ

3.1 Розрахунок мікроконтролера

Ми вибираємо мікроконтролер, який має такі властивості:

- Мікроконтролер з високою продуктивністю і низькою потужністю 8 біт.

Прогресивний дизайн RISC:

- 130 ефективних команд, які зазвичай виконуються за один такт, більшість команд є ефективними.

- 32 8-розрядних регістри загального призначення і мають статичний характер,

Близько 16 MIPS (на частоті 16 МГц)

Внутрішній 2-тактний повторювач

Енергонезалежне програмне забезпечення та зберігання даних:

- 8 КБ внутрішньої системної програмованої флеш-пам'яті (внутрішньосистемна самопрограмована флеш-пам'ять)

- Забезпечує 10 000 циклів запису та стирання.

- Додатковий кодовий сектор для додаткової безпеки з окремим замковим бітом

- Використовується комбінований режим читання та запису (читання під час запису).

- 512 байт EEPROM

- Забезпечує 100 000 циклів запису та стирання.

- 1 байт внутрішньої оперативної пам'яті

- Програмоване блокування, яке захищає активи програмного забезпечення користувача.

- периферійні пристрої:

- Два окремих 8-бітних таймера, один із режимом порівняння, інший із налаштуванням за замовчуванням.

Один 16-бітний таймер/лічильник, який має окрему функцію попереднього поділу та функцію порівняння.

- Лічильник реального часу з окремим джерелом живлення.

- Три канали з частотою ШІМ 3,7 МГц

- 8-розрядний пристрій аналого-цифрового перетворення (в екземплярах TQFP і MLF)

- 6 каналів з роздільною здатністю 10 біт

- 2 канали з 8-бітною точністю

- 6-канальне аналого-цифрове перетворення (у корпусі PDIP)

4 канали з роздільною здатністю 10 біт

- 2 канали з 8-бітною точністю

Байт-орієнтований 2-провідний послідовний інтерфейс зв'язку

Програмований послідовний USART

- Інтерфейс SPI з серійними номерами (master/slave).

- Програмований таймер, який виконує функцію сторожового таймера з окремим внутрішнім генератором.

- Інтегрований інструмент аналогового порівняння

Унікальні функції мікроконтролерів:

- Перезапустить джерело живлення та програмований датчик, який виявляє короткочасне падіння живлення.

Відкалібрований внутрішній генератор з RC

Внутрішні та зовнішні чинники, що порушують

- П'ять режимів зниженого споживання: режим очікування, енергозбереження, вимкнення живлення, режим очікування та зменшення шуму

АЦП

Вхід і вихід:

- 23 рядки програмованого введення та виведення.

- Пакет PDIP має 28 контактів, корпус TQFP має 32 контакти, а пакет MLF має 32 контакти.

Робоча напруга: 4,5-5,5 вольт

Робоча частота: 0 - 16 МГц

Вибраний мікроконтролер ATmega8 має напругу 4,5-5,5 В і має 32 8-розрядних регістри, що відповідає всім необхідним умовам.

3.2 Розрахунок опорного генератора

Опорний генератор приладу виконаний на IMS Atmega8, який має в своєму складі генератор, що розрахований на роботу з зовнішнім кварцовим резонатором. На рисунку 3.1 зображена схема задаючого генератора.

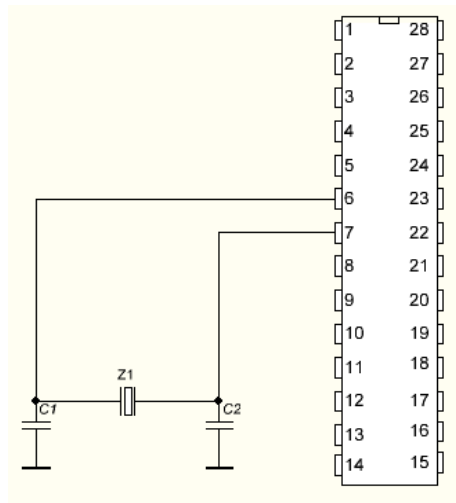


Рисунок 3.1 – Електрична схема опорного генератора

Кварцовий резонатор типу КХ-49, що представлений на рисунку, має частоту генерації 8 МГц.

Способи тактування

Канонічним способом тактування МК є підключення кварцового резонатора до відповідних висновків (рисунки 3.2, а). Ємність конденсаторів C1 і C2 в типовому випадку повинна складати 22-36 пФ (про включення кварцев див. розділ 15). У більшості моделей Tiny і Mega є спеціальний конфігураційний біт скрот, який дозволяє регулювати споживання. При встановленому в одиницю (незапрограмованих) цьому біте розмах коливань зменшується, однак при цьому звужується можливий діапазон частот і загальна завадостійкість, тому використовувати цей режим не рекомендується (див. далі).

Може бути також використаний низькочастотний кварцовий резонатор (наприклад, «часовий» 32768 Гц), при цьому конденсатори C1 і C2 можна не встановлювати, тому що при установці скрот в значення Про підключаються наявні в складі МК внутрішні конденсатори 36 пФ.[24]

Замість кварцового може бути використаний керамічний резонатор. Автору цих рядків вдалося запускати МК на нестандартних частотах, використовуючи замість кварцу в тому ж підключенні мініатюрну індуктивність (при її значенні в 4,7 мкГ і ємностях конденсаторів 91 пФ частота виходить близько 10 МГц).

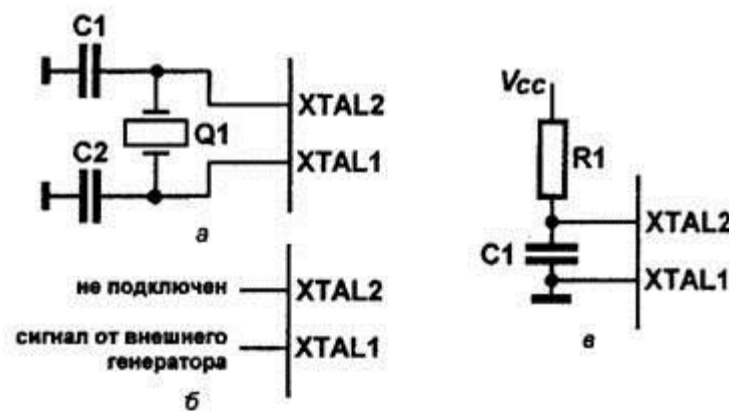


Рисунок 3.2 – Способи тактування МК AVR з використанням: а - кварцового резонатора, б - зовнішнього генератора; в - RC-ланцюжка

Природно, тактіровать МК можна і від зовнішнього генератора (рисунок 3.2, б). Особливо це зручно, коли потрібно або синхронізувати МК з зовнішніми компонентами, або мати дуже точну частоту тактирования при використанні відповідних генераторів (наприклад, серії SG-8002 фірми Epson).

Навпаки, коли точність не потрібно, можна використовувати зовнішню ЛС-ланцюжок (рисунок 3.2, в). У цій схемі ємність C1 повинна бути не менше 22 пФ, а резистор R1 вибирається з діапазону 3,3-кОм. Частота при цьому визначається за формулою $F = 2/3 RC$, C1 можна не встановлювати взагалі, якщо записати логічний нуль в конфігураційну осередок скрот, підключивши тим самим внутрішній конденсатор 36 пФ.

Нарешті, можна обійтися взагалі без якихось зовнішніх компонентів - використовувати вбудований / RC-генератор, який може працювати на чотирьох

частотах, приблизно рівних 1, 2, 4 і 8 МГц. Цю можливість найбільш доцільно використовувати в молодших моді. (1-х Tiny, що випускаються в 8-контактному корпусі-тоді висновки, призначені для підключення резонатора або зовнішнього генератора, можна використовувати для інших цілей, як звичайні порти вводу-виводу. Сімейство Classic вбудованого RC-генератора не мало.

За замовчуванням МК сімейств Tiny і Mega встановлені в стан для роботи з вбудованим генератором на частоті 1 МГц (cksel = 000i), тому для роботи в інших режимах потрібно відповідним чином встановити конфігураційні осередку cksel (див. табл. 3.1). Як це здійснити на практиці, буде розказано в главі 19, Рекомендовані значення цих осередків для звичайних резонаторів від 1 МГц і більше - всі одиниці в осередках cksel, і нуль в скрот.[25]

При установці осередків слід враховувати, що стан cksel = 0000 (дзеркальне по відношенню до найбільш часто употребляемому значенням для кварцового резонатора іііі) переводить МК в режим тактирования від зовнішнього генератора, і в цьому стані його не можна навіть запрограмувати без подання зовнішньої частоти. Також якщо ви спробуєте встановити режим з низькочастотним резонатором, то від вьюкоочастотного МК вже не запуститься, а далеко не всі програматори можуть працювати при таких низьких частотах тактирования. Тому при маніпуляціях з осередками, і не тільки cksel, потрібно бути вкрай обережним і добре уявляти, що саме ви встановлюєте. Детальніше про це йдеться в наступному розділі.

Таблиця 3.1 - Установка конфігураційних осередків CKSEL в залежності від режимів тактування

CKSEL3...0	СКРОТ	Джерело тактирования	Частота
0000	1	Зовнішня частота	0... 16 МГц
0001	1	Вбудований RC-генератор	1 МГц
0010	1	Вбудований RC-генератор	2 МГц
0011	1	Вбудований RC-генератор	4 МГц
0100	1	Вбудований RC-генератор	8 МГц

Продовження таблиці 3.1 - Установка конфігураційних осередків CKSEL в залежності від режимів тактування

0101	X	Зовнішня RC-ланцюжок	< 0,9 МГц
0110	X	Зовнішній RC-ланцюжок	0,9—3,0 МГц
0111	X	Зовнішній RC-ланцюжок	3,0—8,0 МГц
1000	X	Зовнішній RC-ланцюжок	8,0—12 МГц
1001	X	Низькочастотний резонатор	32 768 кГц

Паралельні порти вводу / виводу

Портів вводу-виводу (повторимо, що їх не слід плутати ні з регістрами введення-виведення, ні з послідовними портами МК для обміну інформацією з зовнішніми пристроями) в різних моделях може бути від 1 до 7. Номінально порти 8-розрядні, в деяких випадках розрядність обмежена числом висновків корпусу і може бути менше восьми. Порти позначаються буквами А, В, С, D і т. д., причому необов'язково по порядку: в молодших моделях можуть існувати, наприклад, тільки порти В і D (як у ATtiny2313) або взагалі тільки один порт В (як в ATtinyLx).

Для скорочення числа контактів корпусу в переважній більшості випадків зовнішні висновки, відповідні портам, крім своєї основної функції (двунаправленого введення / виводу) несуть також і додаткову. Зазначимо, що 'окрім як для виведення Reset, якщо він може працювати в альтернативному режимі, ніякого спеціального перемикання висновків портів не потрібно. Якщо ви, приміром, у своїй програмі ініціалізієте послідовний порт UART, то відповідні висновки порту (наприклад, в ATmega8335 це висновки порту PDO і PD1) будуть працювати саме в альтернативній функції, як введення і виведення UART. При цьому в проміжках між таким спеціальним використанням висновків їх можна в принципі використовувати, як звичайні двонаправлені висновки. На практиці доводиться застосовувати схмотехнічні заходи для ізоляції функцій один від одного, тому зловживати цією можливістю не рекомендується.

Висновки портів в достатній мірі автономні, і їх режим може встановлюватися незалежно один від одного. За замовчуванням при включенні харчування всі додаткові пристрої відключені, а порти працюють на вхід, причому знаходяться в третьому стані з високим імпедансом (тобто з високим вхідним опором). Робота на вихід вимагає спеціальної вказівки, для чого в програмі потрібно встановити відповідний потрібного висновку біт в регістрі напрямки даних (цей регістр позначається `DDRx`, де `x` - буква, що позначає конкретний порт, наприклад для порту `A` це буде `ddra`). Якщо біт скинутий (тобто дорівнює логічному нулю), то висновок працює на вхід (як за замовчуванням), якщо встановлений (тобто дорівнює логічній одиниці) - то на вихід.

Для установки виходу в стан одиниці потрібно окремо встановити відповідний біт у регістрі даних порту (позначається `portx`), а для установки в `O` - скинути цей біт. Напрямок роботи виводу (вхід-вихід, реєстр `DDRx`) і його стан (`O-1`, `portx`) плутати не слід.

Регістр даних `portx` фактично є просто вихідний буфер, все, що в нього записується, тут же виявляється на виході. Але якщо встановити висновок порту на вхід (тобто записати в регістр напрямку `ddrx` логічний нуль), як це зроблено за замовчуванням, то регістр даних `portx` гратиме дещо іншу роль - установка його розрядів в нуль означає, що вхід знаходиться в третьому стані з високим опором, а установка в одиницю підключить до висновку «підтягаючий» (pull-up) резистор опором 35-120 кОм.

Вбудованого pull-up-резистора в більшості випадків виявляється недостатньо для надійної роботи - через наведень МК може давати збої, і краще встановлювати додатковий зовнішній резистор паралельно цьому внутрішньому, з опором від 1 до 5 кОм (в критичних по відношенню до споживання випадках його величину можна збільшити до 20-30 кОм). Наприклад, якщо ви підключаєте до входу виносну кнопку з двома висновками, яка комутується на «землю», або висновок працює на «загальну шину» з віддаленими (що знаходяться на іншій платі) пристроями, або висновок

здійснює функцію зовнішнього переривання (див. далі), то такий додатковий резистор слід підключати обов'язково.

Процедура читання рівня на виведення порту, якщо він знаходиться в стані роботи на вхід, не зовсім тривіальна. Виникає спокуса прочитати дані з регістра даних `portx`, але це нічого не дасть - ви прочитаєте тільки те, що там записано вами ж раніше. А для читання того, що дійсно є на вході (безпосередньо на виводі мікросхеми) передбачена інша можливість. Для цього потрібно звернутися до деякого масиву, який позначається `pinx`. Звернення здійснюється так само, як і до окремих бітам звичайних РВВ (див. главу 19 \ але `pinx` не є регістр, це просто якийсь діапазон адрес, читання по яким надає доступ до інформації з буферних елементів на вході порту. Записувати небудь за адресами `pinx`, природно, не можна.

3.3 Електричний розрахунок частотного перетворювача температури

В мікросхемі 44Н349 реалізовано частотний перетворювач температури на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом. Виконання температурного радіовимірювального перетворювача у вигляді інтегральної схеми потребує застосування плівкової технології для виготовлення пасивного індуктивного елемента у вигляді спіралі, проте її добротність маг, невелике значення і, по-друге, її розміри на частотах до 10^6 Гц несумісні з розмірами інтегральної схеми перетворювача. Тому для вирішення цієї проблеми було запропоновано використати індуктивний характер повного опору біполярного транзистора з RC-колом, яке легко виконується у вигляді інтегральної схеми. Отже, схема радіовимірювального перетворювача температури з активним індуктивним елементом показана на рисунку 3.3. Біполярні транзистори VT1, VT2 і VT3 (КТ368БМ та КТ363БМ) реалізують генератор електричних коливань, в якому коливальний контур утворений ємнісною складовою повного опору на електродах колектор-колектор біполярних транзисторів VT1 і VT2 та

індуктивною складовою повного опору на електродах емітер-колектор біполярного транзистора VT3[8].

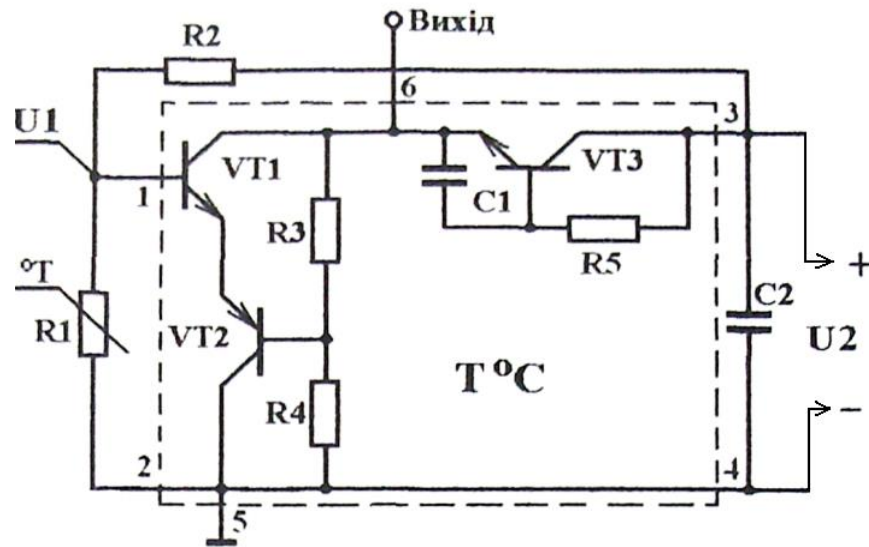


Рисунок 3.3 - Електрична схема частотного перетворювача температури на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом

Таким чином, при дії температури на термоопір $R1$ змінюється як ємність, так і індуктивність коливального контуру генератора, що значно підвищує чутливість і точність вимірювання температури, при цьому така схема перетворювача реалізована у вигляді інтегральної схеми.

Залежність реактивної складової від температури для структури з напівпровідниковим термоопором ММТ-1 зображена на рисунку 2.8.

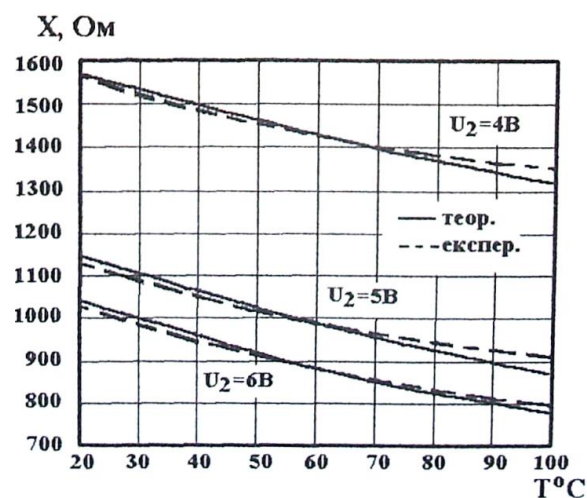


Рисунок 3.4 - Залежність реактивної складової від температури для перетворювача з напівпровідниковим термоопором ММТ-1

Вибір методу підрахунку частоти сигналу перетворювача температури та обґрунтування похибок які він забезпечить

Принцип дії підрахунку частоти сигналу, що формується у перетворювачі температури, заснований на підрахунку кількості імпульсів за певний інтервал часу. Інтервал часу виміру також задається методом підрахунку імпульсів, узятих з внутрішнього генератора мікроконтролера або із зовнішнього джерела, наприклад стандарту частоти).

Точність виміру приладу залежить від точності еталонної частота і наближається до похибки кварцу.

На рисунку 3.5 зображено часові діаграми які пояснюють принцип підрахунку частоти

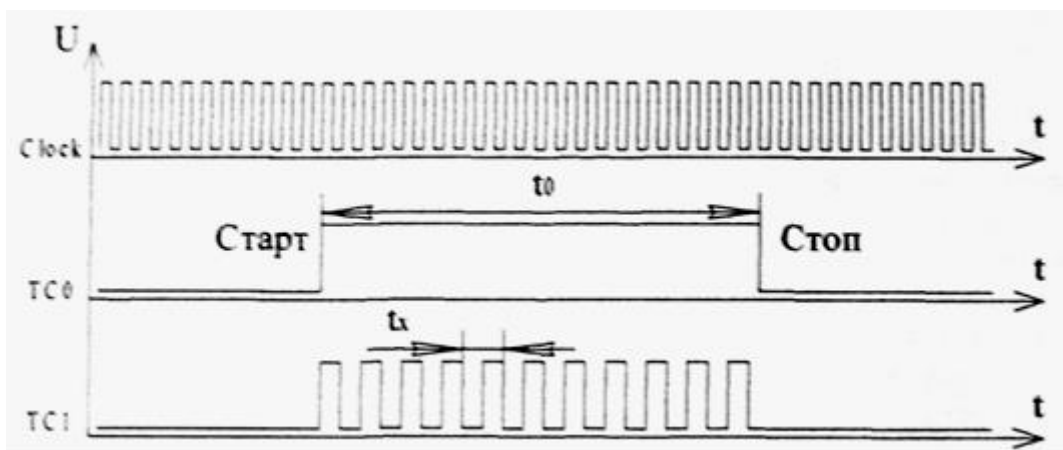


Рисунок 3.5—Часові діаграми частотоміру

Кількість імпульсів невідомої частота які підраховує таймер/лічильник 1 за час t_0 визначається за формулою

$$N_i = \frac{t_0}{T_x} = t_0 \cdot f_x [imn], \quad (3.1)$$

де f_x - частота вхідного сигналу;

T_x - період вхідного сигналу.

Отже, як бачимо, для підрахунку частота найкраще використовувати метод, який використовується у звичайних цифрових частотомерах.

3.4 Функція перетворення та чутливість частотного перетворювача температури

Еквівалентна схема перетворювача, яка містить елементи, що залежать від дії температури показана на рисунку 3.6. Значення параметрів елементів еквівалентної схеми для теоретичних розрахунків отримано з [2, 3].

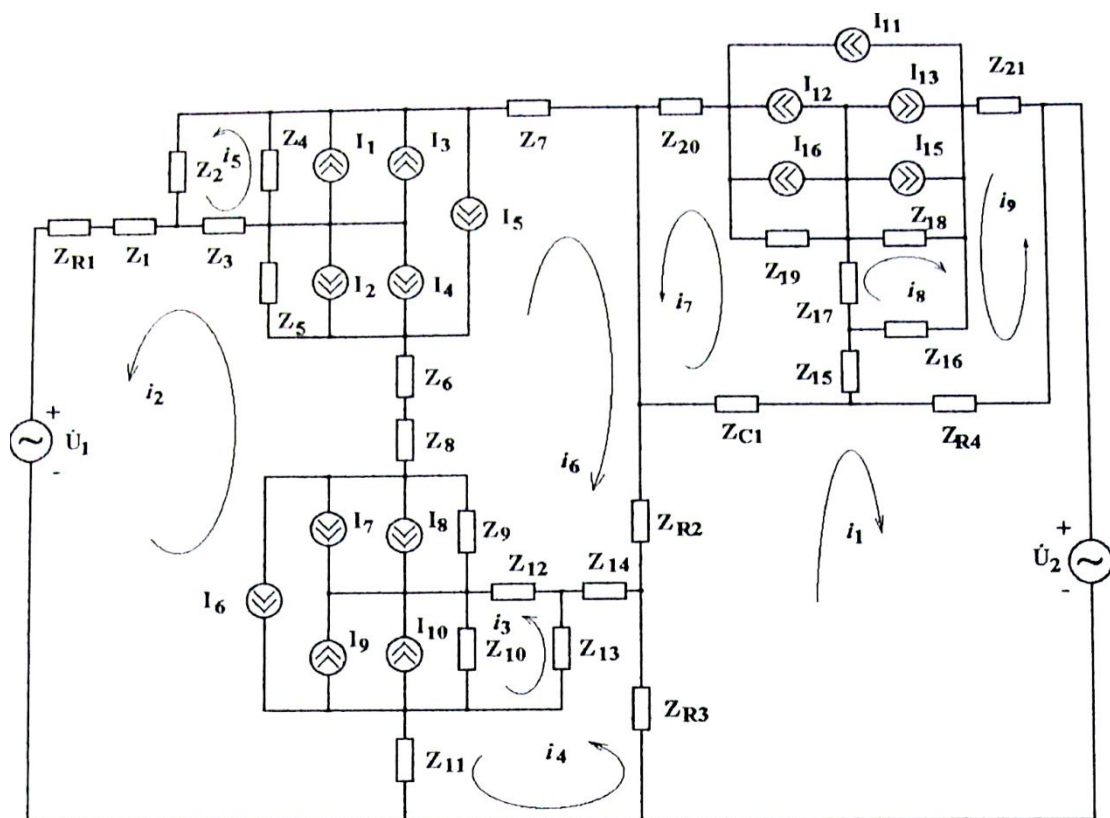


Рисунок 3.6 - Еквівалентна схема частотного перетворювача температури на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом

Система рівнянь Кірхгофа, згідно з рисунку 3.2, має вигляд

$$\begin{aligned}
U_2 &= (Z_{R3} + Z_{R2} + Z_{C1} + Z_{R4})i_1 + Z_{R3}i_4 - Z_{R2}i_6 + Z_{C1}i_7 + Z_{R4}i_9, \\
U_1 &= (Z_{R1} + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_5 + Z_6 + Z_8 + Z_9 + Z_{10} + Z_{11})i_2 - Z_3i_5 - Z_3i_1 - Z_3I_3 + Z_3I_5 + Z_5I_2 + Z_5I_4 + \\
&+ Z_5I_5 + Z_5i_6 + Z_6i_6 + Z_8i_6 + Z_9i_6 + Z_9I_8 + Z_9I_7 + Z_9I_6 - Z_{10}i_3 - Z_{10}I_{10} - Z_{10}I_9 + Z_{10}I_6 - Z_{11}i_4, \\
0 &= (Z_{10} + Z_{13} + Z_{12})i_3 - Z_{10}i_2 + Z_{10}I_{10} + Z_{10}I_9 - Z_{10}I_6 - Z_{13}i_4 - Z_{13}I_{10} - Z_{13}I_9 + Z_{13}I_6 + \\
&+ Z_{12}i_6 - Z_{12}I_{10} - Z_{12}I_9 + Z_{12}I_6, \\
0 &= (Z_{R3} + Z_{14} + Z_{13} + Z_{11})i_4 + Z_{R3}i_1 + Z_{14}i_6 - Z_{13}i_3 + Z_{13}I_9 + Z_{13}I_{10} - Z_{13}I_6 - Z_{11}I_2, \\
0 &= (Z_3 + Z_4 + Z_2)i_5 - Z_3i_1 + Z_3I_1 + Z_3I_3 - Z_3I_5 + Z_4i_6 - Z_4I_1 - Z_4I_3 + Z_4I_5 + Z_2I_1 + Z_2I_3 - Z_2I_5, \\
0 &= (Z_{R2} + Z_{14} + Z_{12} + Z_9 + Z_8 + Z_6 + Z_5 + Z_4 + Z_7)i_6 - Z_{R2}i_1 + Z_{14}i_4 + Z_{12}i_3 - Z_{12}I_9 - Z_{12}I_{10} + Z_{12}I_6 + \\
&+ Z_9i_2 + Z_9I_8 + Z_9I_7 + Z_9I_6 + Z_8i_2 + Z_6i_2 + Z_5i_2 + Z_5I_4 + Z_5I_2 + Z_5I_5 + Z_4i_5 - Z_4I_1 - Z_4I_3 + Z_4I_5, \\
0 &= (Z_{C1} + Z_{15} + Z_{17} + Z_{19} + Z_{20})i_7 + Z_{C1}i_1 - Z_{15}i_9 + Z_{17}i_8 - Z_{17}I_{11} + Z_7I_{13} + Z_7I_{15} - \\
&- Z_{19}I_{14} - Z_9I_{12} - Z_{19}I_{11}, \\
0 &= (Z_{18} + Z_{17} + Z_{16})i_8 - Z_{18}I_{13} - Z_{18}I_{15} + Z_{18}I_{11} + Z_{17}i_7 + Z_{17}I_{15} + Z_{17}I_{13} - Z_{17}I_{11} + \\
&+ Z_{16}i_9 + Z_{16}I_{15} + Z_{16}I_{13} - Z_{16}I_{11}, \\
0 &= (Z_{21} + Z_{16} + Z_{15} + Z_{R4})i_9 + Z_{16}i_8 + Z_{16}I_{15} + Z_{16}I_{13} - Z_{16}I_{11} - Z_{15}i_7 + Z_{R4}i_1,
\end{aligned}
\tag{3.1}$$

де:

$$\begin{array}{lll}
I_1 = I_{bc2}(T); & & I_3 = I_{bc1}(T) / \beta_R(T); \\
I_4 = I_{bc1}(T) / \beta_F(T); & I_2 = I_{be2}(T); & I_1 = I_{10} = I_{15}; \\
I_2 = I_8 = I_{14}; & I_5 = (I_{be1}(T) - I_{bc1}(T)) / Q; & I_4 = I_7 = I_{12}; \\
I_2 = I_6 = I_{11}; & I_3 = I_9 = I_{13}; & Z_{R2} = R_2; \\
Z_1 = R'_b + j\omega L_b; & Z_{R13} = R_1; & Z_3 = R_{bb}(T); \\
Z_4 = -j / \omega C_{jbc}(T); & Z_2 = -j / \omega C_{bx}(T); & Z_6 = R'_e + R_e(T) + j\omega L_c; \\
Z_7 = R'_c + R_c(T) + j\omega L_c; & Z_5 = -j / \omega C_{jbe}(T); & Z_2 = Z_{13} = Z_{16}; \\
Z_3 = Z_{12} = Z_{17}; & Z_1 = Z_{14} = Z_{15}; & Z_5 = Z_9 = Z_{19}; \\
Z_{R3} = R_3; & Z_4 = Z_{10} = Z_{18}; & Z_7 = Z_{11} = Z_{21}. \\
& Z_6 = Z_8 = Z_{20};
\end{array}$$

Розв'язання системи рівнянь (3.1) проведено числовим методом на персональному комп'ютері типу "Pentium". Вплив температури на еквівалентні ємність та індуктивність коливального контуру передається через зміну параметрів елементів еквівалентної схеми, тому функція перетворення описується рівнянням

$$F_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2(C_{jbe}(T) + C_{jbc}(T))}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)L_{\hat{a}\hat{e}\hat{a}}(\hat{O})}} \pi \tag{3.2}$$

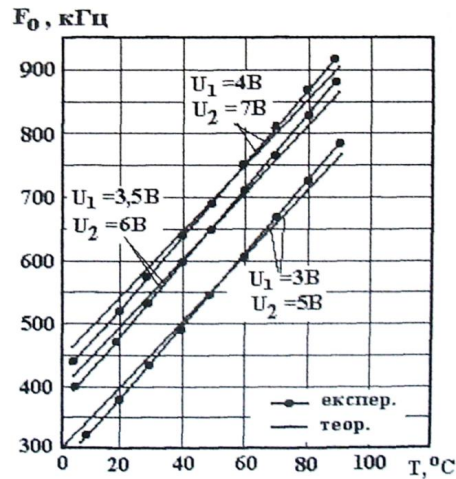


Рисунок 3.7 - Теоретичні і експериментальні залежності частоти генерації від температури

Чутливість радіовимірювального перетворювача температури з активним індуктивним елементом визначається на основі (3.2)

$$S_T = \frac{\sqrt{2}}{4} \left(\frac{\frac{\partial C_{jbe}(T)}{\partial T} + \frac{\partial C_{jbc}(T)}{\partial T}}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)L_{екв}(T)} - \frac{A_1 \left(\frac{\partial C_{jbe}(T)}{\partial T} \right)}{C_{jbe}(T)^2 C_{jbc}(T)L_{екв}(T)} - \frac{A_1 \left(\frac{\partial C_{jbc}(T)}{\partial T} \right)}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)L_{екв}(T)} - \frac{A_1 \left(\frac{\partial L_{екв}(T)}{\partial T} \right)}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)^2 L_{екв}(T)} \right) / \pi \sqrt{\frac{2(C_{jbe}(T) + C_{jbc}(T))}{C_{jbe}(T)C_{jbc}(T)L_{екв}(T)}} [Гц / ^\circ C] \quad (3.3)$$

де $A_1 = C_{jbe}(T) + C_{jbc}(T)$.

Теоретична і експериментальна залежності частота генерації від температури показані на рисунку 3.8. Чутливість частотного перетворювача температури складає 5 кГц/°C (рисунок 3.9) [3].

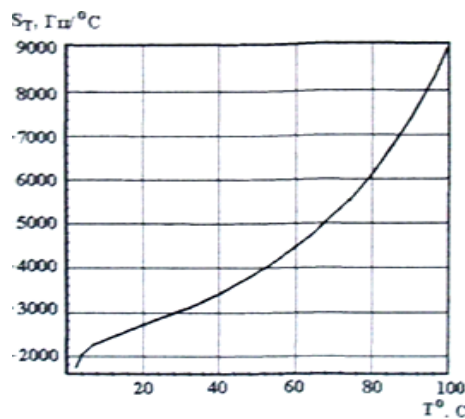


Рисунок 3.8 - Залежність чутливості перетворювача з активною індуктивністю від температури

Для забезпечення перетворювача потрібним режимом роботи необхідно на U_1 та U_2 подати напругу 3 і 5 В відповідно. Напруга U_2 сформована блоком живлення. Щоб отримати 3 В використаємо подільник напруги, в який ввімкнено термоопір (див. рисунок 3.5).

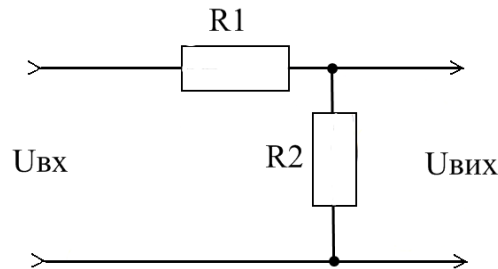


Рисунок 3.9 – Подільник напруги

Початкові дані $U_1=5$ В; $U_2=3$ В.

Середній опір терморезистора R_2 складає 1кОм, тоді знайдемо R_1 з формули (3.4)

$$U_{вих} = \frac{U_{вх} \cdot R_2}{R_1 + R_2} [В],$$

$$R_1 = \frac{U_{вх} \cdot R_2}{U_{вих}} - R_2 [Ом]$$

Отже

$$R_1 = \frac{5 \cdot 1000}{3} - 1000 = 667 (Ом).$$

З ряду номінальних значень резисторів вибираємо 680 Ом.

3.5 Формувач ТТЛ рівня

Для надійності реєстрації які надходять з схеми перетворювача на мікроконтролер потрібно сформувати ТТЛ рівень. В якості формувача ТТЛ рівня використовується одно каскадний підсилювач, який реалізований на високочастотному біполярному транзисторі (КТ368А) n-p-n типу. Електрична принципова схема такого підсилювача зображена на рисунку 3.10.

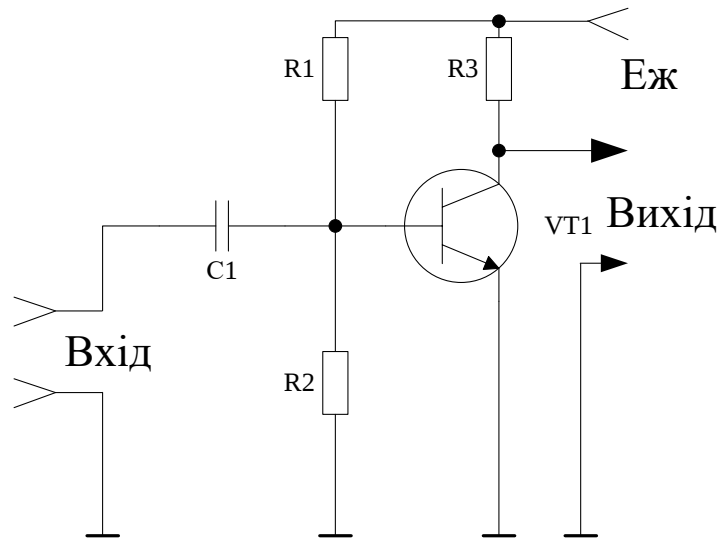


Рисунок 3.10 — Електрична принципова схема однокаскадного підсилювача

Електричний розрахунок формувача ТТЛ рівня.

Вхідні дані для розрахунку:

- максимальна і мінімальна частоти $F_H, F_B - 300 \text{ кГц} \dots 2 \text{ МГц}$;
- частотні спотворення каскаду в області НЧ і ВЧ M_H, M_B - не більше 2,5 дБ.
- Амплітудне значення вхідного струму наступного каскаду $I_{\text{max.вх.н.}} - 1,0$ мкА
- Вхідний опір за змінною складовою наступного каскаду $R_{\text{н.вх.}} - 10 \text{ Ом}$;
- Вхідна ємність наступного каскаду $C_{\text{н.вх.}} - 2 \text{ пФ}$.
- Напруга живлення $U_{\text{жс}} = +5 \text{ В}$;

Розрахунок крутості транзистора S проводиться по формулі (3.5)

$$S = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{BE}} [A / B], \quad (3.5)$$

де ΔI_K і ΔU_{BE} визначаються по характеристикам транзистора.

Отже, $\Delta I_K = 4 \text{ мА}$, $\Delta U_{BE} = 0,6 \text{ В}$.

$$S = \frac{4}{0,62} = 6,5 \approx 7(A/B).$$

Тоді визначаємо величину напруги

$$\begin{aligned} E'_K &= (0,8 \dots 0,9) E_K [B], \\ E'_K &= 0,9 \cdot 5 = 4,5(B). \end{aligned} \quad (3.6)$$

Перевіряємо правильність вибору транзистора.

Для його нормальної роботи необхідно, щоб

$$\begin{aligned} U_{K.дон.} &> E'_K, \\ U_{K.дон.} &= 5B. \end{aligned}$$

Отже

$$\begin{aligned} 5B &> 4,5, I_{Kдон} > (1,5 \dots 2) I_{M.вих.м} \\ 1,5 \cdot 1,0 мкА &= 1,5(мкА), \\ I_{Kдон} &= 30 мА. \end{aligned}$$

Визначимо величину струму спокою колектора I_{K0} .

$$\begin{aligned} I_{K0} &> 1,4_{M.вх.м} [мкА], \\ I_{K0} &> 1,4 \cdot 1,0 = 1,4(мкА). \end{aligned} \quad (3.7)$$

Таж, як для малопотужні транзисторів ця величина вибирається в межах $0,5 \dots 2 мА$, то $I_{K0} = 0,7 мА$.

Визначаймо величину опору колекторного навантаження

$$\begin{aligned} R_H &= \frac{0,4 \cdot E'_K}{I_{K0}} [Ом], \\ R_H &= \frac{0,4 \cdot 1,5}{0,0007} = 2143(Ом). \end{aligned} \quad (3.8)$$

Визначимо напругу між колектором та емітером

$$\begin{aligned} U_{K0} &= 0,5 U'_K [B], \\ U_{K0} &= 0,5 \cdot 9 = 4,5(B). \end{aligned} \quad (3.9)$$

На вихідній характеристиці транзистора $I_B = f(U_{BE})$, по відповідному струму I_{B0} визначимо напругу U_{B0} , а також вхідний опір біполярного транзистора в робочій зоні - $R_{вх} I_{B0} = 45(мкА); U_{B0} = 0,75(B)[14]$

$$R_{BX} = \frac{U_{B0}}{I_{B0}} [Ом], \quad (3.10)$$

$$R_{BX} = \frac{0,75}{45 \cdot 10^{-6}} = 16,7 \cdot 10^3 (Ом).$$

Визначаємо струм базового подільника $I_D = (3...10)I_B$, та величини опорів базового подільника R_{B1}, R_{B2} та їх тип

$$\begin{aligned} I_D &= 9 \cdot I_{K0} [мкА], \\ I_D &= 9 \cdot 45 = 405 \cdot 10^{-6} (А) \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} R_{B1} &= \frac{E'_K - U_{B0}}{I_{B0} + I_D} [Ом] \\ R_{B1} &= \frac{9 - 0,75}{405 \cdot 10^{-6} + 45 \cdot 10^{-6}} = 18,3 (кОм) \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} R_{B2} &= \frac{U_{B0}}{I_D} [Ом], \\ R_{B2} &= \frac{0,75}{405 \cdot 10^{-6}} = 1,9 (кОм). \end{aligned} \quad (3.14)$$

Знайдемо значення конденсатора С1 за формулою (3.14)

$$\begin{aligned} C &\geq \frac{100}{2\pi \cdot f_{n1} \cdot R2} [мкА] \\ C &= \frac{100}{2\pi \cdot 300 \cdot 10^3 \cdot 18,3 \cdot 10^3} = 18,2 (нФ), \end{aligned} \quad (3.14)$$

Визначаємо коефіцієнти підсилення каскаду.

За напругою

$$\begin{aligned} K_U &= S \cdot R_{\Sigma} [раз], \\ R_{\Sigma} &= \frac{R_H \cdot R'_{BX}}{R_H + R'_{BX}} [Ом], \\ R_{\Sigma} &= \frac{5,1 \cdot 10}{5,1 + 10} = 3,38 (Ом). \end{aligned} \quad (3.15)$$

Отже

$$K_U = 7 \cdot 3,38 = 23,66 (раз).$$

За струмом

$$K_I = K_U \cdot \frac{R'_{BX.H.}}{R_{\Sigma}} [раз], \quad (3.16)$$

$$R'_{\text{ex.н.}} = \frac{R_{\text{ex}} \cdot R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{BX} \cdot R_{B1} + R_{BX} \cdot R_{B2} + R_{B1} \cdot R_{B2}} [Ом], \quad (3.17)$$

$$R'_{\text{ex.н.}} = \frac{16,7 \cdot 18 \cdot 2}{16,7 \cdot 18 + 16,7 \cdot 2 + 18 \cdot 2} (Ом).$$

Отже, за формулою (3.15)

$$K_I = 202,6 \cdot \frac{1,6}{3,39} = 96 (раз).$$

За потужністю

$$K_P = K_U \cdot K_I [раз] \quad (3.18)$$

$$K_P = 23,66 \cdot 96 = 2271,36 (раз).$$

Визначимо частотні спотворення каскаду в області ВЧ

$$M_{\text{вБТ}} = \sqrt{1+m^2} [\partialБ], \quad (3.19)$$

$$m = \frac{F_B}{f_s} = \frac{900}{630} = 1,4 (\partialБ),$$

де

$$M_{\text{вБТ}} = \sqrt{1+1,4^2} \approx 1,4 (\partialБ).$$

Отже

$$M_{\text{сСХ}} = \sqrt{1+(6,28 \cdot F_B \cdot C_0 \cdot R_{\Sigma})^2} [\partialБ],$$

$$M_{\text{сСХ}} = \sqrt{1+(6,28 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 13,7 \cdot 10^{-12} \cdot 3,38 \cdot 10^3)^2} = 1,7 (\partialБ)$$

$$M_{\text{вРозр}} = M_{\text{вБТ}} \cdot M_{\text{сСХ}};$$

$$M_{\text{вРозр}} = 1,4 \cdot 1,7 = 2,38 \leq M_B = 2,5 (\partialБ).$$

Отже, як бачимо отримане розрахункове значення частотних спотворень не перевищує заданого.

Транзистор VT1 працює в ключовому режимі, для того, щоб забезпечити на виході сигнал з амплітудою напруги живлення (5В). Для більшого розуміння принципу дії схеми на рисунках 3.11 і 3.12 приведені осцилограми вхідного і вихідного сигналів.

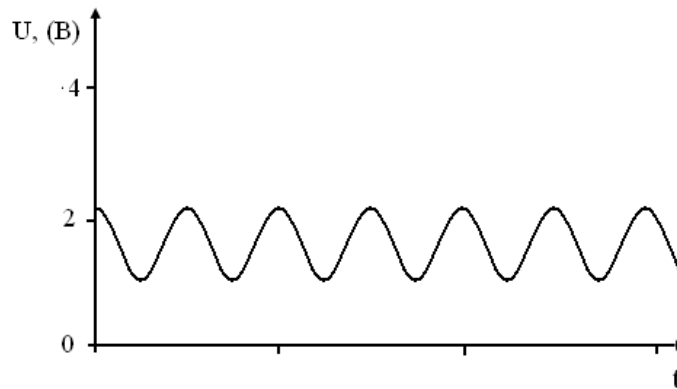


Рисунок 3.11 - Осцилограма вихідного сигналу

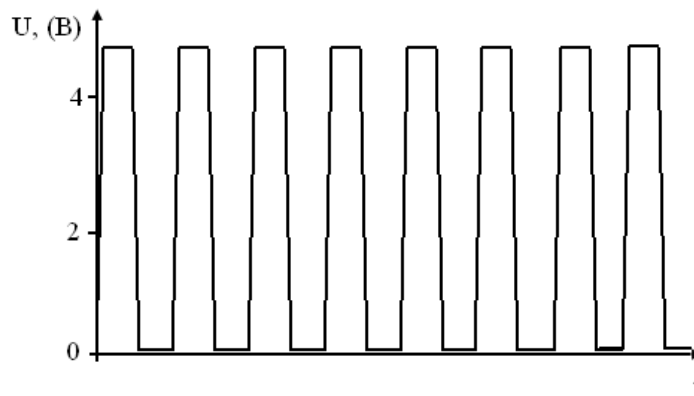


Рисунок 3.12 - Осцилограма вихідного сигналу

У якості джерела живлення доцільно використати трансформаторний блок живлення з вихідною напругою ± 5 В.

Розрахуємо загальний струм, споживаний від джерела живлення

$$I_{\text{спож}} = I_{\text{мікр}} + I_{\text{пер}} + I_{\text{PKI}} + I_{\text{RS232}} + I_{\text{ТТЛ}} [A]. \quad (3.20)$$

За виразом (3.20) отримаємо

$$I_{\text{спож}} = 5 + 4 + 1 + 3 + 2 = 15 \text{ (mA)}.$$

Потужність джерела з урахуванням запасу має спадати

$$P_{\text{дж}} = K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{спож}} \cdot U_{\text{ж}} [Bm]. \quad (3.21)$$

За виразом (3.21)

$$P_{\text{дж}} = 2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0,15 (Bm). \text{ В якості джерела живлення обрано батарею}$$

"Крона" з виходам 9 В.

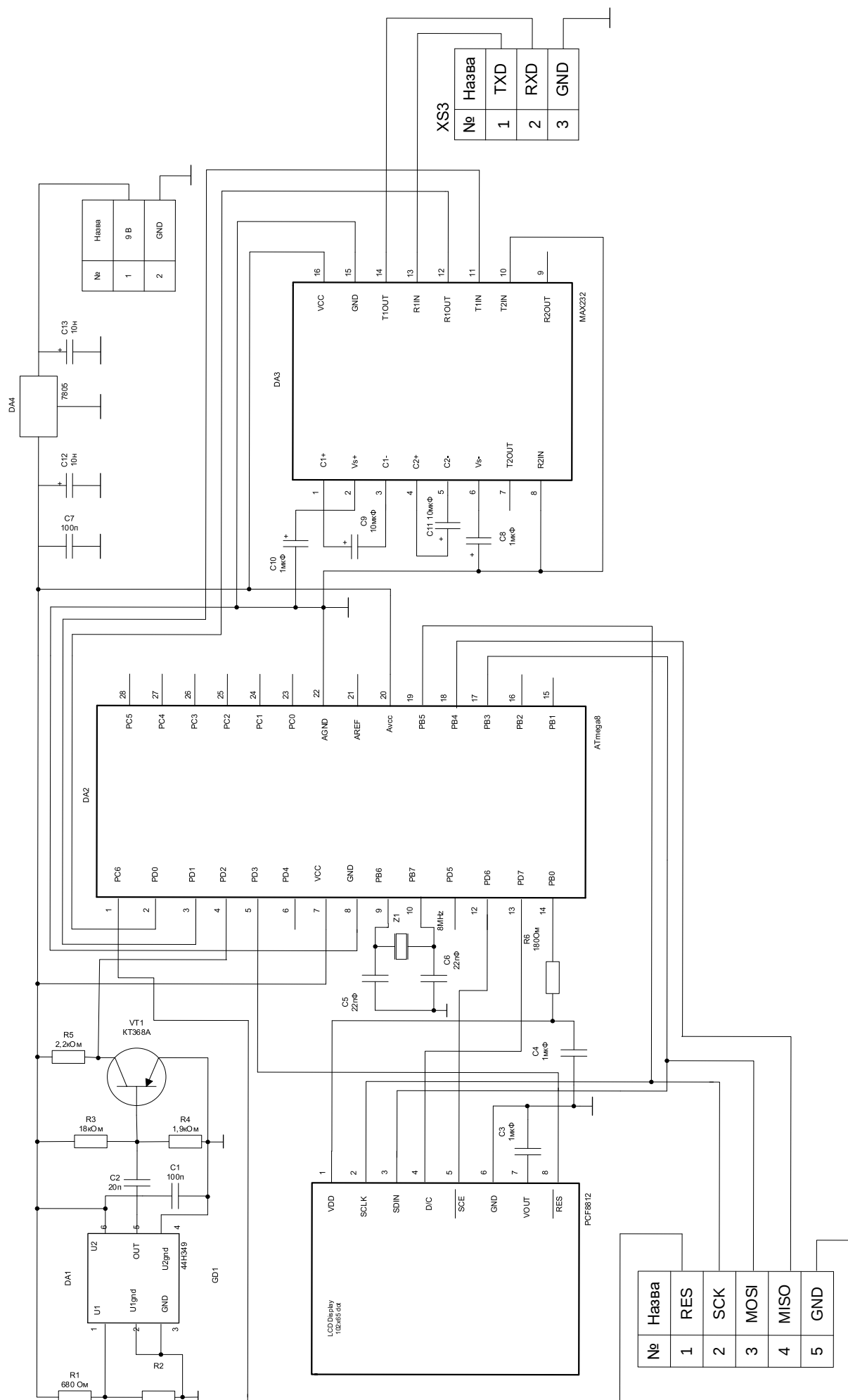


Рисунок 3.13 – Електрична схема радіовимірювального пристрою для автоматичного регулювання температури

повітря приміщень

1:5

3.6 Конструкторські розрахунки топології друкованої плати

Проектування друкованої плати складається з наступних етапів:

- дослідження технічної вимоги до створення продукту.
- визначення спільного раціонального положення шарнірних елементів;
- Слідкуючи за зв'язками на графі;
- перевірка конструкції друкованої плати;
- створення проектної документації, що відповідає ЕСКД. Конфігурація та

габаритні розміри друкованої плати залежать від габаритних розмірів виробу, електричної принципової схеми, навісних елементів, експлуатаційних вимог виробу, техніко-економічних показників. Більш поширеною є прямокутна форма друкованої плати.

Як правило, виробництво друкованої плати передбачає використання склотекстоліту СФ2-1-0,35 ДЕСТ 23751-86. Ця речовина являє собою пресований пластик, шарований скловолокном в якості тканини, ця речовина заповнена термореактивною смолою і покрита парою мідних листів, які служать його електропровідністю.

Довжина кожної сторони друкованої плати повинна бути кратною 2,5 при довжині до 100 мм, 5 - до 350 мм і 20 - при довжині більше 350 мм. Найбільший розмір будь-якої зі сторін не повинен перевищувати 470 мм. Довжина і ширина сторін друкованої плати не повинні перевищувати 3:1. Товщина плати визначається механічними умовами конструкції друкованої плати, ці механічні вимоги враховуються під час виробництва плати. Рекомендуються дошки товщиною 0,8 дюйма; 1,5, 2,0, 2,5, 3,0 мм. Креслення друкованих плат зазвичай виконується в їх натуральному розмірі або зі збільшенням 2:1, 4:1, 5:1, 10:1.

Ми вибираємо дошку прямокутної форми 60 x 60 мм в довжину і 60 x 60 мм в ширину, товщиною 1,5 мм, яка відповідає всім перерахованим вище вимогам.

Залежно від розмірів друкованої плати і граничного відхилення її лінійних розмірів для друкованих плат розрізняють п'ять класів точності.

Друковані плати першого і другого класів точності більш доступні, надійні і мають мінімальну вартість.

Друковані схеми на платах третього та четвертого класів вимагають високоякісних матеріалів, інструментів та обладнання, обмежень щодо загального розміру та в деяких випадках особливих умов виробництва.

Виходячи з типових розмірів друкованих плат, їх наповненості радіодеталями та враховуючи спосіб виготовлення, обмежимося четвертим ступенем точності.

Процедура вибору кроку координатної сітки базується на DEST 10317-78. Прогресія кроків координатної сітки повинна бути кратною 0,625 мм (0,625; 1,25; 1,875; 2,5 і т.д.). DEST 10317-78 стверджує, що 1,25 мм є шириною прямокутної координатної сітки.

Одностороння друкована плата створена комбінованим позитивним фотохімічним методом і має четвертий ступінь точності. Вихідні дані:

- габаритні розміри плати 60 х 60 мм; максимальний діаметр виводу радіоелементу 0,5 мм;
- Мінімальне значення номінальної ширини провідника 0,5 мм;
- допуск на отвір без металізації $\pm 0,05$ мм;
- допуск на розташування отворів 0,08 мм;
- допуск на розташування контактних площадок 0,05 мм;
- допуск на розташування провідників 0,05 мм;
- товщина фольги 35 мкм;
- максимальний струм у провіднику 40 А;
- максимальна довжина провідника 0,12 м;
- відстань між виводами 2,5 мм;
- допустиме падіння напруги на провіднику 0,4 В [15].

1) Визначаємо мінімальну ширину, мм, друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та заземлення

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{дон}} \cdot t} [\text{мм}], \quad (3.21)$$

де $I_{\max} = 15$ мА - максимальний струм, що протікає в провідниках;

$j_{\text{дон}} = 20$ А/мм - допустима густіша струму [15];

$t = 35$ мкм- товщина провідника,

$$b_{\min} = \frac{0,015}{20 \cdot 0,035} = 0,021(\text{мм}).$$

2) Визначаємо мінімальну ширину провідника, мм. виходячи з допустимого падіння напруги на ньому

$$b_{\min 2} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot l}{t \cdot U_{\text{дон}}} [\text{мм}], \quad (3.22)$$

де $\rho = 0,0175$ Ом·мм- питомий об'ємний опір;

$l = 0,25$ м — довжина провідника;

$U_{\text{дон}} = 0,4$ В — допустиме падіння напруги на провіднику.

$$b_{\min 2} = \frac{0,0175 \cdot 0,04 \cdot 0,25}{0,035 \cdot 0,2} = 0,025(\text{мм}).$$

3) Визначаємо номінальне значення діаметрів монтажних отворів:

$$d = d_e + \Delta d_H + r [\text{мм}], \quad (3.23)$$

де $d_e = 0,5$ мм — максимальний діаметр виводу радіoeлемента;

$\Delta d_H = 0,05$ мм - нижнє граничне відхилення від номінального діаметру монтажного отвору;

$r = 0,1$ мм - різниця між мінімальним діаметром отвору та максимальним діаметром виводу радіoeлемента.

$$d = 0,5 + 0,05 + 0,1 = 0,65(\text{мм}).$$

Номінальний діаметр монтажного отвору $d = 0,7$ мм.

4) Розрахуємо діаметр контактних площадок:

$$D_{1\min} = 2 \cdot (b_m + \frac{d_{\max}}{2} + \delta d + \delta p) [\text{мм}], \quad (3.24)$$

де $b_m = 0,1$ мм - відстань від краю отвору до краю контактної площадки;

δd та δp - допуски на розташування отворів та контактних площадок.

$\delta d = 0,08$ мм, $\delta p = 0,2$ мм;

$d_{\max}$ - максимальний діаметр отвору

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,5) [\text{мм}], \quad (3.25)$$

де $\Delta d = 0,1$ мм — допуск на отвір,

$$d_{\max} = 0,5 + 0,1 + 0,1 = 0,7 (\text{мм});$$

$$D_{1\min} = 2 \cdot \left(0,1 + \frac{0,7}{2} + 0,08 + 0,2 \right) = 1,46 (\text{мм}),$$

5) Визначаємо мінімальну ширину провідників, що виготовляють комбінованим позитивним методом при фотохімічному способі одержали малюнка:

$$b_{\min} = b_{\min.e} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 [\text{мм}], \quad (3.26)$$

де $b_{\min.e}$, мм — мінімальна ефективна ширина провідника;

h_{ϕ} , мм — товщина фольги.

$$b_{\min} = 0,15 + 1,5 \cdot 0,025 + 0,03 = 0,21 (\text{мм}).$$

Максимальна ширина провідника:

$$\begin{aligned} b_{\min} &= b_{\min} + (0,02...0,06)[\text{мм}], \\ b_{\min} &= 0,21 + 0,06 = 0,27(\text{мм}). \end{aligned} \quad (3.27)$$

б) Визначаємо відстань між елементами провідного малюнка. Мінімальна відстань між провідниками та контактною площадкою:

$$S_{1\min} = L_0 - \left[\left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta p \right) + \left(\frac{b_{\max}}{2} + \Delta l \right) \right] [\text{мм}], \quad (3.28)$$

де $L_0 = 2$ мм - відстань між елементами;

$\Delta l = 0,05$ мм - допуск на розміщення провідників.

$$S_{1\min} = 2 - \left[\left(\frac{0,7}{2} + 2 \right) + \left(\frac{0,27}{2} + 0,05 \right) \right] = 1,265(\text{мм}).$$

Мінімальна відстань між двома контактними площадкам

$$S_{2\min} = L_0 - (D_{\max} + 2 \cdot \delta p) [\text{мм}], \quad (3.29)$$

$$S_{2\min} = 2 - (0,7 + 2 \cdot 0,2) = 0,9(\text{мм}).$$

Мінімальна відстань між двома провідниками

$$S_{3\min} = L_0 - (D_{\max} + 2 \cdot \Delta l) [\text{мм}], \quad (3.30)$$

$$S_{3\min} = 2 - (0,7 + 2 \cdot 0,05) = 1,2(\text{мм}).$$

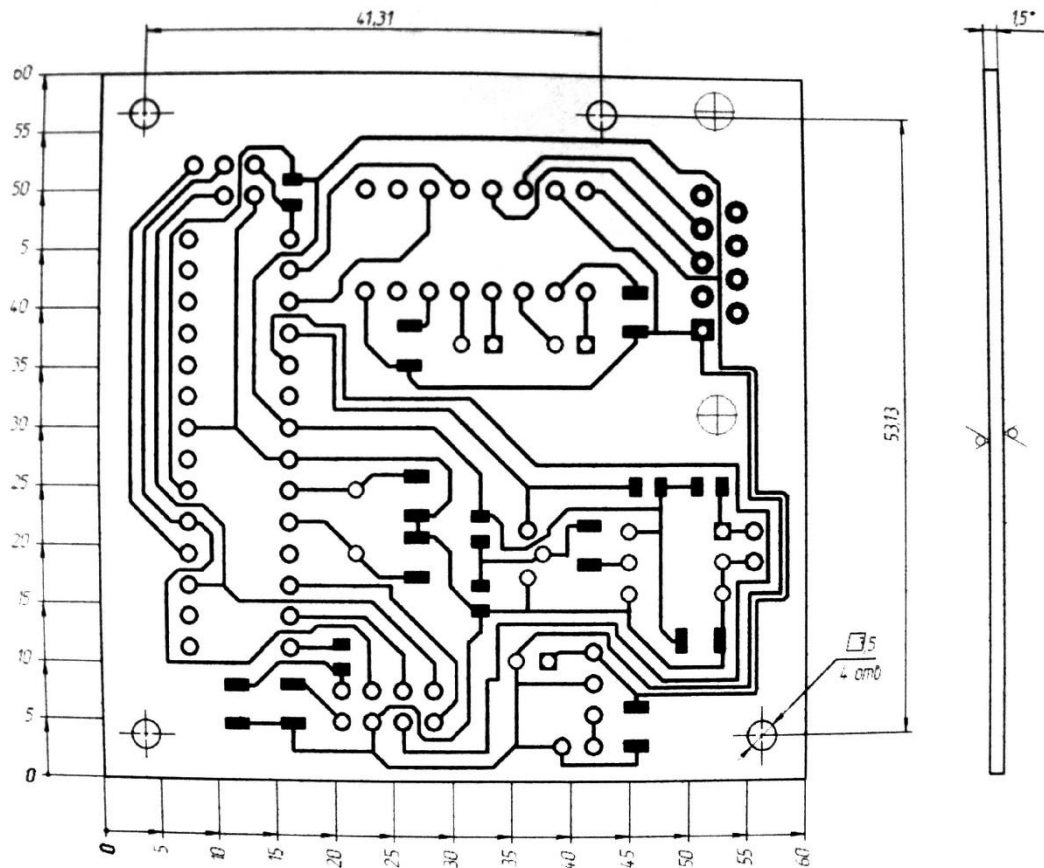


Рисунок 3.14 – Ескізне креслення друкованої плати

Розрахунки свідчать про те, що параметри друкованої збірки відповідають вимогам до друкованих плат 4-го ступеня точності.

Зі збільшенням швидкості схеми занепокоєння щодо високочастотних з'єднань між компонентами стає більш значним. Крім того, необхідно визначити, наскільки сильно впливають один на одного (опір, ємність, індуктивність тощо). Це особливо важливо для мікроелектронних виробів, час між елементами зазвичай становить десятки наносекунд. Електричні властивості компонентів друкована плата залежить від багатьох факторів, які впливають на ступінь зміни розрахункового значення: режим роботи схеми, захисне покриття, нанесене на схему, технологія, що використовується створити компонент тощо. Врахувати всі ці фактори досить складно, тому під час проектування друкованої плати це непрактично. Тут необхідний приблизний розрахунок із достатньою точністю, який потім є перевірено та виправлено після виготовлення та аналізу першої партії друкованих схем.

Метою розрахунку електромагнітної сумісності є визначення працездатності приладу в умовах впливу перехресних перешкод в лініях зв'язку, а також зовнішніх електромагнітних полів [15].

1) Діелектрична проникність середовища між провідниками, що розташовані на зовнішній поверхні плати, яка покрита лаком, дорівнює:

$$\varepsilon_r = 0,5 \cdot (\varepsilon_{\Pi} + \varepsilon_{\Delta}), \quad (3.31)$$

де $\varepsilon_{\Pi} = 6$ - діелектрична проникність склотекстоліту; $\varepsilon_{\Delta} = 4$ - діелектрична проникність лаку Э - 4100.

$$\varepsilon_r = 0,5 \cdot (6 + 4) = 5,$$

2) Визначаємо взаємні ємність та індуктивність провідників, які розташовані на одній поверхні ДП.

$$C = \frac{1,09}{\lg \frac{2 \cdot \delta}{W + b}} [\Phi] \quad (3.32)$$

де $\delta = 5 \cdot 10^{-4}$ - відстань між провідниками, м;

$W = 3,5 \cdot 10^{-5}$ - товщина провідного шару, м;

$b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ - ширина провідників, м.

$$C = \frac{1,09 \cdot 5}{\lg \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}} = 0,194 (нф).$$

$$M = 2 \cdot l \left(\lg \frac{2 \cdot l}{\delta + l} \right) [Гн], \quad (3.23)$$

де $l = 0,325$ - довжина області зв'язку провідників, м.

$$M = 2 \cdot 0,325 \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 0,325}{5 \cdot 10^{-4} + 0,325} \right) = 0,09 (мГн).$$

3) Розраховуємо опір ізоляції між провідниками активної та пасивної піній зв'язку для провідників, які розташовані на одній поверхні ДП.

$$R_u = \frac{\rho_n \cdot \delta}{l} [Ом], \quad (3.24)$$

де $\rho_n = 5 \cdot 10^{10}$ - питомий поверхневий опір основи ДП, Ом.

$$R_u = \frac{5 \cdot 10^{10} \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{0,325} = 0,769 \cdot 10^9 (Ом).$$

4) Визначаємо взаємні ємність та індуктивність для провідників, які розташовані на протилежних сторонах ДП.

$$C = 0,075 \cdot \varepsilon_r \cdot l \cdot \ln \frac{b}{h} \left[1 + \frac{h}{b} \cdot \left(1 + \lg \frac{2 \cdot b}{h} \right) \right] [\Phi], \quad (3.35)$$

де $h = 1,5 \cdot 10^{-3}$ - товщина зазору між провідниками, м.

$$C = 0,075 \cdot 5 \cdot 0,325 \cdot \ln \frac{2,3 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 10^{-3}} \left[1 + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{2,3 \cdot 10^{-4}} \cdot \left(1 + \lg \frac{2 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 10^{-3}} \right) \right] = 0,056 (нФ).$$

$$M = 2 \cdot l \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l}{h} \right) [\Gamma H], \quad (3.36)$$

$$M = 2 \cdot 0,325 \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 0,325}{1,5 \cdot 10^{-3}} \right) = 0,13 (мГн).$$

5) Визначаємо опір ізоляції між провідниками, які розташовані на протилежних сторонах дії.

$$R_n = \frac{\rho_v \cdot h}{F} [Ом], \quad (3.37)$$

де $\rho_v = 5 \cdot 10^9$ - питомий об'ємний опір склотекстоліту, Омм;

$F = 5,3125 \cdot 10^{-6}$ - площа проекції одного провідника на інший, м².

$$R_u = \frac{5 \cdot 10^9 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{5,3125 \cdot 10^{-6}} = 1,412 \cdot 10^{12} (Ом).$$

Порівнюючи розраховані ємності, індуктивності та опори з допустимими [16], можна зробити висновок, що дія перешкоди не призведе до порушення працездатності схеми.

Плата припаду повинна зручно вставлятися в прилад. Плата повинна мати чотири отвори по краям для фіксації її на місце встановлення. Розміщення радіоелементів на платі регламентується умовною координатною сіткою, крок якої дорівнює 1,25мм. При розміщенні радіоелементів враховується критерій мінімуму довжини зв'язків [15,16,17].

При створенні збирального креслити друкованої плати пристрою для вимірювання температури був використаний пакет САПР PCAD 2004. Для цього створена за допомогою програми PCAD-Schematic електрична принципова схема. У програмі PC-PCB компоненти були розташовані у порядку, що забезпечує отримання оптимальної топології друкованої плати. Після проведених перетворень розроблений конструктив за допомогою програми КОМПАС 3D v9 був виведений на друк.

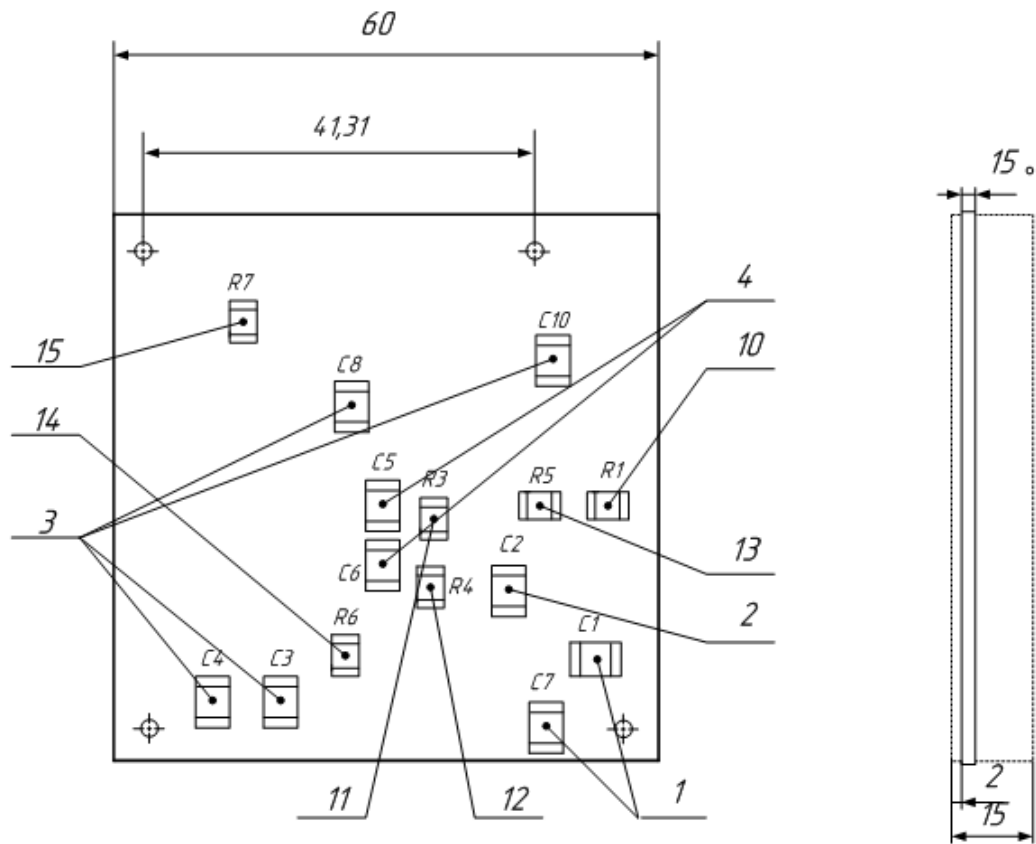


Рисунок 3.15 – Ескізне креслення становлення елементів на друкованій платі
(вигляд згори)

Друковані провідники розташовуються рівномірно по робочій площині плати на максимально можливій відстані від сусідніх елементів паралельно лініям координатної сітки або під кутом 45° . Провідники виконуються однакової максимально можливої ширини по всій довжині. У вузьких місцях можливе звуження до мінімального значення.

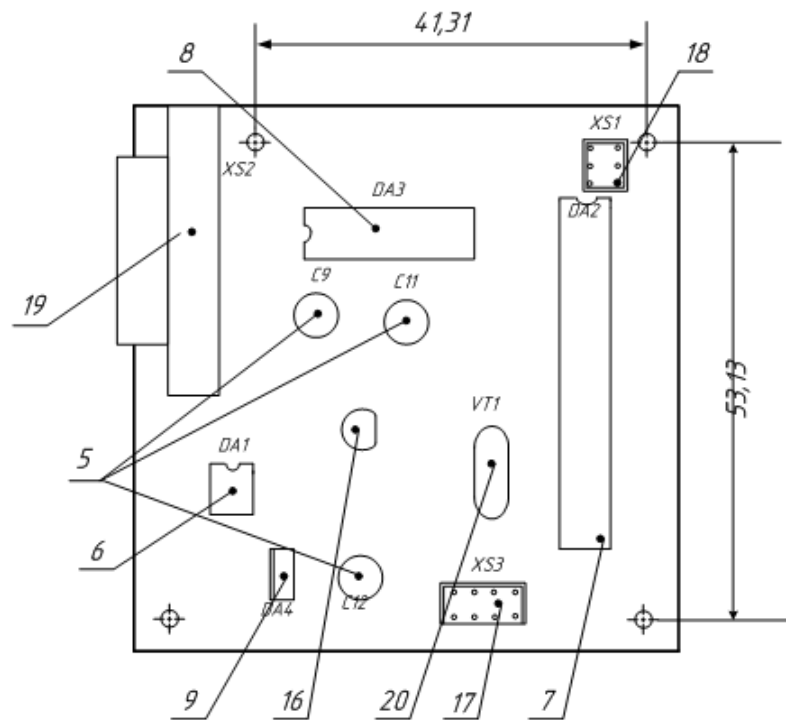


Рисунок 3.15 – Ескізне креслення становлення елементів на друкованій платі
(вигляд знизу)

Топологічне креслення плати також виконувалось за допомогою пакету PCAD 2004. Враховуючи складність плати, для забезпечення найкращого результату трасування та можливості подальшої налагоджувальної роботи з платою, трасування виконувалось автоматичним методом у програмі PC-PCB.[18]

3.7 Висновки до розділу

В електричних розрахунках було проведено проектування основних функціональних блоків пристрою, зокрема детальної структурної схеми пристрою та проведено розрахунок її блоків. Обґрунтовано вибір мікроконтролера, як основного елементу пристрою який приймає, обробляє та виводить дані на екран. Використання мікроконтролера дозволило спростити структурну схему та зменшити розміри пристрою зо рахунок використання його внутрішніх можливостей.

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МАТЕМАТИЧНЕ ТА СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ

4.1 Розробка програмного забезпечення

Для написання програмного забезпечення було використано інтегроване середовище розробки програмного забезпечення для сімейства мікроконтролерів Atmel AVR CodeVisionAVR.

CodeVisionAVR має такі складові елементи:

- С-компілятор для AVR;
- мова, яка використовується асемблером для компіляції AVR;
- творець початкового коду програми, ця особа дозволяє запускати периферійні пристрої.

- модуль зв'язку з тестовою платою СТК-500;
- інтерфейс, через який програміст взаємодіє з модулем;
- термінал.

Архів CodeVisionAVR містить такі вихідні файли:

- Файли HEX, BIN або ROM, які будуть завантажені в мікроконтролер через програматор.

- COFF – це файл, який містить інформацію, яку можна використовувати для усунення несправностей.

- OBJ - файл;

CodeVisionAVR призначений для використання в комерційній сфері.

Програма реалізована на мові C++ високого рівня. До переваг мови C++ можна віднести її швидкість.

Масштабованість. Програми написані мовою C++ для різних платформ і машин.

Здатність працювати на низькому рівні з адресами, пам'яттю та портами. (Яке, якщо з ним поводитися неправильно, може легко призвести до недоліків.)

Недоліків мови C++ багато.

1) Наявність численних опцій, які порушують принципи безпеки типів, дозволяє зробити висновок, що помилка, яку важко виявити, може легко проникнути в програми на C++. Замість того, щоб піддаватися маніпуляціям компілятора, розробники змушені дотримуватися дуже простих правил кодування. Загалом, ці правила забороняють використання C++ у кількох більш небезпечних середовищах. Багато питань щодо безпеки в C++ походять від C, але автор мови відіграє значну роль у цій проблемі. Вони відмовляються використовувати автоматичне керування пам'яттю (наприклад, збирання сміття). Ось чим стали «переповнення буфера», в результаті відмінною рисою C++ стала вразливість.

2) Підтримка модульності низького рівня. Використання файлів препроцесора для вставки в інтерфейс між зовнішніми модулями шкодить процесу компіляції під час підключення кількох великих модулів. Щоб уникнути цього недоліку, багато компіляторів використовують механізм для попередніх файлів заголовків (попередньо скомпільованих заголовків).

Інформація про різні типи даних під час компіляції (SI 11). Мова C++ є складною для вивчення, її складно компілювати. Деякі трансформації випадкові. Зокрема, процес для чисел без знаку та чисел із знаком призводить до результату без знаку.

Препроцесор C++ (похідний від C) дуже рудиментарний. Це спричиняє, з одного боку, той факт, що без його допомоги неможливо (або важко) виконати деякі завдання метапрограмування, а з іншого боку, проста природа програми має тенденцію призводити до помилок і вимагати кількох дій у щоб уникнути потенційних проблем. Деякі мови програмування (наприклад, Scheme і Nemerle) мають кращі, потужніші системи метапрограмування.

Незважаючи на заяву про те, що C++ є мовою з кількома парадигмами, ця мова фактично не підтримує функціональне програмування. Частково цю проблему програмування пом'якшують різноманітні бібліотеки (Loki, Boost), які використовують інструменти метапрограмування для доповнення мови функціональними функціями (рис. 4.1).

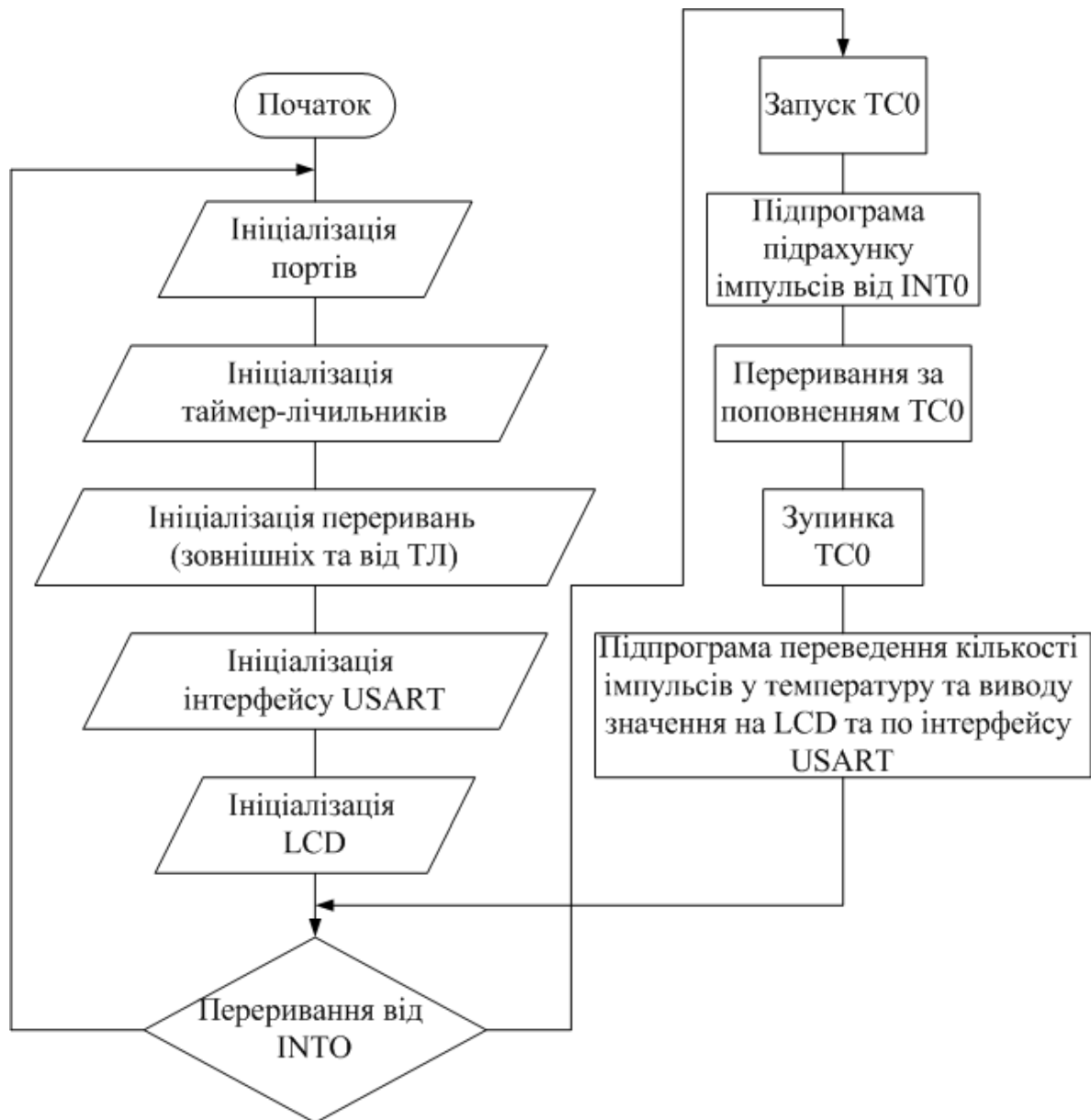


Рисунок 4.1 – Алгоритм програми для мікромконтролера

Мова C++ використовує бібліотеки як основний засіб свого розширення. У C++ бібліотека — це набір функцій, які зберігаються в одному файлі. Кожна бібліотека зазвичай має файл заголовка, який містить прототипи функцій, які присутні в бібліотеці та можуть бути використані, а також спеціальні типи даних і макроси, які використовують ці функції. Для того, щоб програма використовувала бібліотеку, заголовок бібліотеки має бути додано на початок вихідного файлу, а бібліотека має бути скомпільована разом із програмою, що зазвичай потребує спеціального параметра компілятора (наприклад, `-lm`).

Оскільки популярність C++ зросла, для нього були створені інші бібліотеки. Бібліотеки зазвичай пишуться мовою C++, оскільки компілятор C++ створює ефективний об'єктний код; пізніше розробники створюють інтерфейси до бібліотек, щоб використовувати їх у мовах вищого рівня, таких як Java, Perl і Python.

Щоб перевести кількість імпульсів від температури перетворювача температури в певний часовий проміжок, необхідно провести обчислення. Таймер TC0 мікроконтролера активний у нормальному режимі. Таким чином, регістр підрахунку служить типовим лічильником додавання. Кожен регістр збільшується на одиницю для кожного такту тактового сигналу. Переповнення відбувається, коли передається значення \$FF, і перевірка продовжується від значення \$00. Протягом того самого періоду часу, що й цикл сигналу, регістр TCNT0 перевстановлюється, прапор TOV0, який пов'язаний з регістром TIFR, увімкнеться. Щоб дозволити переривання, викликані таймером і лічильниками TC0, TC1 і TC2, призначений регістр TIMSK, це дозволяє встановити прапор TOIE0 на 1 - прапорець, що дозволяє переривання, викликані переповненням лічильника таймера TC0.

В якості тактового сигналу clk_{T0} таймер-лічильника TCO буде використовуватись масштабуючий системний тактовий сигнал $clk_{T0} = clk_{I/O} / n[Hz]$. N задається за допомогою розрядів CS02...CS00 регістру керування таймером TCCR0.

Системний тактовий сигнал формується зовнішнім кварцовим резонатором з частотою 8 МГц. Тому обираємо тактовий сигнал таймер-лічильника $clk_{T0} = 8 \cdot 10^6 / 256 = 31250(Hz)$, що буде відповідати розрядам CS02 = «1», CS01 = «0», CS00 = «0». При установці розрядів CS0n в «0» таймер-лічильник буде зупинено.

Сигнал, що надходить з формувача ТТЛ рівня, поступає на вхід зовнішнього переривання INT0(PD2) і по кожному імпульсу даного сигналу здійснюється інкремент змінної «п», таким чином підраховується кількість періодів вхідного сигналу за час заповнення щотного регістру таймер-лічильника TCO.

Визначимо цей час за формулою (4.1)

$$t_{nep} = N / clk_{T0}[c], \quad (4.1)$$

де N - місткість щотного регістру таймер-лічильника TCO, SFF (в десятковій системі числення 256);

clk_{T0} - сікто-тактовий сигнал таймер-лічильника TCO, 31250 Гц. Отже час через який буде формуватись переривання від переповнення TCO

$$t_{nep} = 256 / 31250 = 8,192(мс).$$

При температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ перетворювач формує сигнал з частотою 300 кГц (див. рисунок 3.7) Тоді за час t_{nep} кількість періодів буде дорівнювати

$$n_{0^{\circ}\text{C}} = F_{0^{\circ}\text{C}} \cdot t_{nep}[\text{періодів}], \quad (4.2)$$

де $F_{0^{\circ}\text{C}}$ – частота сигналу при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Отже при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ за час t_{nep} в змінній п буде значення

$$n_{0^{\circ}\text{C}} = 300 \cdot 10^3 \cdot 8,192 \cdot 10^{-3} = 2458(\text{періодів}),$$

Тому число періодів $n = 2458$ буде відповідати температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чутливість частотного перетворювача температури складає $5\text{ кГц}/^{\circ}\text{C}$ (рисунок 3.8). Визначимо кількість періодів що відповідає $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$n_{1^{\circ}\text{C}} = h \cdot t_{nep}[\text{періодів}/^{\circ}\text{C}], \quad (4.3)$$

де h - чутливість частотного перетворювача температури, $5\text{ кГц}/^{\circ}\text{C}$.

$$n_{1^{\circ}\text{C}} = 5 \cdot 10^3 \cdot 8,192 \cdot 10^{-3} = 41 (\text{періодів}/^{\circ}\text{C}).$$

Отже, температура, що вимірюється, знаходиться за наступною формулою

$$t_{вим}^{\circ} = \frac{(n - n_{0^{\circ}\text{C}})}{n_{1^{\circ}\text{C}}} [^{\circ}\text{C}], \quad (4.4)$$

$$t_{\text{вим}}^{\circ} = \frac{(n - 2458)}{41} (^{\circ}\text{C}).$$

Дана формула використовується в програмі для визначення температури. В результаті компілювання програми відлагоджувальною системою CodeVisionAVR отримуємо звітну інформацію, яка зображена на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 — Звітна інформація компілятора CodeVisionAVR

4.2 Комп'ютерне схемотехнічне моделювання пристрою

Для представлення пристрою була обрана CAD Proteus. Proteus = це комерційний пакет програм САПР, який поєднує в собі дві інші програми: ISIS = інструмент проектування електронних схем на основі САПР та ARES = інструмент проектування друкованих плат.

Відмінність від аналогічних попередньо розроблених програм, таких як Electronics Workbench Multisim. MicroCap, розширена система віртуального

моделювання Tina для різних типів мікроконтролерів. Proteus має велику бібліотеку компонентів, включаючи периферійні пристрої: дисплеї, датчики температури, інтерактивні компоненти в water-you-water: кнопки, перемикачі, віртуальні порти та віртуальні вимірювальні пристрої, інтерактивні графіки, які не завжди присутні в інших подібних програмах.

Так як в бібліотеці Proteus мікросхеми перетворювача температури немає, то використовується генератор імпульсів, який симулює його роботу. Для перевірки точності роботи моделюючого пристрою задамо частоту генерації імпульсів 300 кГц (див. рис. 4.3).

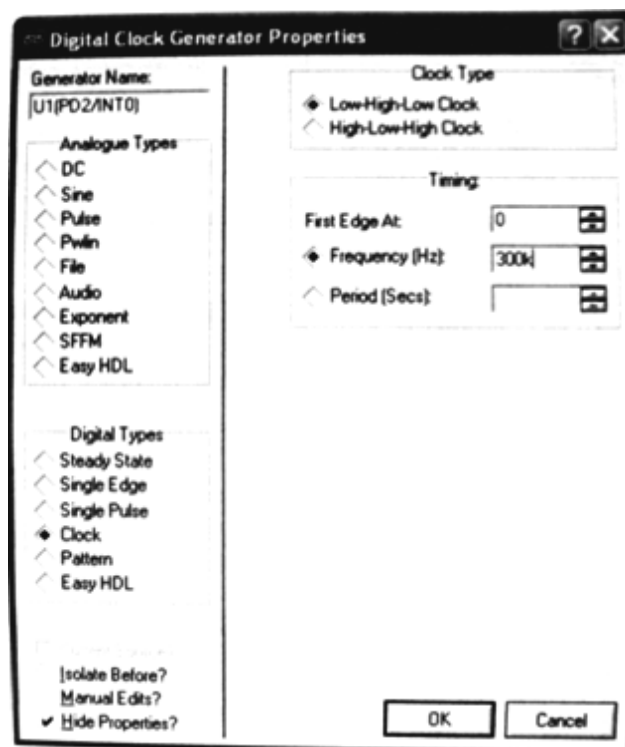


Рисунок 4.3 - Установка частоты генерации 300 кГц

Як відомо з підрозділу 3.3, частота 300 кГц відповідає температурі 0 °С. Запустивши симуляцію пристрою в цьому можна переконатись (див. рис. 4.4).

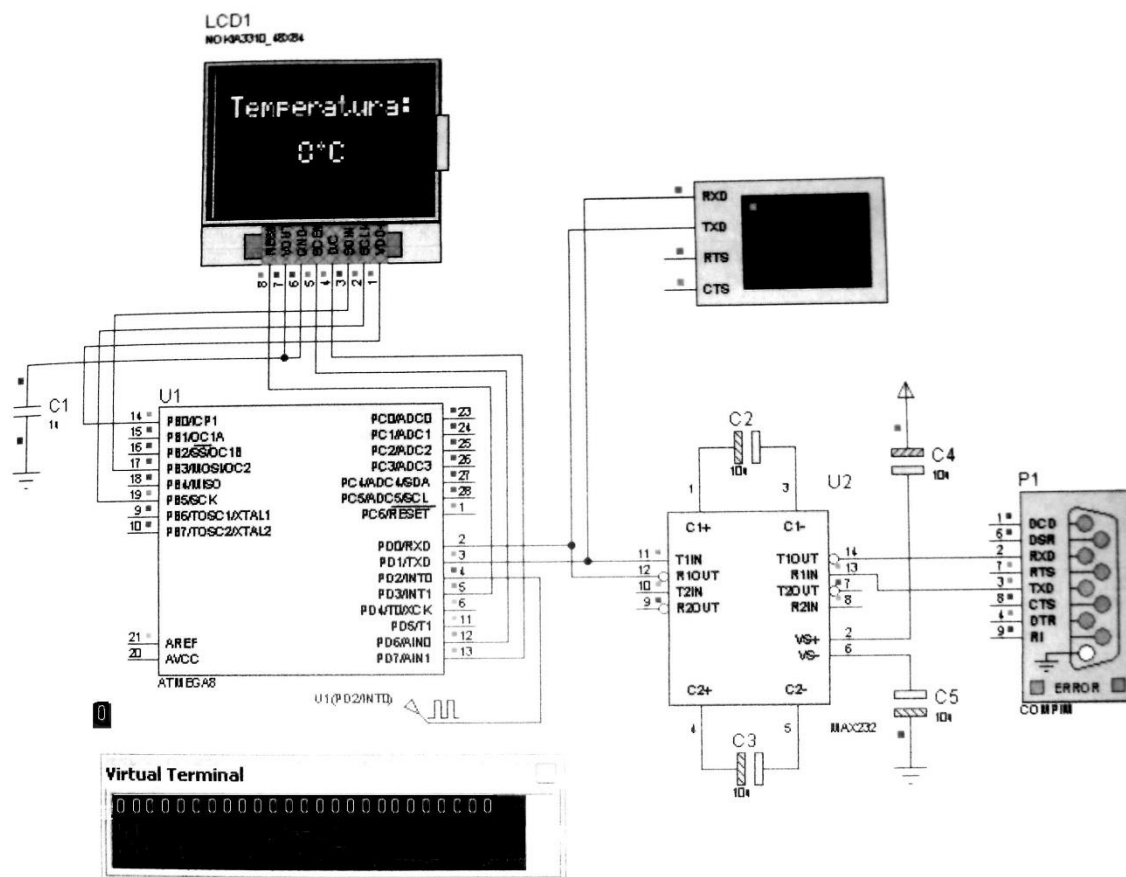


Рисунок 4.4 - Моделювання пристрою на частоті генерації 300 кГц

Установивши значення частоти 550 кГц (див. рисунок 4.5), отримаємо значення температури 49,9 °C (див. рисунок 3.7). Це підтверджує графік, який зображено на рис. 4.6.

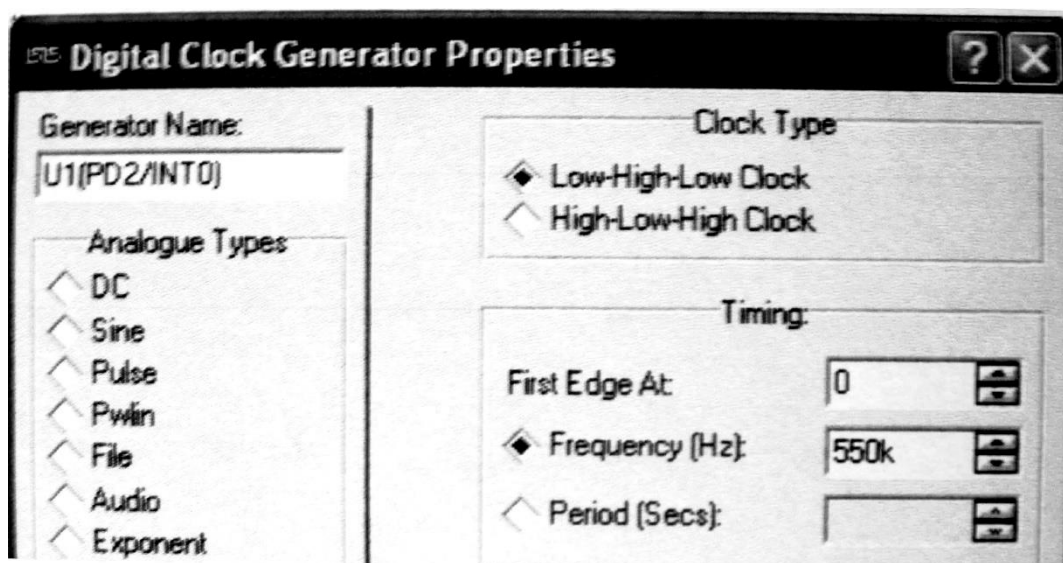


Рисунок 4.5 – Встановлення частоти генерації 550 кГц

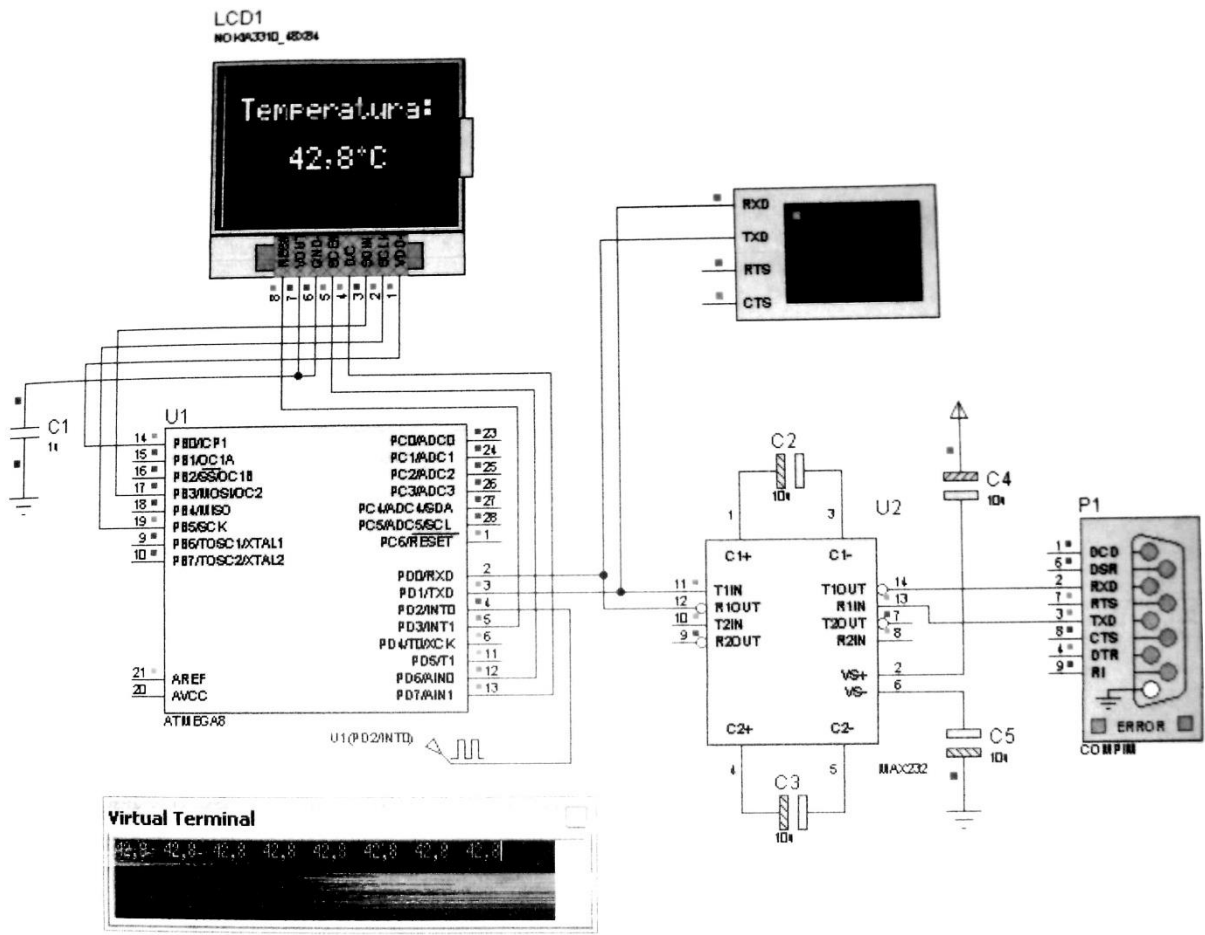


Рисунок 4.6 - Моделювання пристрою на частоті генерації 550 кГц

4.3 Комп'ютерне математичне моделювання пристрою

Також у магістерській кваліфікаційній роботі були отримані результати математичного моделювання системи рівнянь у п.3.4 в пакеті програм MATLAB 6.5.

Результати моделювання наведені на рис. 4.7 – рис. 4.8. На рис. 4.7 подана форма генерованих коливань перетворювача температури при значенні 37 °С. На рис. 4.8 поданий графік часу встановлення значення вимірюваної величини в мікросекундах на виході частотного перетворювача температури при 37 °С.

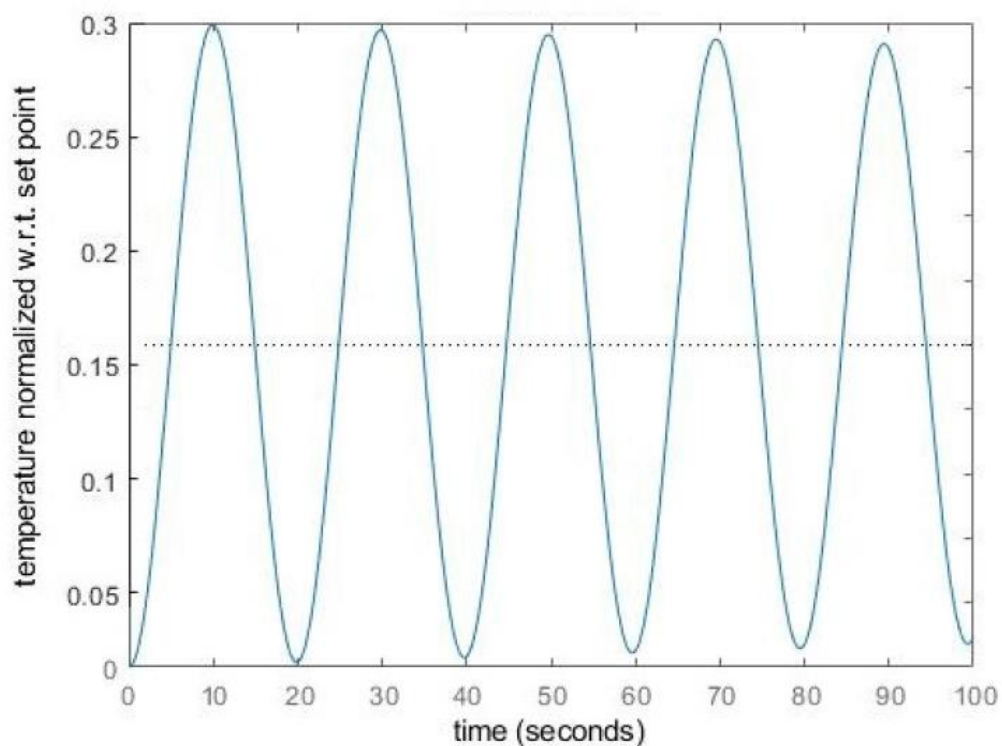


Рисунок 4.7 – Форма генерованих коливань перетворювача температури при значенні 37 °C

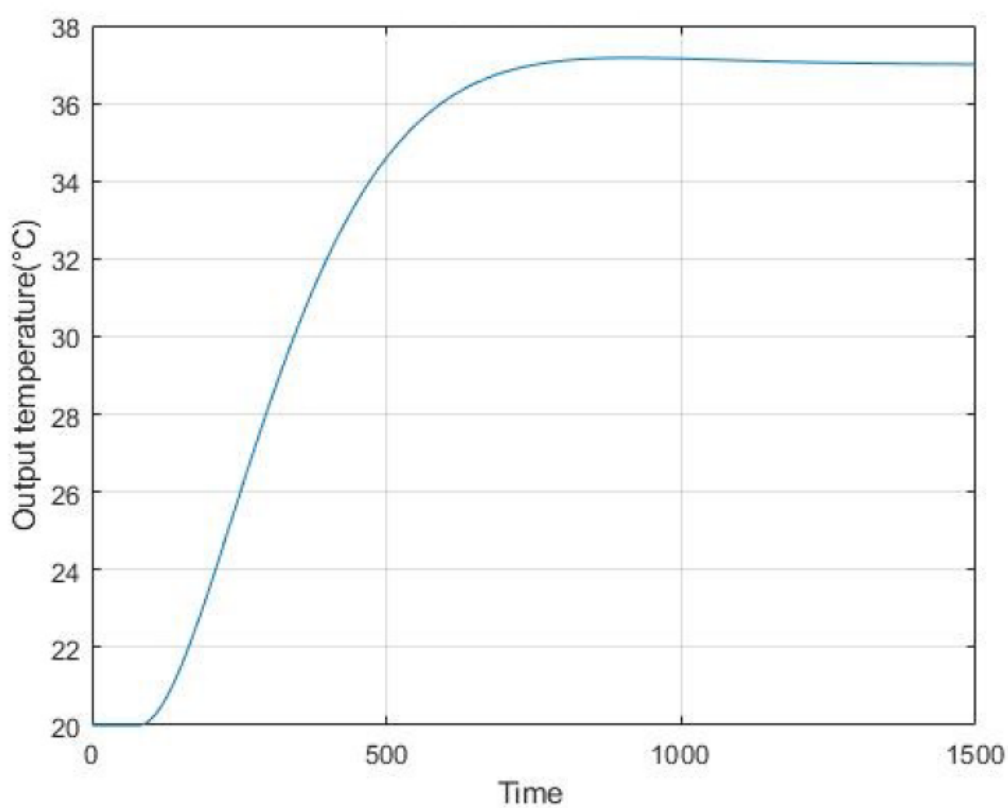


Рисунок 4.8 – Час установлення значення вимірюваної величини на виході частотного перетворювача (час по вісі x у мікросекундах)

4.4 Висновки до розділу

У розділі отримані результати комп'ютерного математичного та комп'ютерного схемотехнічного моделювання роботи радіовимірювального пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень. Результати комп'ютерного моделювання підтвердили працездатність пристрою та правильність отриманих чисельних розрахунків.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Радіовимірвальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

- 1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;
- 2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;
- 3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Радіовимірвальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Для сучасного етапу розвитку техніки характерно більш інтенсивне і поглиблене проникнення в різні галузі мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій, що радикально змінили властивості багатьох приладів і відкривають нові можливості їх застосування, ці розробки поки що являються найбільш перспективними.

Створення нового приладу викликано в основному такими факторами: складністю існуючих на даний час вимірювачів такого типу та великими габаритними розмірами. В зв'язку з цим застосування нової елементної бази, мініатюризація та можливість створення універсального вимірювального комплексу з гнучкою системою зміни кількості та характеру вимірювань дає змогу виготовити надійний малогабаритний пристрій з малою ціною та експлуатаційними втратами, що безумовно вплине на його реалізацію. Другим стимулом є відсутність на даний час пристрою такого типу вітчизняного та зарубіжного виробництва, тому поява його на ринку викличе інтерес споживачів та зацікавленість потенційних інвесторів.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1 [63].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку

Продовження таблиці 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї

Продовження таблиці 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	4	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	2	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	4	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	3	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	3	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	2	2	2
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	35	38	37
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	36,7		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [63].

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів $СБ_c$, розрахована на основі висновків	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень» становить 36,7 бала, що, відповідно до таблиці 5.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

Сучасна мікроелектронна технологія дозволяє побудувати частотний перетворювач, а можливості існуючих мікроконтролерів, які будуть застосовуватись при обробці первинного сигналу та управління пристроєм повністю ліквідують серйозні ускладнення які виникли при використанні аналогово-цифрових перетворювачів. В роботі очікуємо отримати принципово новий та економний пристрій. Термометр, який розробляється, можна застосувати в різних пристроях контролю і управління виробничими процесами, керування параметрами опалення, вентиляції кондиціонування та параметрами мікроклімату. Розробка пристрою дозволить розширити та технологічні можливості згаданих вище процесів.

На даний час різні вимірювачі температури дуже широко використовуються майже у всіх сферах виробництва та трудової діяльності. Також постійно збільшується випуск нових товарів, які використовують оптичні, тискові, волого вимірювальні сенсори, але поки що для їх побудови використовуються комплектуючі імпортного виробництва і попит на вітчизняні елементи поки що невеликий, проте він швидко збільшується і через кілька років визначатиме попит на пристрій.

5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [64]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (5.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом

і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (5.2)$$

де I_{ni} та I_{na} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (5.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірю- вання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Мінімальна вимірювана температура	°C	-40	-60	1,5	0,1
Максимальна вимірювана температура	°C	+100	150	1,5	0,3
Точність виміру на краях робочого діапазону	°C	1	0,5	2	0,4
Точність виміру в середній частині робочого діапазону	°C	0,8	0,1	8	0,1
Маса	кг	0,3	0,25	1,2	0,1

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,5 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,4 + 8 \cdot 0,1 + 1,2 \cdot 0,1 = 2,32.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,32 рази.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури

повітря приміщень», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_o$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [63]

$$З_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.4)$$

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.

$$З_o = 18650,00 \cdot 6 / 24 = 4636,38 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – 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)	18650,00	772,73	6	4636,38

Продовження таблиці 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Інженер-розробник радіоелектронної апаратури	17700,00	750,00	24	18000,00
Консультант (інженер- метролог)	17600,00	681,82	4	2727,28
Лаборант	8200,00	341,67	8	2733,33
Всього				28096,99

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.5)$$

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

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [63];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

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

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_l = 8000,00 \cdot 1,70 \cdot 1,15 / (24 \cdot 8) = 81,46 \text{ (грн.)}$$

$$З_{pl} = 81,46 \cdot 4,50 = 366,56 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 5.6 – 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
Контроль входних компонентів радіовимірювального пристрою	4,50	5	1,70	81,46	366,56
Підготовка робочого місця інженера-розробника	6,20	2	1,10	52,71	326,79
Інсталяція програм моделювання радіоелектронних схем	5,00	4	1,50	71,88	359,38
Встановлення вимірювального обладнання	5,50	2	1,10	52,71	289,90
Підготовка приміщення для досліджень поведінки радіовимірювального пристрою в змінних умовах	7,80	3	1,35	64,69	504,56

Продовження таблиці 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Монтаж дослідних компонентів пристрою	5,00	5	1,70	81,46	407,29
Контроль протікання дослідження	6,00	4	1,50	71,88	431,25
Всього					2685,73

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{доп}} = (28096,99 + 2685,73) \cdot 10 / 100\% = 3078,27 \text{ (грн.)}.$$

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

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (5.8)$$

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

$$Z_n = (28096,99 + 2685,73 + 3078,27) \cdot 22 / 100\% = 7449,42 \text{ (грн.)}.$$

5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень».

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

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.9)$$

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.).

$$M_1 = 3,0 \cdot 201,00 \cdot 1,11 - 0 \cdot 0 = 669,33 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за од, грн	Норма витрат, од.	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір офісний А-4 NEXO Everyday 500 л	201,00	3,0	0	0	669,33
Папір офісний Офіс Центр А5 80г/м2 500 аркушів клас С	98,00	4,0	0	0	435,12

Продовження таблиці 5.7 – Витрати на матеріали

Набір настільний 12 предметів 4Office 4-415	220,00	3,0	0	0	732,60
Органайзер для канцелярії з годинником та календарем директору 31x17x11 см (RD-100)	680,00	1,0	0	0	754,80
Тонер HP універсальний MPT9 флакон, 1 кг SCC (TSM-MPT9-1)	510,00	1,0	0	0	566,10
ДИСК CD-R VERBATIM 700MB 80MIN 52X BULK 50	28,00	1,0	0	0	31,08
USB флеш накопичувач Transcend 128 Gb JetFlash 700 (TS64GJF700)	269,00	1,0	0	0	298,59
Склотекстоліт	225,00	0,010	0	0	2,50
Травник	182,00	0,050	0	0	10,10
Припій	980,00	0,010	0	0	10,88
Епоксидна смола	340,00	0,030	0	0	11,32
Флюс ФКСП ОСТ	520,00	0,010	0	0	5,77
Клей	580,00	0,010	0	0	6,44
Ізольований провідник	16,00	0,250	0	0	4,44
Лак	360,00	0,050	0	0	19,98
Провід монтажний	22,00	0,400	0	0	9,77
Всього					3568,82

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.10)$$

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

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

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

$K_6 = \dots \cdot 1,11 = 0,00$ (грн.).

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Конденсатори			
ECQ-V1104JM	4	2,25	9,99
ECC-D3A220JGE	2	3,00	6,66
EEV-NA1C100R	2	10,20	22,64
C100NC	3	1,50	5,00
Роз'єми			
PLD-6	1	3,00	3,33
PLS-2	1	1,75	1,94
PLS-3	1	2,75	3,05
DB9	1	17,50	19,43
Транзистори 2N3570	1	4,00	4,44
Мікросхеми			
ATMega8L-8PI	1	317,00	351,87
44Н349	1	144,75	160,67
MAX232ACPE+	1	125,75	139,58
Кварцеві резонатори			
ABL-8.000MHZ-B2F	1	12,75	14,15
LCD дисплей Siemens C55/A55/A52 (PCF8812)	1	223,00	247,53
Всього			990,29

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.11)$$

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.

$$B_{\text{спец}} = 8880,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 9856,80 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Цифровий осцилограф OWON SDS1022 (20 МГц, 2 канали)	1	8880,00	9856,80
Блок живлення лабораторний	1	4350,00	4828,50
Програматор	1	4780,00	5305,80
Набір паяльний (паяльна станція)	1	6820,00	7570,20
Комплект метрологічного обладнання	1	9840,00	10922,40
Всього			38483,70

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inprg} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

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

$C_{npz.i}$ – 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.

$$B_{npz} = 350,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 367,50 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Proteus 8 Professional (ліцензія місяць)	1	350,00	367,50
CodeVisionAVR ANSI C Compiler	1	6200,00	6510,00
Всього			6877,50

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

$$A_{обл} = \frac{Ц_{\bar{o}}}{T_{\bar{o}}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.13)$$

де $Ц_{\bar{o}}$ – 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;

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

$$A_{обл} = (32699,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 908,31 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі Ryzen5 PRO 4650GE (11JJ0003UC)	32699,00	3	1	908,31
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних на базі i3-1115G4 (90PT02T2-M07510)	36899,00	3	1	1024,97

Продовження таблиці 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Обладнання виводу інформації	6700,00	4	1	139,58
Робоче місце інженера-розробника спеціалізоване	8300,00	5	1	138,33
Офісна оргтехніка	7500,00	5	1	125,00
Приміщення лабораторії розробки радіоелектронної апаратури	480000,00	25	1	1600,00
ОС Windows	7890,00	2	1	328,75
Прикладний пакет Microsoft Office	7120,00	2	1	296,67
Всього				4561,61

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.14)$$

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; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

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

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

$$B_e = 0,08 \cdot 40,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 35,14 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Цифровий осцилограф OWON SDS1022 (20 МГц, 2 канали)	0,08	40,0	35,14
Блок живлення лабораторний	0,07	40,0	30,74
Програматор	0,01	40,0	4,39
Набір паяльний (паяльна станція)	0,06	8,0	5,27
Комплект метрологічного обладнання	0,01	40,0	4,39
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі Ryzen5 PRO 4650GE (11JJ0003UC)	0,32	180,0	632,45
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних на базі i3-1115G4 (90PT02T2-M07510)	0,26	160,0	456,77
Обладнання виводу інформації	0,15	11,0	18,12
Робоче місце інженера-розробника спеціалізоване	0,10	180,0	197,64
Офісна оргтехніка	0,50	1,8	9,88
Всього			1394,79

5.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Радіовимірjuвальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень» належать витрати на відрядження штатних працівників,

працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

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

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

5.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

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

$$I_{\text{с}} = (Z_{\text{о}} + Z_{\text{р}}) \cdot \frac{H_{\text{іс}}}{100\%}, \quad (5.15)$$

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

$$I_{\text{с}} = (28096,99 + 2685,73) \cdot 50 / 100\% = 15391,36 \text{ (грн.)}.$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів;

витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

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

$$B_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.16)$$

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

$$B_{нзв} = (28096,99 + 2685,73) \cdot 105 / 100\% = 32321,86 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = З_o + З_p + З_{доо} + З_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.17)$$

$$B_{заг} = 28096,99 + 2685,73 + 3078,27 + 7449,42 + 3568,82 + 990,29 + 38483,70 + 6877,50 + 4561,61 + 1394,79 + 15391,36 + 32321,86 = 144900,34 \text{ (грн.)}.$$

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

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.18)$$

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

$$ЗВ = 144900,34 / 0,95 = 152526,67 \text{ (грн.)}.$$

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

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку. Розробка чи суттєве вдосконалення машини (механізму, приладу, пристрою) для використання кінцевими споживачами.

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	1200	1500	1800	1500

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 12000 осіб;

$Ц_6$ – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 1699,00 (грн.);

$\pm\Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 242,68 (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 [63]

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \frac{\vartheta}{100}), \quad (5.19)$$

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:

$$\Delta\Pi_1 = (242,68 \cdot 12000,00 + 1941,68 \cdot 1200) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1427129,99 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (242,68 \cdot 12000,00 + 1941,68 \cdot 2700) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2220034,44 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (242,68 \cdot 12000,00 + 1941,68 \cdot 4500) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 3171519,77 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (242,68 \cdot 12000,00 + 1941,68 \cdot 6000) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 3964424,22 \text{ (грн.)}$$

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

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (5.20)$$

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, $\tau=0,12$;

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

$$\begin{aligned} ПП &= 1427129,99/(1+0,12)^1 + 2220034,44/(1+0,12)^2 + 3171519,77/(1+0,12)^3 + \\ &+ 3964424,22/(1+0,12)^4 = 1274223,21 + 1769797,86 + 2257425,13 + 2519463,26 = \\ &= 7820909,46 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.21)$$

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

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 152526,67 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 152526,67 = 305053,34 \text{ (грн.)}.$$

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

$$E_{abc} = \Pi\Pi - PV \quad (5.22)$$

де $\Pi\Pi$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 7820909,46 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 305053,34 (грн.).

$$E_{abc} = \Pi\Pi - PV = 7820909,46 - 305053,34 = 7515856,12 \text{ (грн.)}$$

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

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.23)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 7515856,12 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 305053,34 грн;

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

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 7515856,12/305053,34)^{1/4} = 1,25.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min}

$$\tau_{min} = d + f, \quad (5.24)$$

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 0,35.

$\tau_{\min} = 0,11 + 0,35 = 0,46 < 1,25$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень» доцільно.

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

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.25)$$

де E_g – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,25 = 0,80 \text{ р.}$$

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

5.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень» становить 36,7 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,32 рази.

Термін окупності становить 0,80 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 «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень».

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря, що базується на мікроконтролері ATmega8. Це свідчить про реалізацію сучасного підходу до автоматизації систем клімат-контролю.

Пристрій включає перетворювач температури у частоту, керуючий мікроконтролер, РКІ-індикатор для виведення інформації, а також інтерфейс RS232 для передачі даних на комп'ютер. Це забезпечує багатофункціональність, інтеграцію з комп'ютером та зручність експлуатації.

У роботі виконано структурну та електричну схеми пристрою, що є основою для практичної реалізації. Проведені конструкторські та електричні розрахунки підтверджують доцільність обраних технічних рішень. Розрахунок надійності та технологічності свідчить про відповідність пристрою сучасним вимогам до якості та простоти виготовлення. Проведене комп'ютерне математичне та схемотехнічне моделювання підтвердило коректність теоретичних розробок і дозволило оцінити ефективність та стабільність роботи пристрою.

В електричних розрахунках було проведено проектування основних функціональних блоків пристрою, зокрема детальної структурної схеми пристрою та проведено розрахунок її блоків. В пристрою використовується перетворювач температура на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом, який має високу чутливість. Обґрунтовано вибір мікроконтролера, як основного елементу пристрою який приймає, обробляє та виводить дані на екран. Використання мікроконтролера дозволило спростити структурну схему та зменшити розміри пристрою зо рахунок використання його внутрішніх можливостей. Приведена технологія виготовлення друкованої плати яка проектувалась в САПР P-CAD. Проаналізовані різні варіанти компоновки, проведені розрахунки друкованої плати на вібростійкість, паразитні зв'язки, а також параметри друкованого рисунку.

Проведено функціональне моделювання пристрою у спеціалізованій САПР Proteus 7.5, в результаті якого доведено правильність розрахунків пристрою.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини. Розроблений пристрій має потенціал для практичного застосування у системах автоматизації клімат-контролю приміщень, що є актуальним у контексті енергозбереження та підвищення комфорту. Таким чином, робота досягла поставленої мети, а отримані результати мають як теоретичну, так і практичну цінність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2000. –303 с.
2. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 1999. –275с.
3. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Вербицький В.Г. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2001. –195 с.
4. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В. Сенсори вологості. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2003. – 208 с.
5. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Сенсори тиску і магнітного поля. – Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2005. –207 с.
6. Осадчук М.Л., Осадчук О.В. Словник математичних термінів (англо-російсько-український). –Вінниця:«Універсум-Вінниця», 2006. – 379 с.
7. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Кравчук Н.С. Мікроелектронні сенсори температури з частотним виходом. Монографія. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2007. –163с.
8. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Семенов А.О., Коваль К.О. Функціональні вузли радіовимірювальних приладів на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором. –Вінниця: ВНТУ, 2011. – 336 с.
9. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Семенов А.О. Генератори електричних коливань на основі транзисторних структур з від'ємним опором. Монографія. – Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2009. – 182 с.
10. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Прокопова М.О. Сенсори газу. Монографія. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2008. – 182 с.
11. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Ющенко Ю.А. Радіовимірювальні мікроелектронні перетворювачі витрат газу з частотним виходом. –Вінниця: ВНТУ, 2012. –140с.

12. Мікроелектронні сигнальні перетворювачі теплових сенсорів потоку. / Готра Г.Ю., Павлов С.В., Осадчук О.В., Голяка Р.Л., Вуйчик В., Куленко С.С. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 240 с.
13. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Мікроелектронні сенсори магнітного поля з частотним виходом. Монографія. –Вінниця: ВНТУ, 2013. – 261 с.
14. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Селецька О.О. Радіовимірювальні оптичні перетворювачі для мікроелектронної технології. Монографія.–Вінниця: ВНТУ, 2013.–160с.
15. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Криночкін Р.В. Радіовимірювальні перетворювачі для визначення товщини плівок на основі пристроїв з від'ємним опором. Монографія. –Вінниця: ВНТУ, 2013. – 136 с.
16. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Звягін О.С. Частотні перетворювачі для контролю вологості нафтопродуктів. –Вінниця: ВНТУ, 2014. –152с.
17. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Барабан С.В. Радіовимірювальні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором для неруйнівного теплового контролю. –Вінниця: ВНТУ, 2015. – 212 с.
18. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Савицький А.Ю. Радіовимірювальні перетворювачі вологості на основі МДН-структур. –Вінниця: ВНТУ, 2016. – 152 с.
19. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Жагловська О.М. Радіовимірювальні мікроелектронні перетворювачі потужності оптичного випромінювання з частотним виходом. –Вінниця: ВНТУ, 2016. – 168 с
20. Осадчук О.В. Інтегральний частотний перетворювач температури і активним індуктивним елементом. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. -2001. -№1. - С.75-78.
21. DHT22 Digital Temperature and Humidity Sensor. – Available at: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.
22. DS18B20 Digital Thermometer. – Available at: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.

23. I2C Overview. – Available at: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN10216.pdf>.
24. SPI Interface. – Available at: <https://www.ti.com/lit/an/slaa103a/slaa103a.pdf>
25. LoRaWAN: A Technical Overview. – Semtech, 2018. – Available at: https://www.semtech.com/uploads/documents/lora/LoRaWAN_Specification_V1.0.2.pdf
26. Bluetooth Low Energy: The Fundamentals. – Available at: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/technology-overview>
27. Sensors and IoT Applications. – In *IoT for Smart Cities*. – Springer, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-30337-2_2.
28. Smart Home Automation: The Role of Temperature Sensors. – *Journal of Internet of Things and Cloud Computing*, 2022. Vol. 10, No. 3, P. 45–56. DOI: 10.1016/j.iotcc.2022.05.012.
29. Integrating Temperature Sensors in IoT Systems. – *Sensors and Actuators A: Physical*, 2021. Vol. 325, Article 112682. DOI: 10.1016/j.sna.2021.112682.
30. A Comprehensive Review on IoT Protocols for Temperature Sensors. – *IEEE Internet of Things Journal*, 2023. Vol. 10, No. 5, P. 3754–3766. DOI: 10.1109/JIOT.2022.3144567.
31. Andriy Semenov, Oleksandr Osadchuk, Olena Semenova, Serhii Baraban, Oleksandr Voznyak, Andrii Rudyk, Kostyantyn Koval. Research of Dynamic Processes in the Deterministic Chaos Oscillator Based on the Colpitts Scheme and Optimization of Its Self-oscillatory System Parameters. Chapter 10. In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 48, Springer, Cham. 21 June 2020, pp. 181-205.
32. Osadchuk Oleksandr, Vladimir Osadchuk, Andriy Semenov, Iaroslav Osadchuk, Olena Semenova, Serhii Baraban, Maksym Prytula. Radiomeasuring Optical-Frequency Converters Based on Reactive Properties of Transistor Structures with Negative Differential Resistance. Chapter 12. In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data*

Engineering and Communications Technologies, vol. 48, Springer, Cham. 21 June 2020, pp. 229-261.

33. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S. Frequency Transducers of Gas Concentration Based on Transistor Structures with Negative Differential Resistance. Chapter 12. In: Sidorenko A., Hahn H. (eds) Functional Nanostructures and Sensors for CBRN Defence and Environmental Safety and Security. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. 18 March 2020, pp. 161-184.

34. Osadchuk A.V., Koenig E., Osadchuk I.O. Wissenschaft für den modernen menschen: technik und technologie, informatik, sicherheit. Chapter 10. Application of multifactor models for forecasting of PSA (phthalic anhydrid) emissions in airplanes. Book 1. Part 1 / [team of authors: Choporov O.N., Lvovich I.Y., Osadchuk A.V., Preobrazhenskiy A.P., Romanyuk O.N., Sukhyy K.M. and etc.]. – Karlsruhe: NetAkhatAV, 2020 – 196 p. –P.135-150.

35. Koenig Elena, Alexander Osadchuk, Guido Meier, Benedikt Schulte, Osadchuk Iaroslav. Intellektuelles Kapital - die grundlage für innovative entwicklung: innovative technik und technologie, informatik. CHAPTER 4. Optimization of two-layer resists for laser lithography on substrates required for wide application in microwave sensor technology. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 3. Teil 3. 2020. –P.79-88.

36. Осадчук О.В., Осадчук Я.О. Научное окружение современного человека: техника и технологии, информатика, безопасность, транспорт, химия, сельское хозяйство. ГЛАВА 4. Радиоизмерительные приборы мониторинга физической подготовки спортсменов-стрелков из лука. Книга 3. Часть 1: серия монографий / [авт.кол. : И.Я. Львович, Я.Е. Львович, А.В. Осадчук, А.П. Преображенский, О.Н. Чопоров и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2020 – 187 с. : ил., табл. – (Серия «Научное окружение современного человека» , №3). –С.55-79.

37. Andriy Semenov, Olena Semenova, Oleksandr Osadchuk, Iaroslav Osadchuk, Serhii Baraban, Andrii Rudyk, Andrii Safonyk, Oleksandr Voznyak. Van der Pol Oscillators Based on Transistor Structures with Negative Differential Resistance for

Infocommunication System Facilities. Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 69. Springer, Cham. 2021. –P.43-78.

38. Andriy Semenov, Olena Semenova, Oleksandr Osadchuk, Iaroslav Osadchuk, Kostyantyn Koval, Serhii Baraban, Mariia Baraban. Pulse and Multifrequency Van der Pol Generators Based on Transistor Structures with Negative Differential Resistance for Infocommunication System Facilities. Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 69. Springer, Cham. 2021. -P.127-158.

39. Osadchuk A.V., Osadchuk N.I., Osadchuk I.A. Technical research and development: collective monograph. CHAPTER 4. ELECTRONICS. Frequency transducers of gas concentration for the diagnosis of strains of bacteria *Helicobacter pylori*. Technical research and development: collective monograph / Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2021. 616. –P.178-194 p.

40. Andriy Semenov, Volodymyr Drevetskyi, Andrii Rudyk, Olena Semenova, Paweł Komada. Developing and Investigating the Analyzers of Kinematic Viscosity and Density of Petroleum Products on Throttle Bridge Transducers. *Inventions*. 2022, Volume 7 Issue 1, paper 6, pp. 1-26; 2022, Volume 7 Issue 1, paper 6, pp. 1-26; <https://doi.org/10.3390/inventions7010006>

41. Viacheslav Kovtun, Oksana Kovtun, Andriy Semenov. Entropy-Argumentative Concept of Computational Phonetic Analysis of Speech Taking into Account Dialect and Individuality of Phonation. *Entropy*. 2022, 24(7), 1006; pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/e24071006>

42. Osadchuk O.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A. Mathematical Model of a Frequency Pressure Transducer Based on a Resonant Tunneling Diode. *Physics and*

chemistry of solid state. V. 23, No. 2 (2022) pp. 277-284.
<https://journals.pnu.edu.ua/index.php/pcss/article/view/5670>

43. Oleksandr V. Osadchuk, Iaroslav A. Osadchuk, Volodymyr V. Martyniuk, Lyudmila V. Krylik, Maria V. Evseeva. Mathematical simulation of a microelectronic transducer with frequency output for measuring the induction of the magnetic field. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska. IAPGOS*, 2/2022, 43–49 p. <http://doi.org/10.35784/iapgos.2921>

44. O.V. Osadchuk, V.S. Osadchuk, I.O. Osadchuk, A.O. Semenov, V.V. Martyniuk, M.O. Prytula. Investigation of a radio-frequency temperature transducer with a thermosensitive resistive element based on a complex compound of heterometallic β -diketonate. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. ICEMS-BIOMED-2022*. Vol. 1254, (2022) 012027.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1254/1/012027>

45. A.O. Semenov, V.V. Martyniuk, M.V. Evseeva, O.V. Osadchuk, O.O. Semenova. Electrical properties of the nanocomposite (copper, samarium)-containing complex compound. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. ICEMS-BIOMED-2022*. Vol. 1254 (2022) 012029.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1254/1/012029>

46. Meulesteen S., Semenov A.O., Semenova O., Koval K., Datsiuk D., Fomenko H. Cellular Lifesaving Flexible Device. *IFMBE Proceedings*. 2022, vol 87, pp. 382-389. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_50

47. Osadchuk I.A., Osadchuk O.V., Osadchuk V.S., Semenov A.O. Optical Sensor with Frequency Output Based on Resonant Tunneling Diode. *Proceedings - 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering. TCSET 2022*, pp. 442-446, DOI: 10.1109/TCSET55632.2022.9766842 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9766842>

48. Osadchuk O., Martyniuk V., Semenova O., Semenov A., Martyniuk H., Sydoruk T. Physical Parameters of the Synthesized Semiconductor Material Based on a Heterometallic Complex Compound of Copper (II) with N, N'-Bis(Salicylidene)Semicarbazide. *Proceedings - 16th International Conference on*

Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering. TCSET 2022, pp. 432-435, DOI: 10.1109/TCSET55632.2022.9766980. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9766980>

49. Oleksandr Osadchuk, Andriy Semenov, Maksym Prytula, Kostyantyn Koval, Olena Semenova, Oleksandr Shpylovyi. Mathematical Modeling of Radiomeasuring Frequency Transducer of Magnetic Field Induction. Conference proceedings 2022 IEEE 41th International conference on electronics and nanotechnology (ELNANO). October 10-14, 2022 Kyiv, Ukraine. –P.237-242. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9926755>

50. Oleksandr Vasilevskyi, Oleksandr Voznyak, Volodymyr Didych, Volodymyr Sevastianov, Oleksandr Ruchka, Volodymyr Rykun. Methods for Constructing High-precision Potentiometric Measuring Instruments of Ion Activity. Proceedings 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2022. Pages 247 - 252, Kyiv, 10 - 14 October, 2022. <https://doi.org/10.1109/ELNANO54667.2022.9927128>

51. Volovyk, A., Kychak, V., Osadchuk, A., Zhurakovskiy B. Fault Identification in Linear Dynamic Systems by the Method of Locally Optimal Separate Estimation. Klymash, M., Luntovskyy, A., Beshley, M., Melnyk, I., Schill, A. (eds) Emerging Networking in the Digital Transformation Age. TCSET 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 965. Springer, Cham.

52. Inna Baraban, Andriy Semenov, Serhii Baraban, Olena Semenova, Mariia Baraban & Andrii Rudyk. Mathematical Model of Electric Polarization Switching in a Ferroelectric Capacitor for Ferroelectric RAM. In: Faure, E., Danchenko, O., Bondarenko, M., Tryus, Y., Bazilo, C., Zaspas, G. (eds) Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 178, pp. 749–770. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0_44

53. Andriy Semenov, Oleksandr Voznyak, Andrii Rudyk, Olena Semenova, Pavlo Kulakov & Anna Kulakova. Standard and Nonstandard W-parameters of Microwave Active Quadripole on a Bipolar Transistor for Devices of Infocommunication

Systems. In: Faure, E., Danchenko, O., Bondarenko, M., Tryus, Y., Bazilo, C., Zaspá, G. (eds) Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 178, pp. 599–618. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0_36

54. Osadchuk O.V. , Osadchuk V.S., Prytula M.O., Osadchuk I.O. Mathematical modeling of frequency transducers of the radio measuring device of magnetic field induction. Chapter 1. Gogo V.B., Lukin V.V., Osadchuk O.V., Petrenko A., Vorobiov L.Y.et al. Intellectual capital is the foundation of innovative development: Engineering, Computer Science, Agriculture. Monographic series«European Science». –Karlsruhe, Germany. Book 18. Part 3. 2023. –P.8-38.

55. Andriy Semenov, Olena Semenova, Natalia Kryvinska, Vladimir Tromsyuk, Serhii Tsyurulnyk, Andrii Rudyk, Janusz Kacprzyk. Advanced Correlation Method for Bit Position Detection Towards High Accuracy Data Processing in Industrial Computer Systems. Information Sciences, Volume 624, May 2023, Pages 652-673, Available online 2 January 2023, 22 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.12.110>

56. Andrii Kashkanov, Andriy Semenov, Anastasiia Kashkanova, Natalia Kryvinska, Oleg Palchevskyi, Serhii Baraban Estimating the effectiveness of electric vehicles braking when determining the circumstances of a traffic accident Scientific Reports, volume 13, Article number 19916, 2023, pp. 1-18 (18 p.). Published 14 November 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47123-7>

57. Andriy Semenov, Oleksander Zviahin, Natalia Kryvinska, Olena Semenova, Andrii Rudyk Device for Measurement and Control of Humidity in Crude Oil and Petroleum Products Metrology and Measurement Systems, Vol. 30 (2023) No. 1, pp. 195–208. DOI: <https://doi.org/10.24425/mms.2023.144865>

58. Inna Baraban, Andriy Semenov, Serhii Baraban, Olena Semenova, Mariia Baraban & Andrii Rudyk Mathematical Model of Electric Polarization Switching in a Ferroelectric Capacitor for Ferroelectric RAM Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 178, pp. 749–770. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0_44

59. Andriy Semenov, Oleksandr Voznyak, Andrii Rudyk, Olena Semenova, Pavlo Kulakov & Anna Kulakova Standard and Nonstandard W-parameters of Microwave Active Quadripole on a Bipolar Transistor for Devices of Infocommunication Systems In: Faure, E., Danchenko, O., Bondarenko, M., Tryus, Y., Bazilo, C., Zaspas, G. (eds) Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 178, pp. 599–618. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0_36

60. Andriy Semenov, Olena Semenova, Stefan Meulesteen Flexible Antenna for Cellular IoT Device 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week (UkrMW), 14-18 November 2022, Ukraine, 2022, pp. 293-298, 6 p. DOI: 10.1109/UkrMW58013.2022.10037036

61. Semenov A., Martyniuk V., Evseeva M., Osadchuk O., Semenova O., Yushchenko T. Electrical Properties of the (Copper, Dysprosium)-Containing Complex Compound In: Sontea V., Tiginyanu I., Railean S. (eds) 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering. ICNBME 2023. IFMBE Proceedings, vol 91, pp 31–40, 10 p. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-42775-6_4

62. A.O. Semenov, V.V. Martyniuk, M.V. Evseeva, O.V. Osadchuk, I.O. Osadchuk The Influence of Physical Quantities on Electrical Parameters of Heterometallic -Methoxy (Copper (II), Bismuth (III)) Acetylacetonate Journal of Nano- and Electronic Physics. 2023. Vol. 15 No 1, 01006(5pp). 5 p. DOI: 10.21272/jnep.15(1).0100.

63. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

64. 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

РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕНЬ

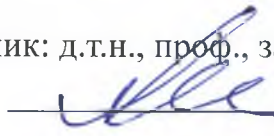
Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Гаврилюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., завідувач кафедри ІРТС

 Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«»  2024 р.

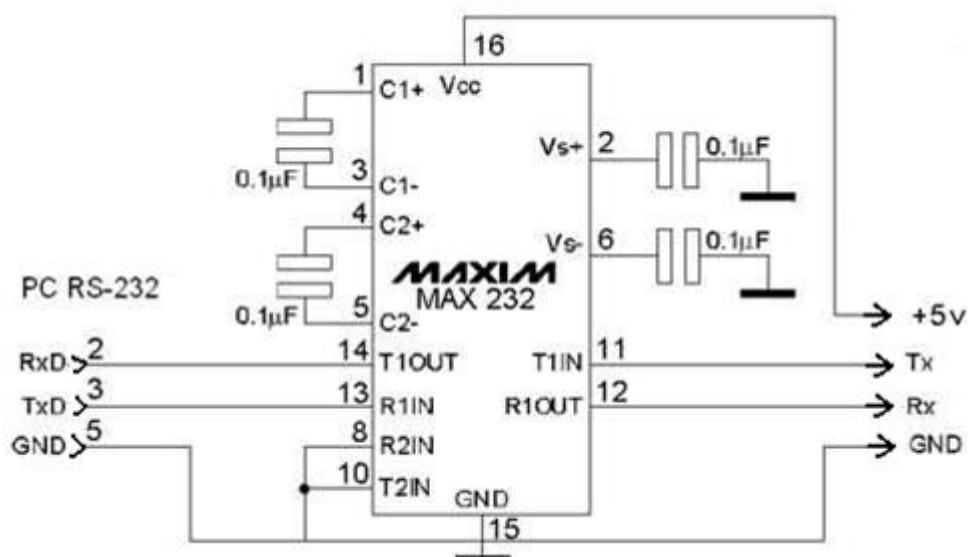


Рисунок 1 - Схема включення ІМС MAX232

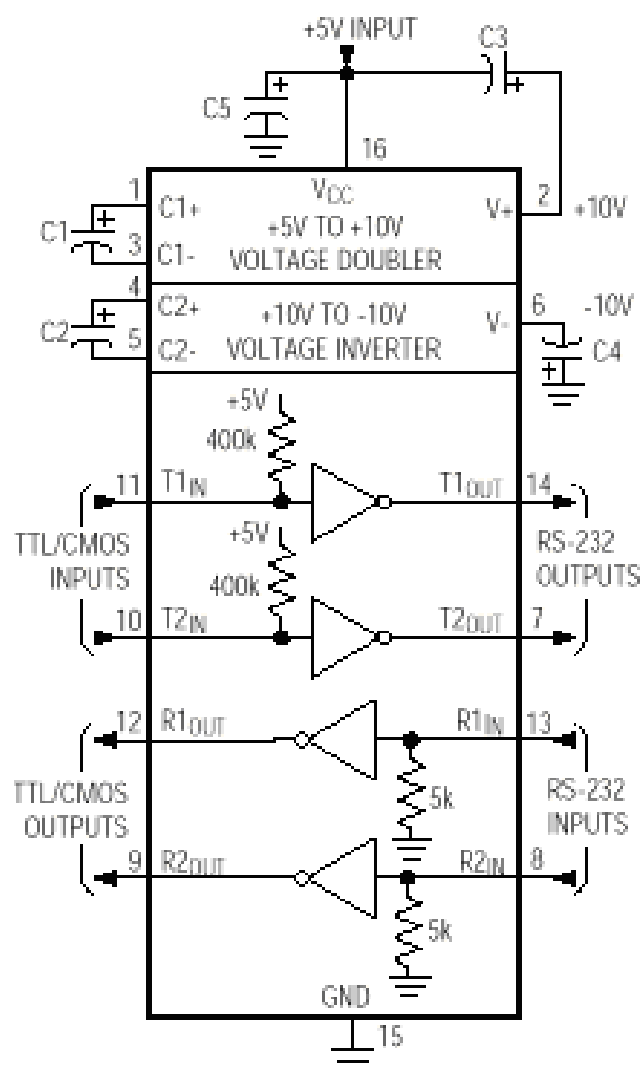


Рисунок 2 - Функціональна схема ІМС MAX232

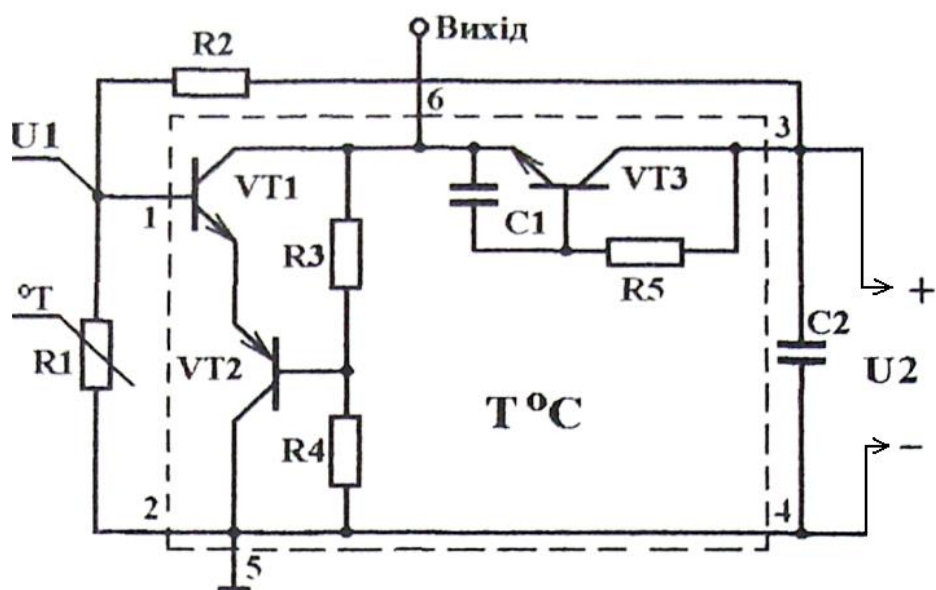


Рисунок 3 - Електрична схема частотного перетворювача температури на основі біполярних транзисторів з активним індуктивним елементом

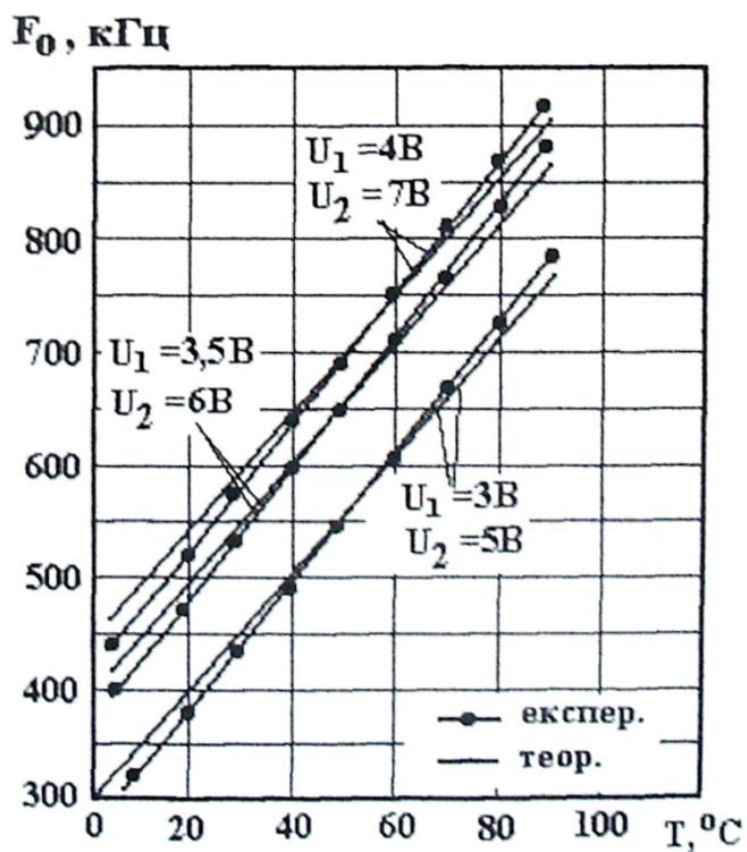


Рисунок 4 - Теоретичні і експериментальні залежності частоти генерації від температури

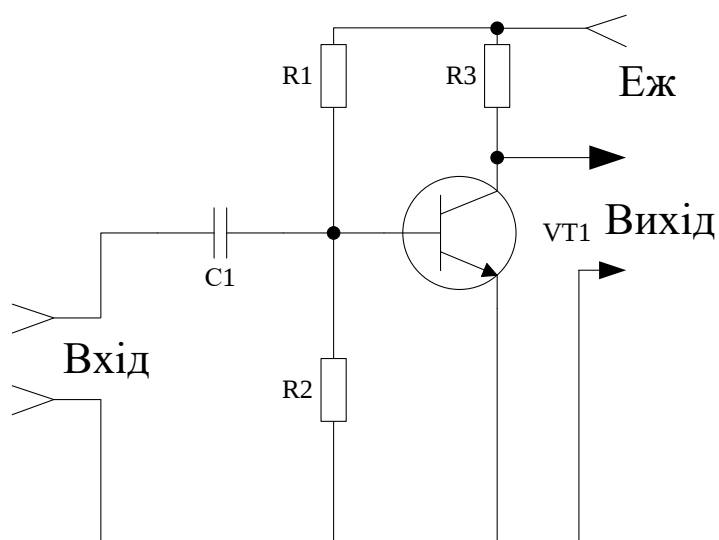


Рисунок 5 — Електрична принципова схема однокаскадного підсилювача як формувача ТТЛ рівня

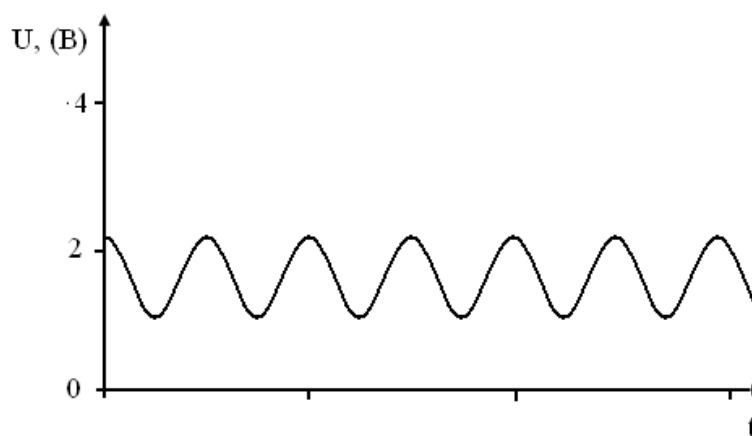


Рисунок 6 - Осцилограма вихідного сигналу формувача ТТЛ рівня

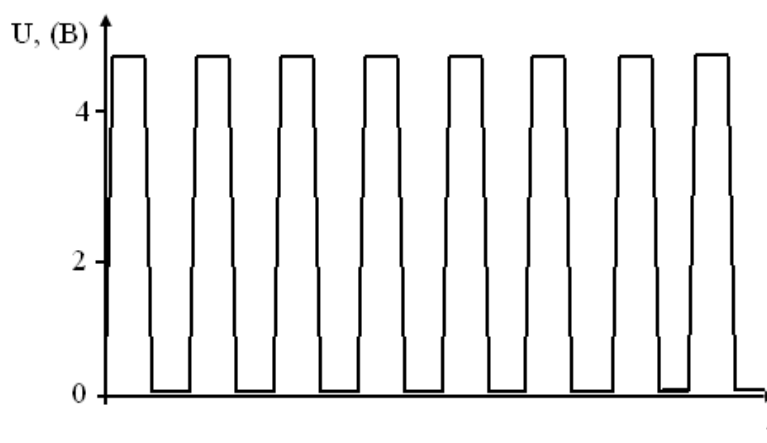


Рисунок 7 - Осцилограма вихідного сигналу формувача ТТЛ рівня

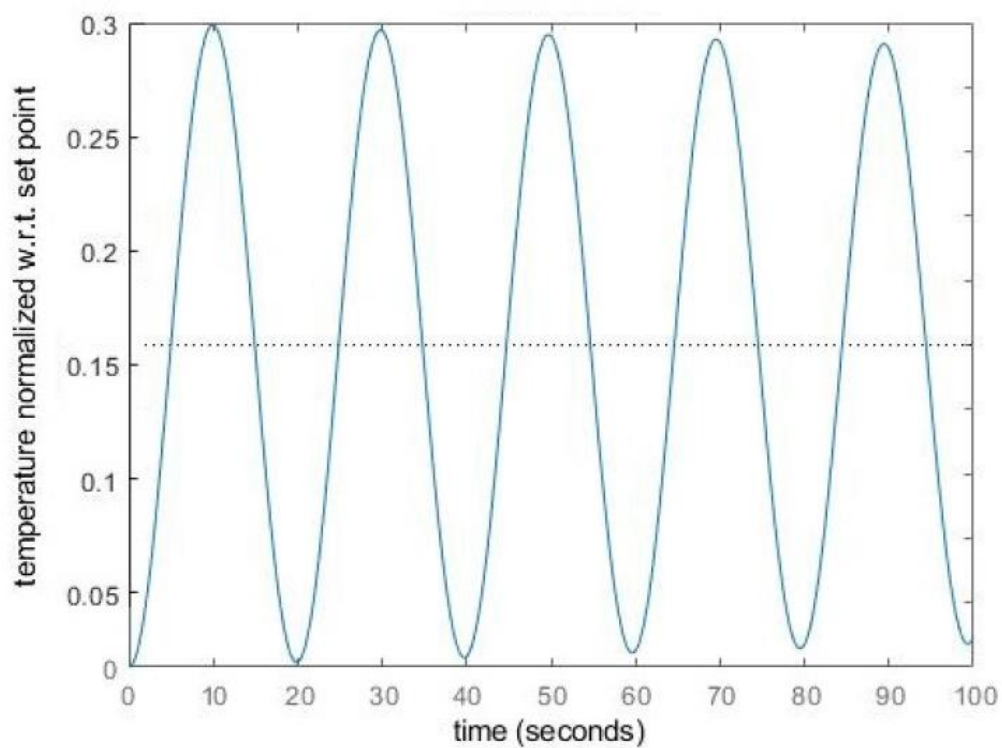


Рисунок 8 – Форма генерованих коливань перетворювача температури при значенні 37 °C

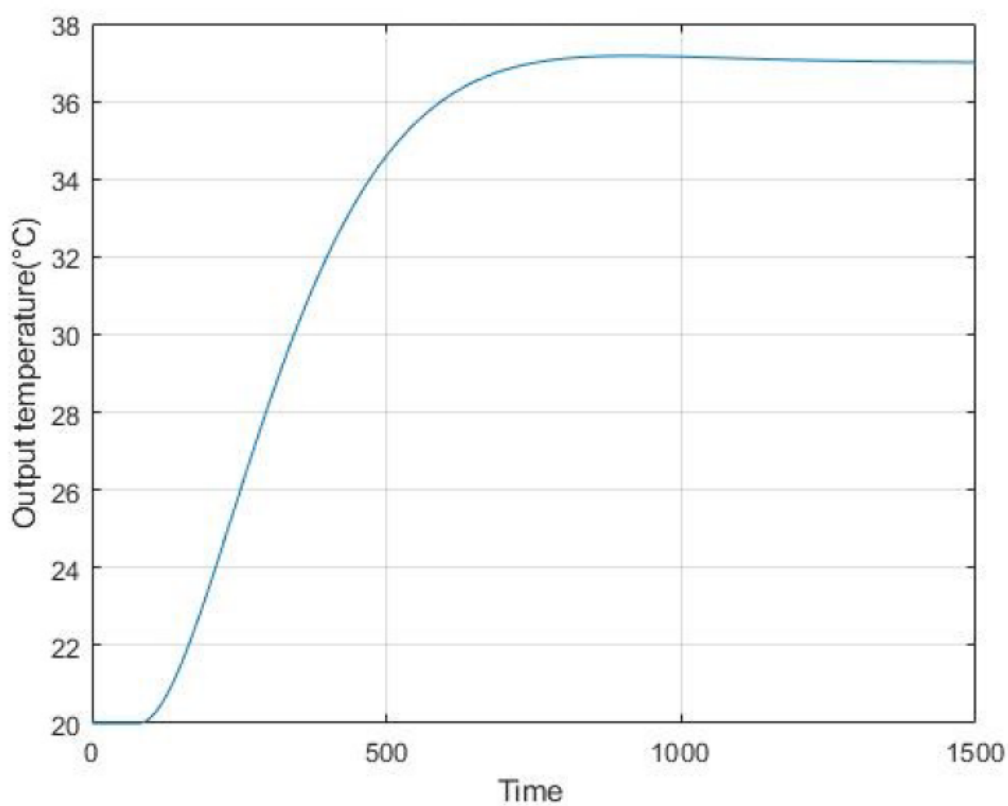


Рисунок 9 – Час установлення значення вимірюваної величини на виході частотного перетворювача (час по вісі x у мікросекундах)

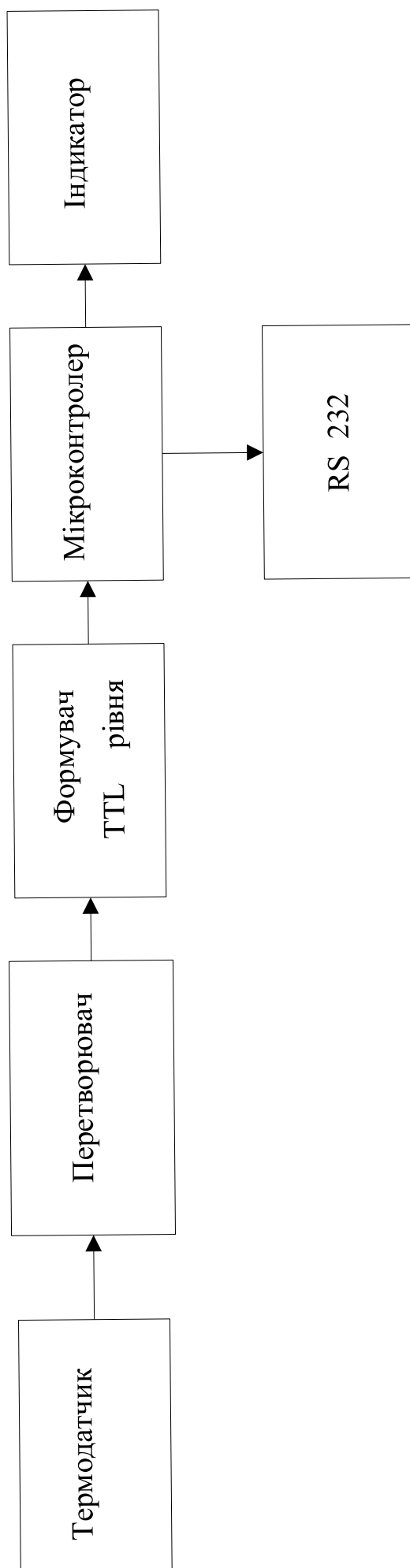
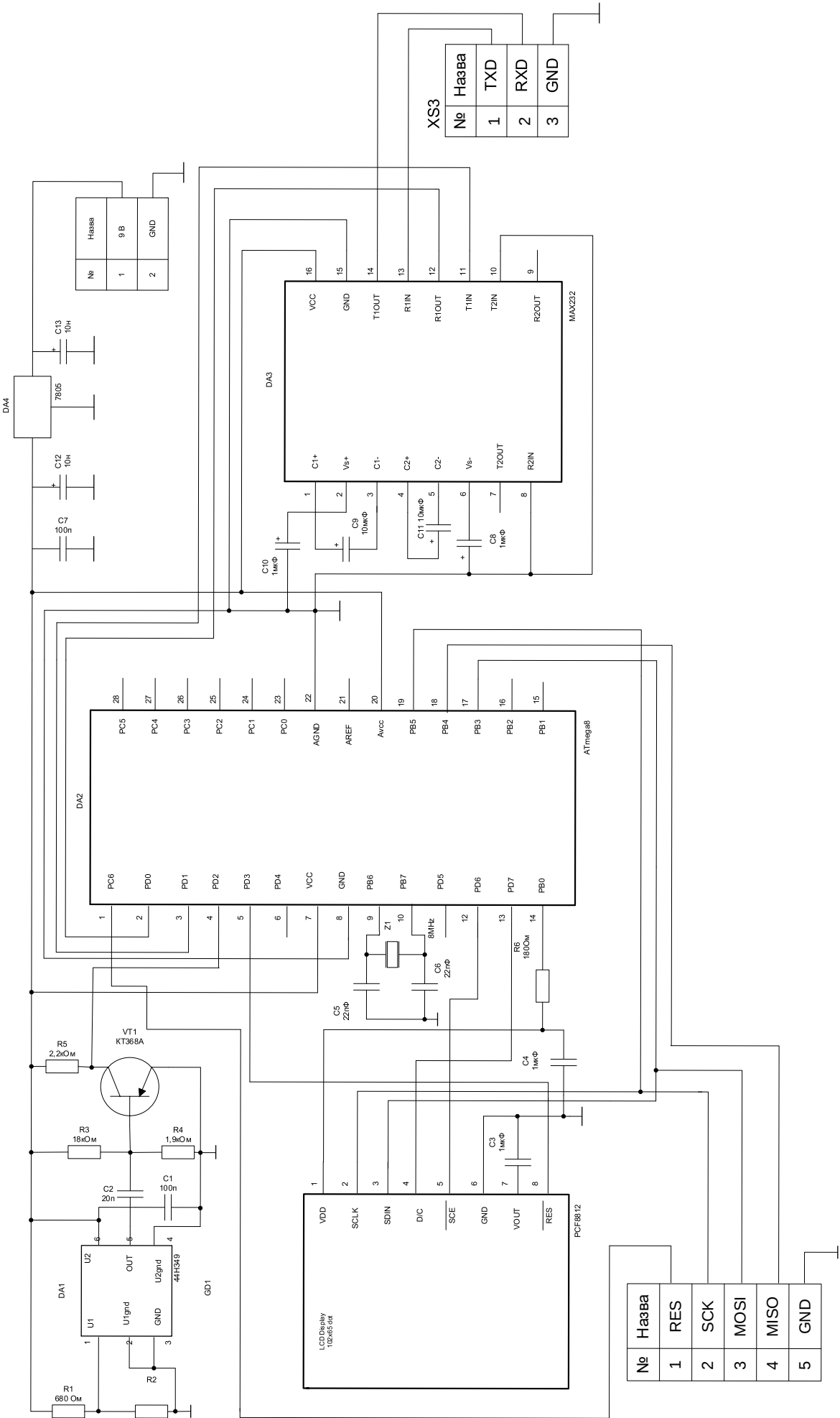


Рисунок 10 – Структурна схема Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень



1:5

Рисунок 11 – Электрична схема радіовимірювального пристрою для автоматичного регулювання температури повітря приміщень

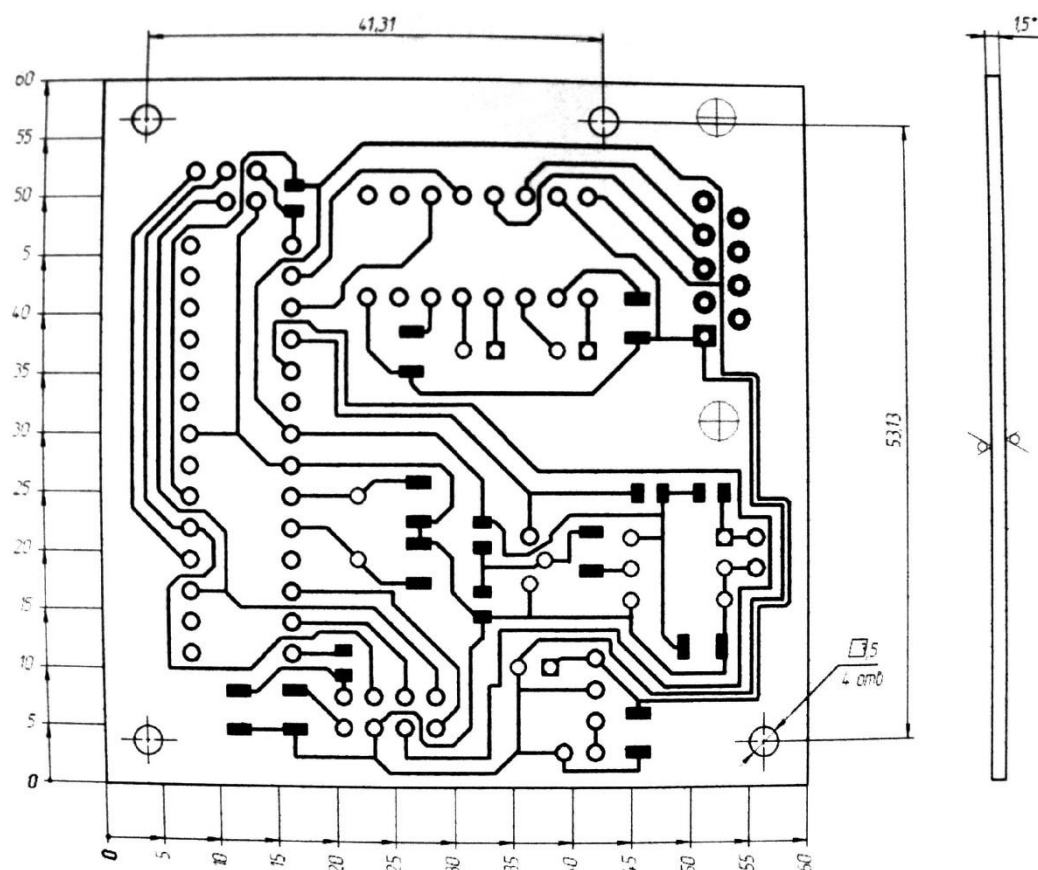


Рисунок 12 – Ескізне креслення друкованої плати

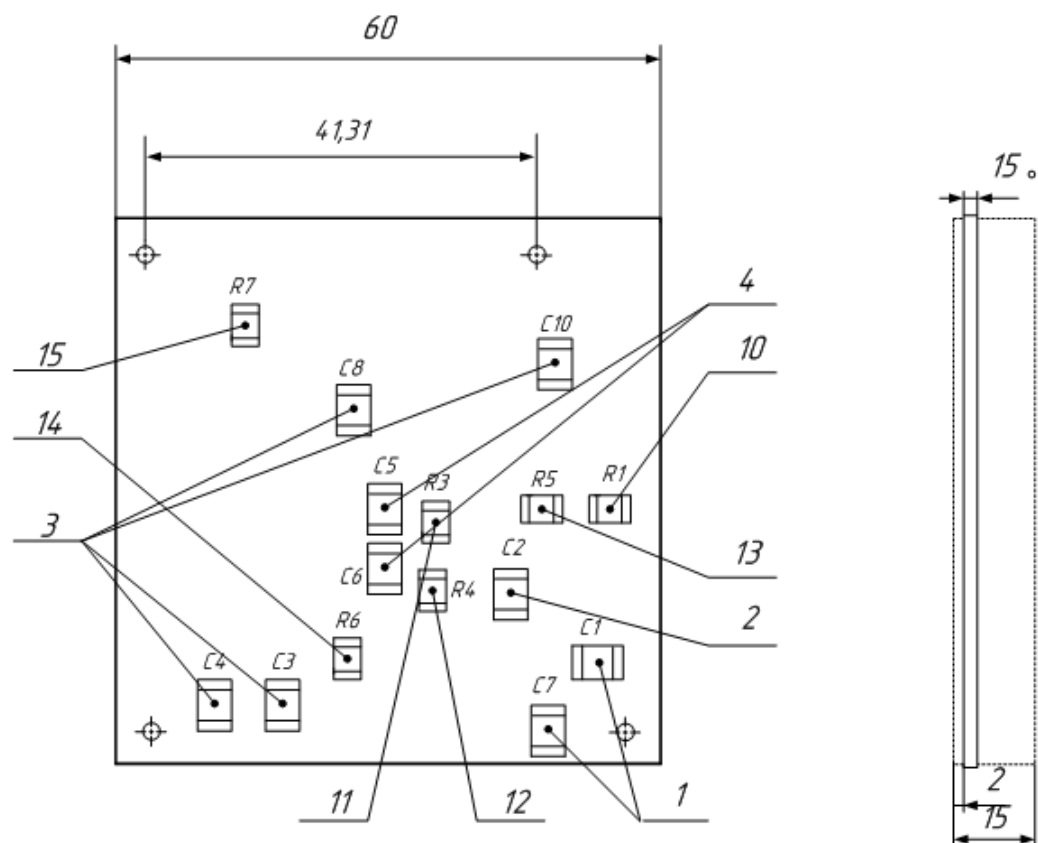


Рисунок 13 – Ескізне креслення становлення елементів на друкованій платі
(вигляд згори)

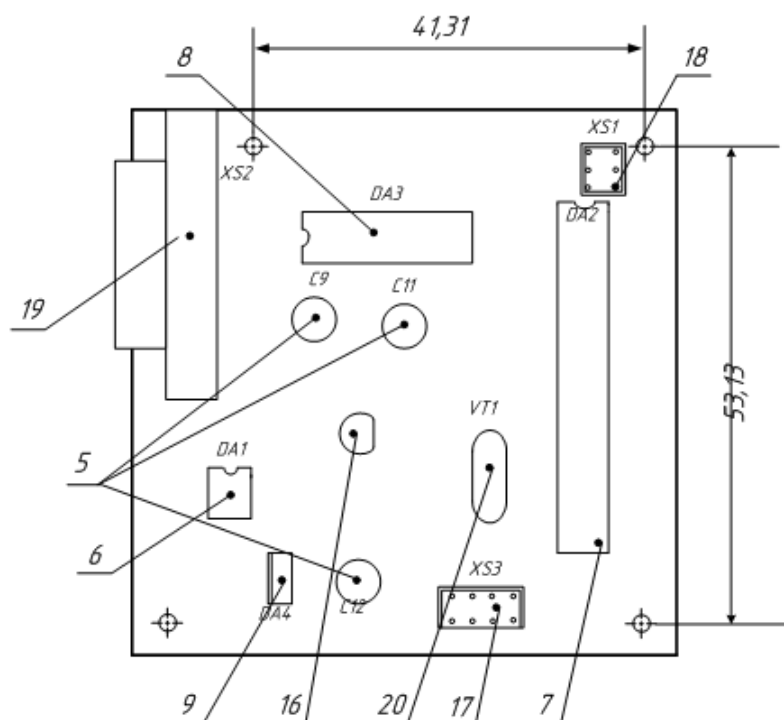


Рисунок 14 – Ескізне креслення становлення елементів на друкованій платі
(вигляд знизу)

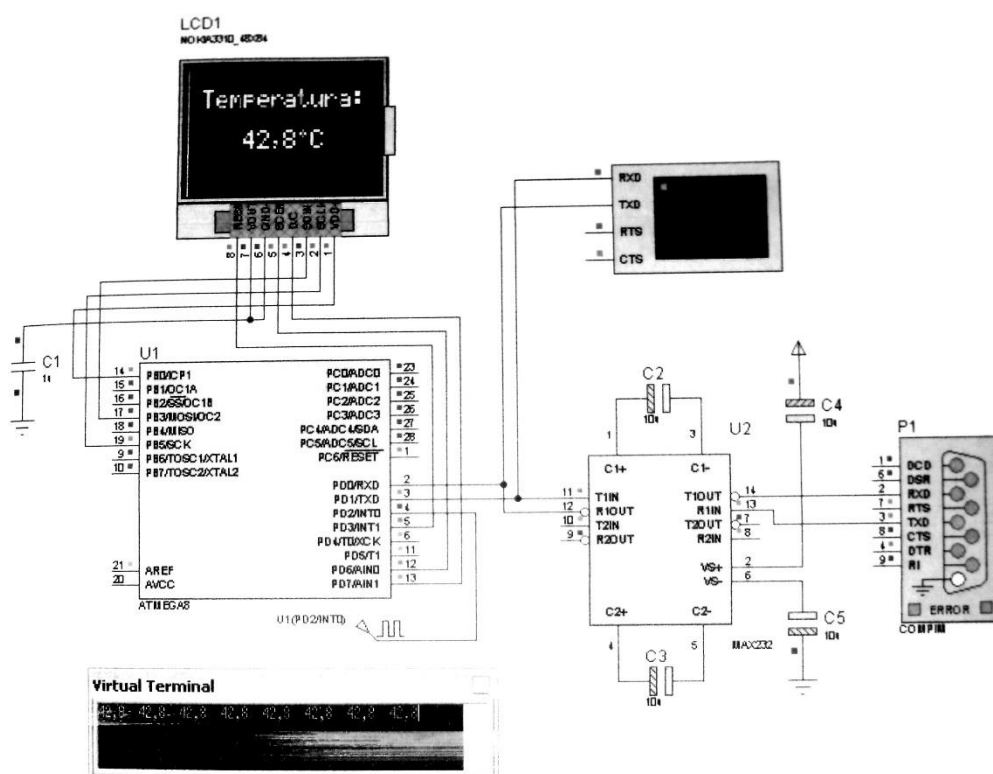


Рисунок 15 - Моделювання пристрою на частоті генерації 550 кГц

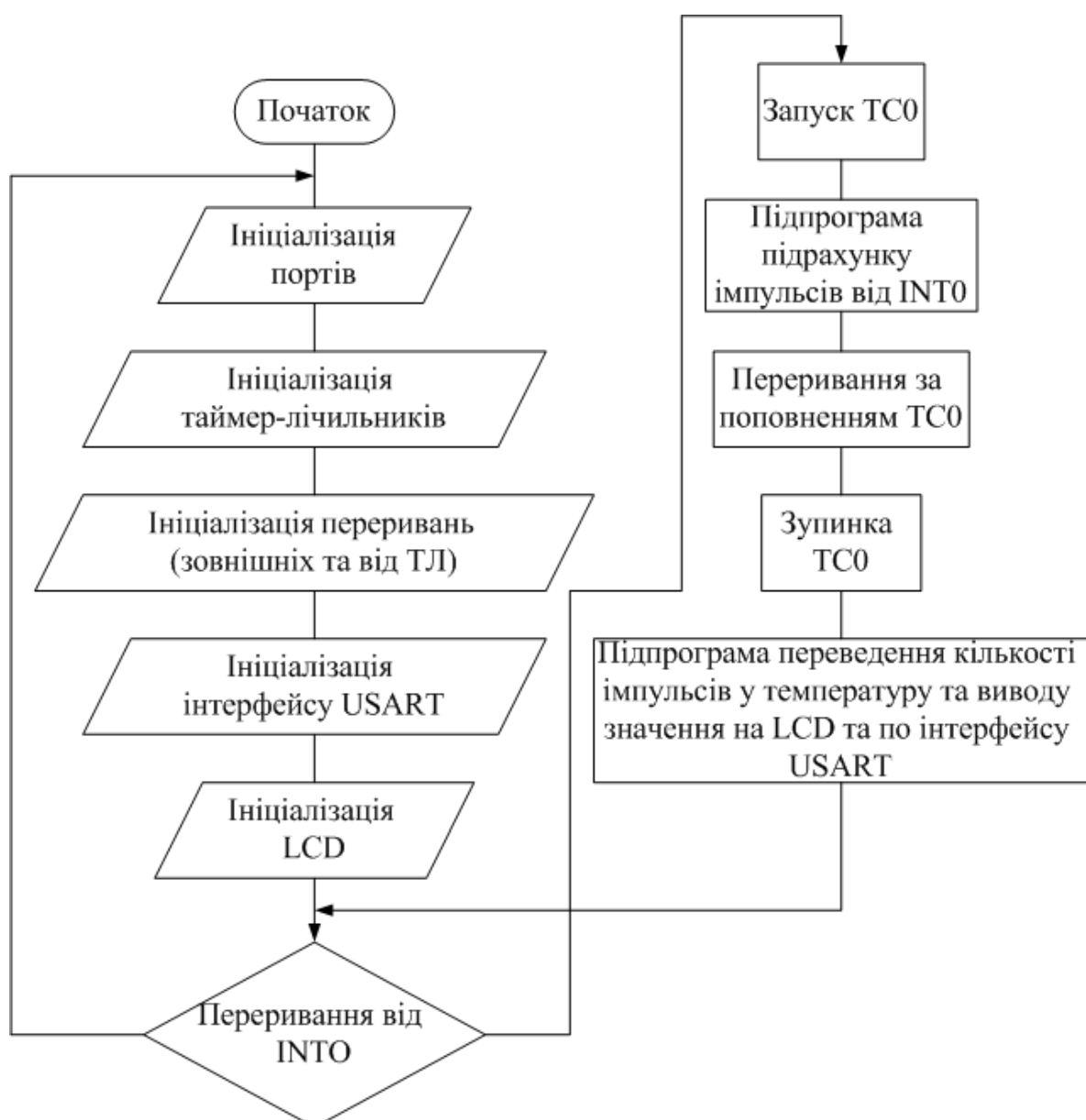


Рисунок 16 – Алгоритм програми для мікроконтролера

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕНЬ

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

Назва роботи: «Радіовимірювальний пристрій для автоматичного регулювання температури повітря приміщень»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 84.0% Схожість 16.0%

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)

Валентин ГАВРИЛЮК
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Олександр ОСАДЧУК
(прізвище, ініціали)