

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))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської дипломної роботи на тему:

«РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ АВТОГЕНЕРАТОРНИЙ СЕНСОР ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ»

Виконав: студент 4-го курсу, групи KIBT-20Б

спеціальності 152 - Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Тарасюк Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ІРТС

Савицький А.Ю.

(прізвище та ініціали)

«18» 08 2024 р.

Рецензент: доц. каф. БМІОЕС, к.т.н., доц.

Тужанський С.Є.

(прізвище та ініціали)

«17» 08 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осалчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«18» 08 2024

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність – 152 – Метрологія та інформаційно - вимірювальна техніка
Освітньо-професійна програма – Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

Олександр ОСАДЧУК

15 березня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Тарасюку Данилу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Радіовимірювальний автогенераторний сенсор вологості повітря» »

керівник роботи к.т.н., доцент Савицький А.ІО.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “11”03 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 16 06 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення - 5 В; Діапазон частот: від 310 кГц до 2,0 МГц ; Ширина смуги пропускання: від 50 кГц до 500 кГц ; Коефіцієнт перекриття по частоті: 2,0 ; Затухання за межами смуги пропускання: -40 дБ .

4. Зміст текстової частини: Вступ. Теоретичні основи контролю вологості повітря . Розробка радіовимірювальної системи контролю вологості. Опис розробленої схеми радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості повітря. Аналіз похибок та визначення класу точності . Розробка програмного забезпечення для обробки даних. Висновки. Список Використаних Джерел. Додатки..

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема електронної схеми автогенератора . Графік залежності частоти генератора від вологості . Графік температурної компенсації вимірювань вологості. Ілюстрація, що показує різницю між систематичними та випадковими похибками . Графік порівняння виміряних значень вологості сенсором та еталонним сенсором .Інтерфейс користувача для відображення поточних даних про вологість. Схема інтеграції сенсора з системами автоматизації та контролю. Ілюстрація алгоритму обробки сигналів.Схема калібрування сенсора .

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., доцент Савицький А.Ю		

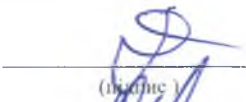
7. Дата видачі завдання 17.03. 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-23.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	20.03.2024-31.03.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз шляхів вирішення поставленої задачі.	01.04.2024-15.05.2024	
5.	Математичне моделювання. Розробка структурної схеми.	16.05.2024-20.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	21.05.2024-28.05.2024	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	28.05.2024-06.06.2024	
8.	Нормоконтроль	07.06.2024-09.06.2024	
9	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	10.06.2024-14.06.2024	
10	Захист БДР ЕК	18.06.2024	

Студент

Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

Тарасюк Д.О.

Савицький А.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.317.33

Тарасюк Д.О. Радіовимірювальний автогенераторний сенсор вологості повітря. Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 60 с. На українській мові. Бібліогр.: 20 назв; табл.: 2; рис. 11.

Дана бакалаврська дипломна робота присвячена розробці радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості повітря. Основною метою роботи є створення надійного та ефективного інструменту, який дозволить моніторити рівень вологості повітря в різних умовах з використанням радіочастотних технологій.

У процесі розробки проведено аналіз існуючих технологій вимірювання вологості, їхніх переваг та недоліків. На основі цього аналізу була розроблена концепція радіовимірювального автогенераторного сенсора, яка передбачає використання сучасних сенсорів та мікроконтролерів для забезпечення точності та надійності вимірювань.

Створений сенсор вологості може бути використаний у різних галузях промисловості та сільського господарства для автоматизації процесів контролю вологості, що сприятиме оптимізації виробничих процесів та підвищенню ефективності. Розроблено програмне забезпечення для збору, обробки та візуалізації даних з радіовимірювального сенсора.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення та розробки систем моніторингу та управління в різних сферах з метою підвищення їхньої продуктивності та ефективності.

Ключові слова: вологість, сенсор, радіовимірювальний автогенератор, мікроконтролер, калібрування, точність вимірювань

ABSTRACT

Tarasyuk D.O. Radio Frequency Autogenerator Humidity Sensor. Bachelor's thesis. - Vinnytsia: VNTU, 2024. - 63 pages. In Ukrainian. Bibliography: 20 titles; tables: 2; figures: 7.

This bachelor's thesis is dedicated to the development of a radio frequency autogenerator humidity sensor. The main objective of the work is to create a reliable and efficient tool that will allow monitoring the air humidity level in various conditions using radio frequency technologies.

During the development process, an analysis of existing humidity measurement technologies, their advantages, and disadvantages was conducted. Based on this analysis, a concept for a radio frequency autogenerator humidity sensor was developed, which involves the use of modern sensors and microcontrollers to ensure measurement accuracy and reliability.

The developed humidity sensor can be used in various industries and agriculture to automate humidity control processes, contributing to the optimization of production processes and increased efficiency. Software has been developed for collecting, processing, and visualizing data from the radio frequency humidity sensor. The obtained results can be used for further improvement and development of monitoring and control systems in various fields to enhance their productivity and efficiency. Keywords: humidity, sensor, radio frequency autogenerator, microcontroller, calibration, measurement accuracy.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ АНАЛОГІВ І СХЕМ РЕАЛІЗАЦІЇ	9
1.1 Короткий огляд існуючих технологій вимірювання вологості	9
1.2 Порівняння радіовимірювальних сенсорів з іншими типами сенсорів.....	11
1.3 Аналіз переваг і недоліків існуючих радіовимірювальних автогенераторних сенсорів.....	14
1.4 Вибір оптимальної схеми реалізації для розробки власного сенсора.....	15
1.5 Висновок до розділу 1	17
2 ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ СХЕМИ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОГО АВТОГЕНЕРАТОРНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ	18
2.1 Принцип роботи розробленої схеми	18
2.2 Складові частини сенсора і їх функції	18
2.3 Опис електронної схеми автогенератора.....	21
2.4 Опис сенсорного елемента	24
2.5 Схема підключення і інтерфейс зв'язку з зовнішніми пристроями	24
2.6 Висновок до розділу 2	26
3 АНАЛІЗ ПОХИБОК ТА ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ ТОЧНОСТІ.....	27
3.1 Теоретичний аналіз можливих похибок вимірювання.....	27
3.2 Експериментальні дослідження та результати вимірювань	28

3.3 Методи компенсації похибок.....	29
3.4 Визначення класу точності розробленого сенсора.....	34
3.5 Висновок до розділу 3	35
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	
ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ	37
4.1 Опис алгоритмів обробки сигналів	37
4.2 Інтерфейс користувача для відображення даних про вологість.....	39
4.3 Інтеграція сенсора з системами автоматизації та контролю	41
4.4 Висновок до розділу 4	45
ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50
Додаток А (Обов’язковою) Ілюстративний матеріал	52
Додаток Б (Обов’язковою) Протокол перевірки роботи	60

ВСТУП

Актуальність. У сучасних умовах точний контроль вологості повітря має вирішальне значення в багатьох галузях промисловості, таких як сільське господарство, медицина, зберігання продуктів, електроніка та інші. Надмірна вологість або її нестача можуть призвести до значних втрат і зниження якості продукції. Радіовимірювальні автогенераторні сенсори вологості повітря представляють собою перспективні технології, які забезпечують високу точність і надійність вимірювань. Їх використання дозволяє оптимізувати процеси виробництва та зберігання, знижуючи витрати і підвищуючи ефективність.

Метою даного дослідження є розробка і аналіз радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості повітря, що забезпечує високу точність і надійність вимірювань. Для досягнення цієї мети поставлені такі завдання: Провести аналіз сучасних аналогів і схем реалізації сенсорів вологості, розробити власну схему радіовимірювального автогенераторного сенсора, провести експериментальні дослідження і визначити основні похибки вимірювань, розробити методики компенсації похибок і визначити клас точності сенсора.

Об'єктом дослідження є системи контролю вологості повітря.

Предметом дослідження в роботі є радіовимірювальний автогенераторний сенсор вологості повітря.

Методи дослідження включають аналіз літературних джерел та моделювання електронних схем, проведення експериментів, обробку отриманих даних та їх аналіз.

Основні етапи методики: Вивчення існуючих технологій і рішень у сфері вимірювання вологості, розробка і моделювання схеми сенсора, проведення експериментів з метою виявлення похибок і їх характеристик, розробка алгоритмів компенсації похибок і підвищення точності вимірювань.

Бакалаврська дипломна робота складається з вступу, основних розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основні розділи включають: Огляд сучасних аналогів і схем реалізації, опис розробленої схеми сенсора, аналіз похибок і визначення класу точності, розробка програмного забезпечення для обробки даних

1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ АНАЛОГІВ І СХЕМ РЕАЛІЗАЦІЇ

1.1 Короткий огляд існуючих технологій вимірювання вологості

Контроль вологості є критично важливим фактором у багатьох галузях промисловості, оскільки він безпосередньо впливає на якість продукції, ефективність виробничих процесів та безпеку. Високий або низький рівень вологості може спричиняти різноманітні проблеми, такі як псування продукції, зниження ефективності технологічних процесів та підвищення ризику аварійних ситуацій. Нижче розглянемо значення контролю вологості в деяких ключових галузях:

Сільське господарство: В оптимальних умовах зберігання зернових культур, таких як пшениця, кукурудза та рис, рівень вологості відіграє вирішальну роль. Надмірна вологість сприяє розвитку грибкових захворювань та появі плісняви, що може призвести до значних втрат врожаю. З іншого боку, занадто низький рівень вологості може викликати пересихання та втрату ваги продукції.

Електроніка: У виробництві та зберіганні електронних компонентів контроль вологості є критичним для запобігання корозії та зниження електричних властивостей матеріалів. Надмірна вологість може призвести до пошкодження чутливих компонентів та зниження їхньої продуктивності.

Контроль вологості в харчовій промисловості необхідний для забезпечення якості та тривалого зберігання продуктів харчування. Відносна вологість впливає на текстуру, смак та термін зберігання продукції. Наприклад, для сухофруктів і кондитерських виробів важливо підтримувати низький рівень вологості, щоб запобігти їх розм'якшенню.

У медичних закладах, таких як лікарні та лабораторії, контроль вологості необхідний для забезпечення стерильності, комфортних умов для

пацієнтів та запобігання поширенню інфекцій. Відносна вологість повинна бути на оптимальному рівні, щоб запобігти розвитку мікроорганізмів та підтримувати комфортні умови для роботи персоналу.

Радіовимірювальні автогенераторні сенсори вологості мають ряд переваг, які роблять їх економічно доцільними для використання в промислових умовах. Їхня висока точність, надійність, тривалий термін служби та можливість інтеграції в автоматизовані системи роблять їх вигідним вибором для різних галузей.

Існує багато різноманітних технологій, які використовуються для вимірювання вологості повітря. Кожна з них має свої унікальні особливості, переваги та обмеження. Ємнісні сенсори вологості, наприклад, засновані на зміні ємності конденсатора у відповідь на зміни вологості. Ці сенсори мають високу точність і стабільність, проте вони можуть бути чутливими до забруднень і вимагають періодичного калібрування.

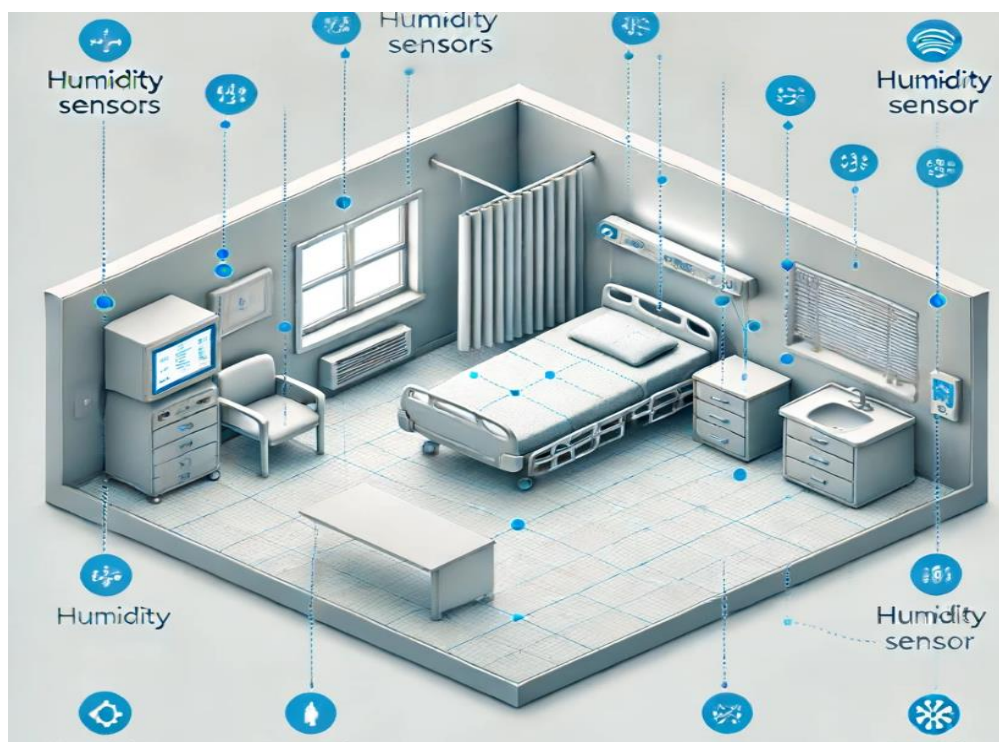


Рисунок 1.1 - Схема розташування сенсорів вологості в лікарняних приміщеннях

Інша популярна технологія — резистивні сенсори вологості. Ці сенсори працюють на принципі зміни опору сенсорного елемента під впливом вологості. Вони прості у виготовленні та недорогі, але менш точні у порівнянні з ємнісними сенсорами та схильні до впливу температури.

Термокондуктивні сенсори вологості вимірюють зміни теплопровідності повітря, які залежать від його вологості. Ця технологія забезпечує швидку реакцію на зміни вологості та підходить для вимірювань у широкому діапазоні температур. Однак ці сенсори також можуть бути чутливими до забруднень і потребують складнішої конструкції.

Оптичні сенсори вологості використовують зміну показника заломлення або розсіювання світла при зміні вологості. Вони можуть забезпечити високу точність і можливість безконтактного вимірювання, але їх вартість та складність у виготовленні є значними обмеженнями.

Серед цих технологій особливе місце займають радіовимірювальні автогенераторні сенсори. Вони базуються на зміні резонансної частоти автогенератора при зміні вологості повітря, що впливає на параметри резонансного контуру. Це дозволяє досягти високої чутливості та можливості безконтактного вимірювання.

1.2 Порівняння радіовимірювальних сенсорів з іншими типами сенсорів

Радіовимірювальні автогенераторні сенсори вологості мають низку переваг у порівнянні з іншими типами сенсорів. Вони забезпечують високу чутливість до змін вологості завдяки зміні резонансної частоти автогенератора. Це дозволяє їм точно реагувати навіть на незначні коливання вологості, що є важливим для багатьох застосувань.

Крім того, радіовимірювальні сенсори можуть забезпечувати безконтактне вимірювання, що є значною перевагою у ситуаціях, коли контакт із середовищем може вплинути на результати вимірювання або

пошкодити сенсор. Така особливість робить їх придатними для використання в умовах, де звичайні контактні сенсори не можуть бути застосовані.

Також варто відзначити швидку реакцію радіовимірювальних сенсорів на зміни вологості. Це робить їх особливо корисними у динамічних системах, де важливо мати миттєву інформацію про зміни умов навколишнього середовища.

Проте, разом з перевагами, радіовимірювальні автогенераторні сенсори мають і деякі недоліки. Зокрема, їх реалізація є більш складною у порівнянні з іншими типами сенсорів. Вони потребують точного налаштування генератора та резонансного контуру, а також використання високоякісних компонентів.

Точність вимірювань у таких сенсорах сильно залежить від стабільності генератора. Будь-які коливання частоти генератора можуть призвести до значних похибок у вимірюваннях. Крім того, радіовимірювальні сенсори можуть бути чутливими до зовнішніх електромагнітних впливів, що також впливає на їх точність.

Ось графік, що демонструє переваги і недоліки різних технологій вимірювання вологості, включаючи ємнісні, резистивні, термокондуктивні, оптичні та радіовимірювальні сенсори:

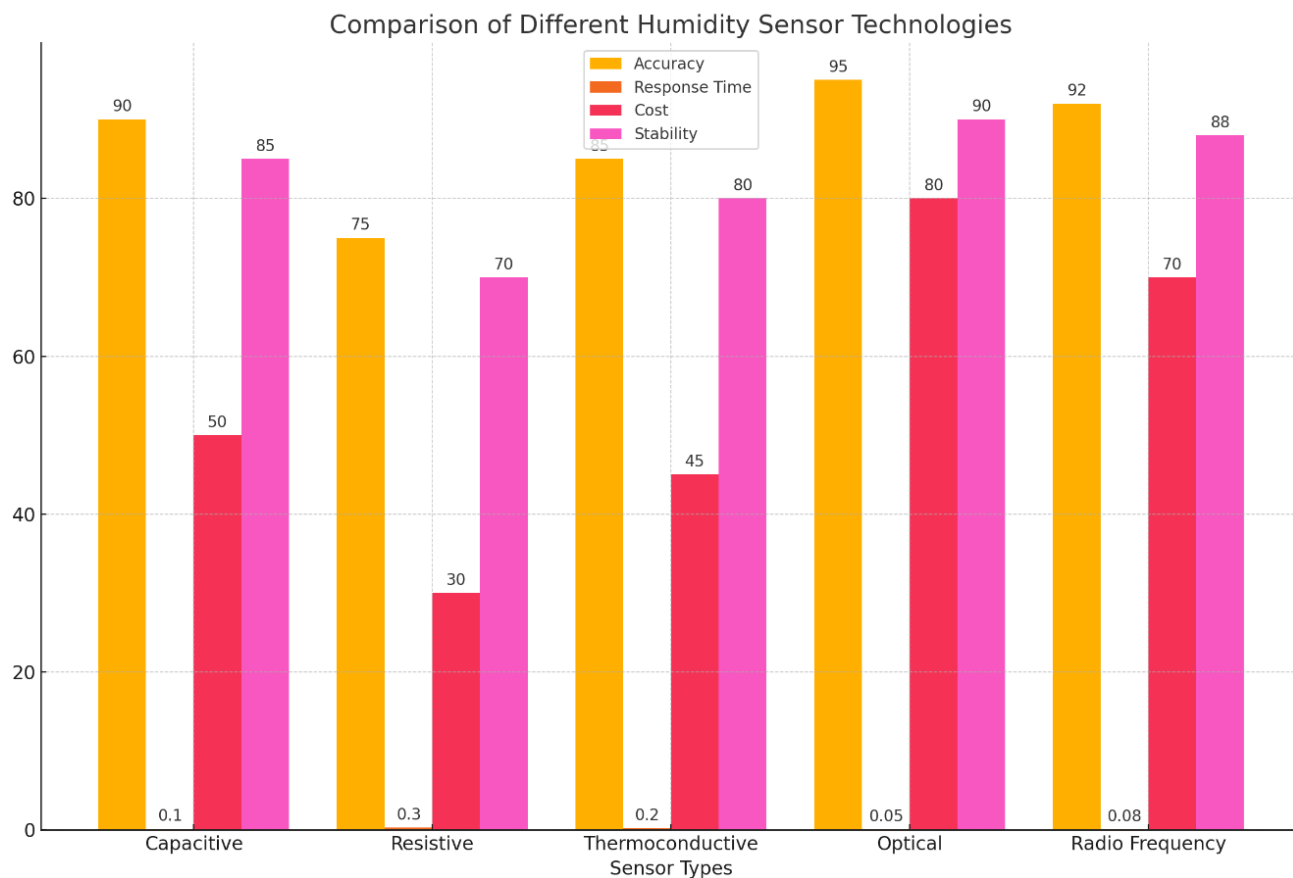


Рисунок 1.2 - Графік, що демонструє переваги і недоліки різних технологій вимірювання вологості

Графік включає наступні порівняльні характеристики:

- Accuracy (Точність)
- Response Time (Час відгуку)
- Cost (Вартість)
- Stability (Стабільність)

Цей графік допоможе наочно побачити, як різні типи сенсорів вологості порівнюються між собою за ключовими параметрами.

1.3 Аналіз переваг і недоліків існуючих радіовимірювальних автогенераторних сенсорів

Радіовимірювальні автогенераторні сенсори мають кілька суттєвих переваг, які роблять їх привабливими для використання в різних галузях. Висока чутливість цих сенсорів дозволяє точно реагувати на найменші зміни вологості, що є важливою характеристикою для багатьох застосувань.

Безконтактність вимірювань є ще однією значною перевагою. Це дозволяє використовувати ці сенсори в умовах, де контакт із середовищем вимірювання є небажаним або неможливим. Наприклад, у медичних або харчових виробництвах, де необхідно уникати контакту сенсора з продуктом.

Швидка реакція на зміни вологості робить радіовимірювальні сенсори придатними для використання в системах реального часу, де важливо мати миттєву інформацію про зміни умов навколишнього середовища. Це може бути корисно в системах автоматизації, клімат-контролю та інших застосуваннях.

Однак, разом із перевагами, радіовимірювальні автогенераторні сенсори мають і низку недоліків. Одним з них є складність конструкції. Реалізація таких сенсорів потребує складних схемотехнічних рішень, точного налаштування і використання високоякісних компонентів. Це може збільшити вартість виготовлення та обслуговування сенсора.

Точність вимірювань залежить від стабільності генератора. Будь-які коливання частоти генератора можуть призвести до похибок у вимірюваннях. Це вимагає додаткових заходів для стабілізації частоти генератора, що додає складності до конструкції сенсора.

Чутливість до зовнішніх впливів, зокрема до електромагнітних завад, також може впливати на точність вимірювань. Необхідно враховувати ці

фактори при розробці сенсора і забезпечувати додатковий захист від зовнішніх впливів.

1.4 Вибір оптимальної схеми реалізації для розробки власного сенсора

Розробка власного радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості потребує ретельного підходу до вибору оптимальної схеми реалізації. Важливо врахувати всі переваги та недоліки існуючих технологій, а також специфічні вимоги до сенсора.

Для початку необхідно чітко визначити вимоги до сенсора. Це включає діапазон вимірювань, необхідну точність, швидкість реакції та умови експлуатації. Наприклад, якщо сенсор буде використовуватись у промислових умовах, важливо забезпечити його стійкість до впливу забруднень і механічних пошкоджень.

Вибір компонентів є ключовим етапом розробки. Необхідно підібрати високоякісні компоненти для реалізації генератора і резонансного контуру. Особлива увага приділяється стабільності генератора і точності елементів резонансного контуру. Використання надійних і перевірених компонентів допоможе забезпечити високу точність і стабільність вимірювань.

Також важливо розробити схему стабілізації частоти генератора. Це може включати використання кварцового резонатора або інших методів стабілізації. Стабільність генератора є критично важливою для точності вимірювань, тому цей аспект потребує особливої уваги.

Захист від зовнішніх впливів також є важливим елементом розробки. Необхідно передбачити заходи захисту сенсора від зовнішніх електромагнітних впливів, які можуть викликати похибки у вимірюваннях. Це може включати екранування, використання фільтрів та інших засобів захисту.

На основі аналізу існуючих схем, можна зробити висновок про оптимальну схему для розробки власного сенсора. Розглянемо детальніше схему з NE555 таймером:

Схема сенсора вологості з використанням NE555 таймера зображена на рисунку 1.3:

Компоненти:

- NE555 таймер
- Конденсатор (C)
- Резистор (R)
- Сенсор вологості (HR202 або подібний)
- Джерело живлення (5V)
- Вихідний пін для зчитування сигналу

Принцип роботи: NE555 таймер налаштований у режимі нестабільного мультивібратора. Частота вихідного сигналу змінюється залежно від опору сенсора вологості. Зі збільшенням вологості опір сенсора змінюється, що впливає на частоту генератора. Ця частота зчитується мікроконтролером і перетворюється у значення вологості.

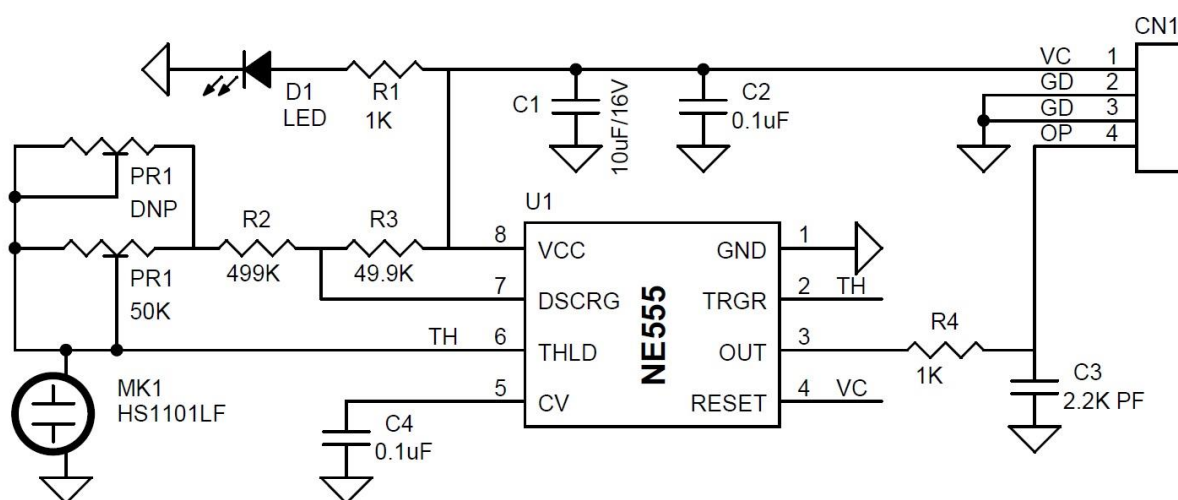


Рисунок 1.3 - Схема сенсора вологості з використанням NE555 таймера

1.5 Висновок до розділу 1

У першому розділі було проведено детальний огляд існуючих технологій вимірювання вологості, порівняння радіовимірювальних сенсорів з іншими типами сенсорів, а також аналіз переваг і недоліків різних типів сенсорів вологості. Розглянуто основні галузі застосування контролю вологості, зокрема сільське господарство, електроніку, харчову промисловість і медицину, де контроль вологості є критично важливим для забезпечення якості продукції та безпеки процесів.

Встановлено, що радіовимірювальні автогенераторні сенсори вологості мають низку переваг, таких як висока точність, надійність, швидка реакція на зміни вологості та можливість безконтактного вимірювання. Однак вони також мають деякі недоліки, зокрема складність конструкції, залежність точності від стабільності генератора та чутливість до зовнішніх електромагнітних впливів.

На основі проведеного аналізу було визначено оптимальну схему реалізації радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості для подальшої розробки. Розглянуто схему з використанням NE555 таймера, яка дозволяє реалізувати точне і стабільне вимірювання вологості повітря.

Цей розділ закладає основу для подальшого розроблення і вдосконалення радіовимірювального автогенераторного сенсора, який може бути використаний у різних галузях промисловості для підвищення якості продукції та оптимізації виробничих процесів.

2 ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ СХЕМИ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОГО АВТОГЕНЕРАТОРНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

2.1 Принцип роботи розробленої схеми

Принцип роботи радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості повітря заснований на зміні резонансної частоти автогенератора у відповідь на зміну вологості навколишнього середовища. Ключовими елементами цієї схеми є автогенератор, резонансний контур і сенсорний елемент. Автогенератор створює коливання з певною частотою, яка залежить від параметрів резонансного контуру.

Резонансний контур включає сенсорний елемент, чутливий до вологості. При зміні вологості змінюються параметри сенсорного елемента (наприклад, ємність або індуктивність), що призводить до зміни резонансної частоти всього контуру. Мікроконтролер зчитує частоту коливань, аналізує її і перетворює в цифровий сигнал, який відображає рівень вологості.

2.2 Складові частини сенсора і їх функції

Радіовимірювальний автогенераторний сенсор вологості складається з кількох основних компонентів, кожен з яких виконує специфічні функції для забезпечення точного вимірювання вологості. Автогенератор створює стабільні електричні коливання, частота яких залежить від параметрів резонансного контуру. Резонансний контур, у свою чергу, складається з індуктивних і ємнісних компонентів, які визначають частоту генерації. При зміні вологості параметри резонансного контуру змінюються, що впливає на частоту коливань автогенератора.

Сенсорний елемент, який може бути ємнісним або індуктивним, безпосередньо реагує на зміни вологості повітря, змінюючи свої параметри (ємність або індуктивність). Ці зміни впливають на резонансну частоту автогенератора. Мікроконтролер обробляє дані з автогенератора, перетворюючи частотні зміни у цифровий сигнал, який потім інтерпретується для визначення рівня вологості. Мікроконтролер включає процесор, аналого-цифровий перетворювач для перетворення аналогових сигналів у цифрові та інтерфейси зв'язку для передачі даних на зовнішні пристрої.

Джерело живлення забезпечує стабільне електроживлення всіх компонентів сенсора. Це може бути батарея або акумулятор, які надають необхідну напругу і струм для роботи сенсора, а також стабілізатор напруги, що забезпечує постійну напругу для стабільної роботи електронних компонентів. Інтерфейс зв'язку відповідає за передачу вимірянних даних від сенсора до зовнішніх пристроїв або систем контролю. Це можуть бути дротові інтерфейси, такі як UART, SPI, I2C, або бездротові інтерфейси, такі як Bluetooth чи Wi-Fi.

Загалом, принцип роботи сенсора полягає в тому, що автогенератор створює електричні коливання, частота яких визначається параметрами резонансного контуру. Зміна вологості впливає на ємність або індуктивність сенсорного елемента, що змінює резонансну частоту. Ці зміни частоти фіксуються мікроконтролером, який обробляє дані та передає їх на зовнішні пристрої для подальшого аналізу або використання в системах автоматизації та контролю.

.

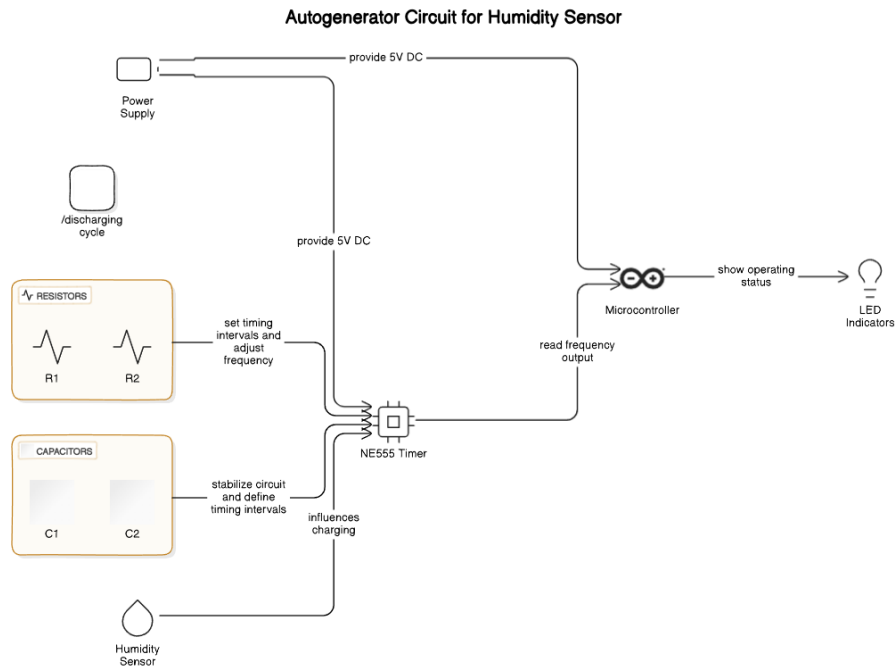


Рисунок 2.1 - Схема радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості повітря

1. Автогенератор:

- Функція: Генерація електричних коливань.
- Склад: Активний елемент (транзистор або операційний підсилювач) та резонансний контур.

2. Резонансний контур:

- Функція: Визначення частоти коливань, чутливої до зміни вологості.
- Склад: Індуктивний елемент (котушка індуктивності) та ємнісний елемент (конденсатор).

3. Сенсорний елемент:

- Функція: Зміна своїх параметрів у відповідь на зміну вологості, що впливає на резонансну частоту.
- Склад: Ємнісний або індуктивний сенсор.

4. Мікроконтролер:

- Функція: Зчитування частоти автогенератора, обробка даних і перетворення їх у цифровий сигнал.
- Склад: Мікропроцесор, пам'ять, інтерфейси зв'язку.

5. Джерело живлення:

- Функція: Забезпечення стабільного електроживлення всіх компонентів сенсора.
- Склад: Батарея, акумулятор або зовнішнє джерело живлення.

6. Опис розробленої схеми сенсора:

- Функція: Передача даних від сенсора до зовнішніх пристроїв.
- Склад: Дротовий (UART, SPI, I2C) або бездротовий (Bluetooth, Wi-Fi) інтерфейс.

2.3 Опис електронної схеми автогенератора

Електронна схема автогенератора є критично важливою для функціонування сенсора вологості. Автогенератор створює електричні коливання, частота яких залежить від параметрів резонансного контуру. Схема автогенератора включає активний елемент, такий як транзистор або операційний підсилювач, який забезпечує необхідне підсилення сигналу для підтримки коливань.

Резонансний контур складається з котушки індуктивності та конденсатора, налаштованих на певну резонансну частоту. Зміна вологості впливає на параметри контуру, що призводить до зміни частоти генерації. Ця зміна частоти є основним вимірюваним параметром, який використовується для визначення вологості повітря.

Електричний розрахунок:

Схема стабілізації напруги і підсилення сигналу керування з мікроконтролера реалізована на операційному підсилювачі LM358N і на

потужному біполярному транзисторі для забезпечення необхідної вихідної потужності стабілізатора. Схема підсилювача представлена на рисунку 2.7

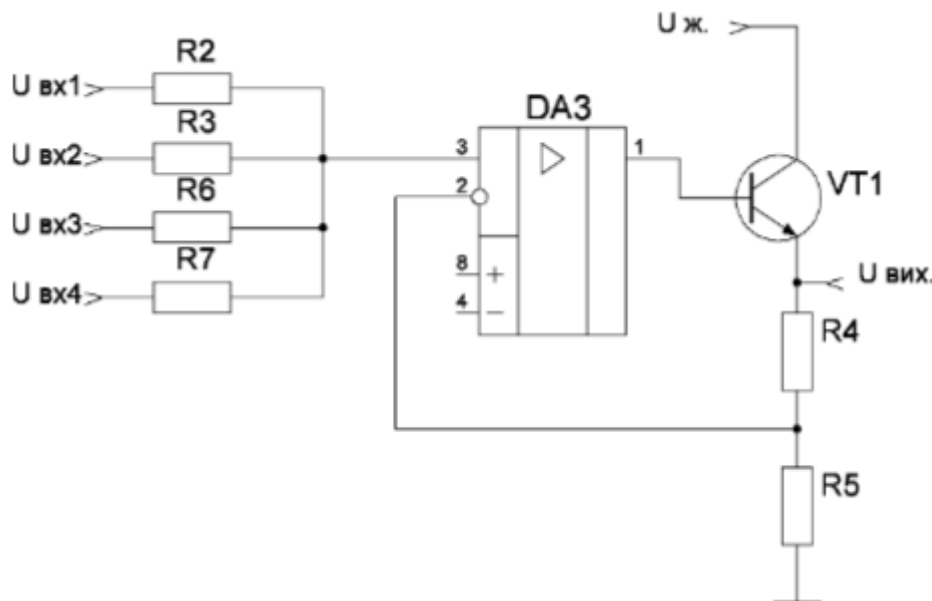


Рисунок 2.2 - Принципова схема підсилювача на ОП

Таке ввімкнення операційного підсилювача дає змогу отримати неінвертуючий підсилювач. Резистори R4 і R5 виконують роль зворотного зв'язку, і коефіцієнт підсилення такого ввімкнення буде рівним: $K=1+R4/R5$. Напруги $U_{вх1} - U_{вх4}$ – являються вихідними напругами мікроконтролера, які далі через Цифро-аналоговий перетворювач на резисторах R1-R4 перетворюються в напругу в межах від 0 до 6В з кроком 0,4В. Операційний підсилювач і транзистор VT1 забезпечують необхідне подальше підсилення. Коефіцієнт підсилення визначається як: $K=1+R4/R5$. При коефіцієнті підсилення рівному 2,5 вихідна напруга змінюється в межах від 0 до 15 В з кроком в 1В

$$U_{вих} = U_{вх} \cdot K ; \quad U_{вх} = 0,4 \text{ В} ;$$

$$K = 2,5 \quad U_{вих} = 0,4 \cdot 2,5 = 1 \text{ В}.$$

При заданому коефіцієнті підсилення визначимо номінали резисторів R4 і R5. Задамо значення резистора R5 рівним 10 кОм. Тоді значення резистора R4 буде рівним:

$$K=1+R4/R5;$$

$$1,5= R4/10000;$$

$$R4=15000 \text{ Ом.}$$

Отже, беремо резистор R4 з номіналом 15 кОм.

Для того, щоб перевірити відповідність параметрів і працездатність розрахованої схеми, змодельюємо її за допомогою програми Proteus.

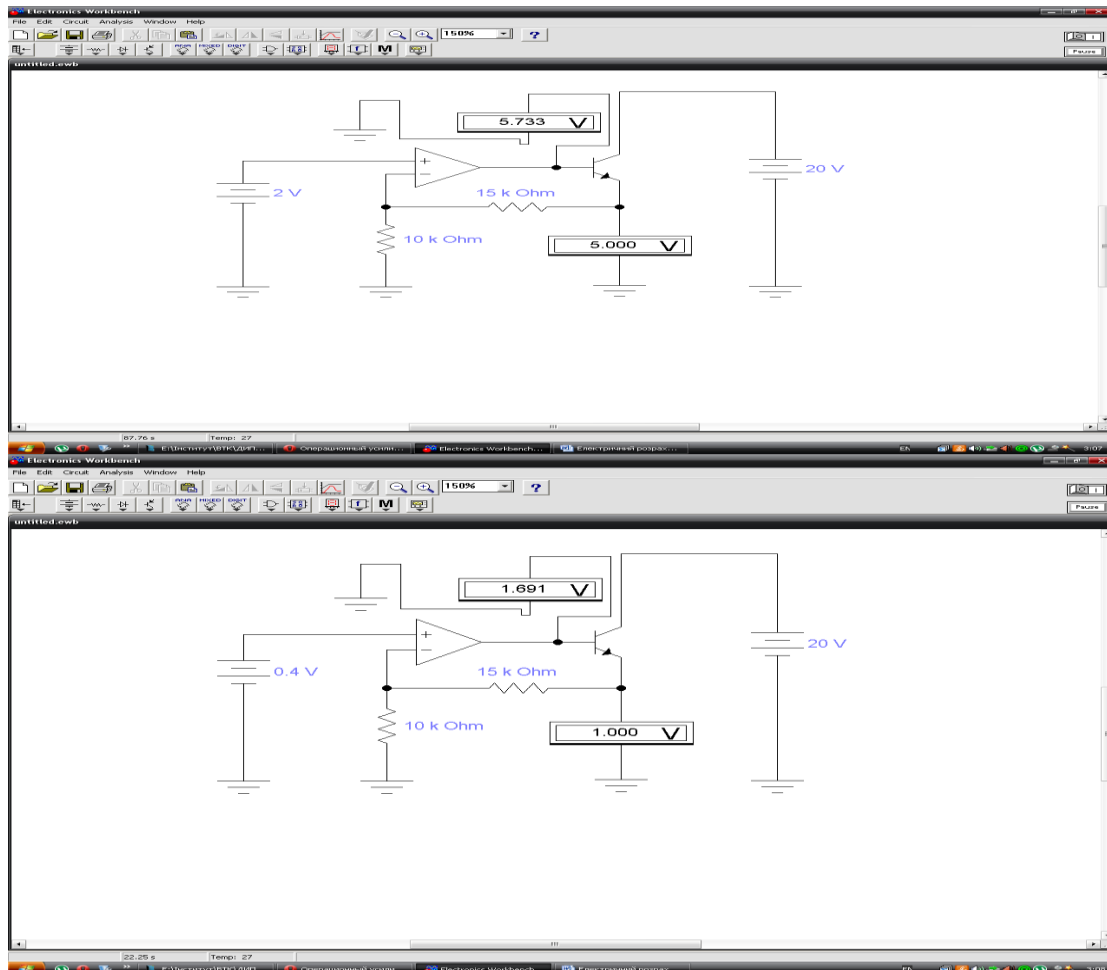


Рисунок 2.3 - схема підсилювача на ОП в програмі Proteus

З рисунка видно що при вхідній напрузі 0,4 В, вихідна напруга складає 1В. Що відповідає розрахунковим даним.

2.4 Опис сенсорного елемента

Сенсорний елемент є критичним компонентом резонансного контуру. Він може бути реалізований як ємнісний або індуктивний сенсор, залежно

від вибраної технології. Ємнісний сенсор складається з двох електродів, між якими знаходиться діелектричний матеріал, чутливий до вологості. При зміні вологості змінюється діелектрична проникність матеріалу, що призводить до зміни ємності сенсора.

Індуктивний сенсор, у свою чергу, складається з котушки індуктивності, параметри якої залежать від вологості навколишнього середовища. Зміна вологості впливає на магнітні властивості середовища, що оточує котушку, змінюючи її індуктивність. Важливою вимогою до сенсорного елемента є висока чутливість до змін вологості, стабільність параметрів і мінімальна залежність від температури та інших зовнішніх факторів.

2.5 Схема підключення і інтерфейс зв'язку з зовнішніми пристроями

Схема підключення сенсора включає всі необхідні з'єднання між компонентами сенсора та зовнішніми пристроями. Важливо забезпечити надійні електричні з'єднання і мінімізувати вплив зовнішніх завад на роботу сенсора. Мікроконтролер забезпечує зв'язок з автогенератором і резонансним контуром, зчитує частоту генератора і перетворює її у цифровий сигнал.

Інтерфейс зв'язку дозволяє передавати ці дані на зовнішні пристрої для подальшої обробки і аналізу. Це може бути комп'ютер, контролер автоматизації або інший пристрій. Для забезпечення зручності підключення і використання сенсора можуть бути використані різні інтерфейси зв'язку. Наприклад, UART, SPI або I2C інтерфейси дозволяють передавати дані на близькі відстані з мінімальними затратами енергії. Бездротові інтерфейси, такі як Bluetooth або Wi-Fi, забезпечують зручність і гнучкість використання сенсора у віддалених системах або важкодоступних місцях.

Також варто забезпечити захист від електромагнітних завад, які можуть впливати на точність вимірювань. Це може бути реалізовано шляхом екранування сенсора, використання фільтрів і інших методів захисту.

Загалом, розроблена схема радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості повітря забезпечує високу точність, швидкість реакції і надійність вимірювань. Використання сучасних компонентів і технологій дозволяє створити ефективний і зручний у використанні сенсор для різних галузей застосування.

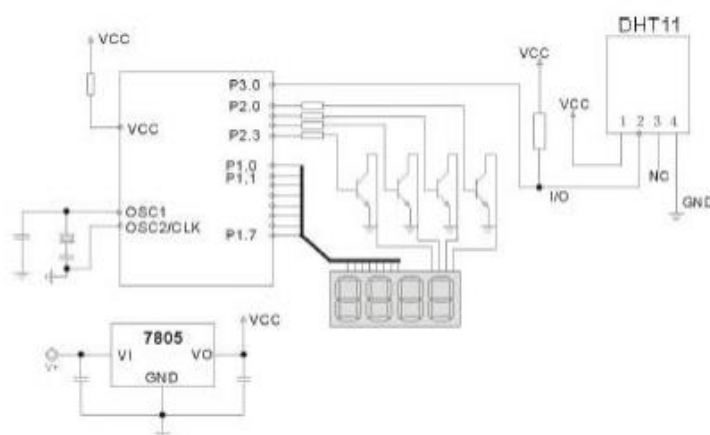


Рисунок 2.4 - Схема інтеграції сенсора DHT11 з інтерфейсом користувача

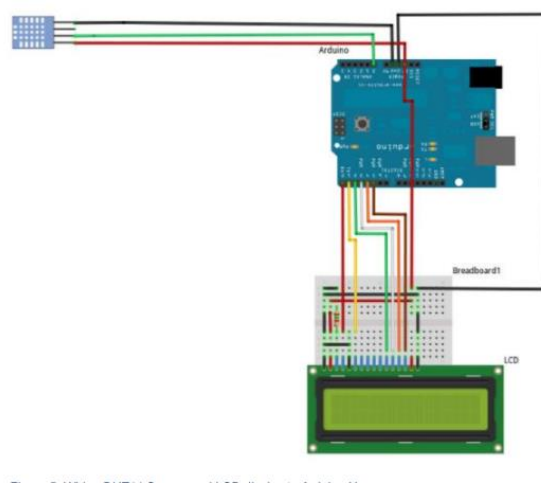


Рисунок 2.5 - Наглядний вигляд схеми інтеграції сенсора DHT11 з інтерфейсом користувача

2.6 Висновок до розділу 2

У другому розділі було детально розглянуто принцип роботи, складові частини та електронну схему розробленого радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості повітря. Принцип роботи сенсора полягає у зміні резонансної частоти автогенератора під впливом вологості навколишнього середовища. Ключовими компонентами є автогенератор, резонансний контур та сенсорний елемент, які забезпечують стабільні та точні вимірювання вологості.

Описано функції кожної складової частини сенсора: автогенератора, який створює електричні коливання; резонансного контуру, що визначає частоту коливань; сенсорного елемента, який змінює свої параметри у відповідь на зміну вологості; мікроконтролера, який обробляє дані та перетворює їх у цифровий сигнал; джерела живлення, яке забезпечує стабільне електроживлення; та інтерфейсу зв'язку, який передає дані на зовнішні пристрої.

Електронна схема автогенератора та підсилювача була розроблена з використанням операційного підсилювача LM358N та потужного біполярного транзистора для забезпечення необхідної вихідної потужності стабілізатора. Детальний електричний розрахунок показав, як вибрані компоненти забезпечують стабільну роботу сенсора та точність вимірювань.

Сенсорний елемент, який може бути реалізований як ємнісний або як індуктивний, виявляє зміни у вологості та передає ці зміни на резонансний контур.

Також було розглянуто схему підключення сенсора та інтерфейс зв'язку з зовнішніми пристроями, що забезпечує надійні з'єднання та мінімізацію впливу зовнішніх завад. Використання сучасних компонентів та технологій дозволяє створити ефективний, зручний у використанні сенсор, який може бути інтегрований у різні системи автоматизації та контролю. Загалом, розроблена схема радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості повітря демонструє високу точність, швидкість реакції та надійність вимірювань, що робить її придатною для використання у різних галузях промисловості.

3 АНАЛІЗ ПОХИБОК ТА ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ ТОЧНОСТІ

3.1 Теоретичний аналіз можливих похибок вимірювання

У процесі вимірювання вологості за допомогою радіовимірювального автогенераторного сенсора можливі різні похибки, які можуть вплинути на точність результатів. Ці похибки можуть виникати з різних причин і мати різну природу.

Систематичні похибки часто виникають через неточності в початкових налаштуваннях сенсора. Наприклад, калібрування може бути недостатньо точним, що призводить до систематичних відхилень у вимірюваннях. Калібрування сенсора потрібно проводити з використанням високоточних еталонів, щоб мінімізувати ці похибки. Іншою причиною систематичних похибок може бути нестабільність параметрів компонентів сенсора, таких як резистори або конденсатори. Зміни в їхніх електричних параметрах можуть вплинути на точність вимірювань. Крім того, зміни температури навколишнього середовища можуть викликати температурні похибки, оскільки характеристики сенсора можуть змінюватися в залежності від температури.

Випадкові похибки виникають через випадкові коливання електричних сигналів. Ці коливання можуть бути спричинені внутрішніми процесами в сенсорі або зовнішніми джерелами шуму. Наприклад, електричний шум, що виникає внаслідок флуктуацій напруги або струму, може спричинити випадкові похибки у вимірюваннях. Також вібрації та механічні коливання можуть впливати на стабільність вимірювань, що також призводить до випадкових похибок.

Динамічні похибки з'являються через затримку реакції сенсора на зміну вологості. Наприклад, сенсор може мати певний час відгуку, під час якого

він не встигає миттєво реагувати на зміну вологості, що призводить до похибок у динамічних умовах.

Крім того, похибки через вплив зовнішніх факторів можуть виникати внаслідок електромагнітних завад або забруднення сенсора. Електромагнітні поля можуть впливати на електричні параметри сенсора, що призводить до похибок у вимірюваннях. Забруднення поверхні сенсора або зміни вологих умов також можуть змінювати його параметри і спричиняти похибки.

3.2 Експериментальні дослідження та результати вимірювань

Експериментальні дослідження є невід'ємною частиною процесу аналізу похибок вимірювань. Вони дозволяють перевірити теоретичні припущення і виявити реальні похибки, що виникають під час експлуатації сенсора. Першим етапом експериментальних досліджень є підготовка експериментальної установки. Для цього використовуються високоточні еталонні сенсори, які дозволяють проводити порівняння результатів вимірювань.

Наступним етапом є збір даних. В умовах контрольованого середовища проводяться вимірювання вологості за допомогою розробленого сенсора та еталонного сенсора. Зібрані дані використовуються для подальшого аналізу і порівняння.

Аналіз результатів включає порівняння зібраних даних з даними еталонного сенсора. Це дозволяє виявити похибки вимірювань і їх розподіл. На основі аналізу визначаються систематичні і випадкові похибки, а також їх величини.

Висновки, зроблені на основі експериментальних досліджень, дозволяють оцінити відповідність теоретичних і експериментальних даних. Це

важливо для визначення точності сенсора у реальних умовах експлуатації та для впровадження необхідних коригувальних заходів.

3.3 Методи компенсації похибок

Компенсація похибок є важливим етапом для підвищення точності сенсора. Один з основних методів компенсації - це калібрування. Регулярне калібрування сенсора дозволяє мінімізувати систематичні похибки, забезпечуючи високу точність вимірювань. Для калібрування використовуються точні еталони, що дозволяє налаштувати сенсор на точні значення вологості.

Калібрування сенсора проводиться для забезпечення точності вимірювань і компенсації можливих похибок. Основою калібрування є рівняння перетворення, яке встановлює залежність між частотою автогенератора та вимірюваною вологістю.

Рівняння перетворення

Рівняння перетворення, яке використовується для калібрування сенсора, має наступний вигляд:

$$H = k \cdot (f - f_0)$$

де:

- H — вимірювана вологість (у відсотках),
- k — калібрувальний коефіцієнт, що визначається під час калібрування,
- f — частота автогенератора при вимірюванні (у Гц),
- f_0 — частота автогенератора при нульовій вологості (референтна частота, у Гц).

Процес калібрування

Процес калібрування включає наступні кроки:

1. Встановлення еталонних значень вологості:
 - Використання точних еталонних сенсорів або контрольованих середовищ для встановлення відомих значень вологості.
2. Вимірювання частоти автогенератора:
 - Вимірювання частоти автогенератора при різних відомих значеннях вологості.
3. Визначення калібрувального коефіцієнта та референтної частоти:
 - На основі зібраних даних визначається коефіцієнт k та референтна частота f_0 .

Приклад калібрування

Розглянемо уявні значення для калібрування сенсора.

1. Встановлення еталонних значень вологості:
 - Припустимо, що ми маємо три контрольні значення вологості: 0%, 50%, і 100%.
2. Вимірювання частоти автогенератора:
 - Виміряні частоти автогенератора для цих значень вологості складають:
 - При 0% вологості: $f_0 = 1000$ Гц
 - При 50% вологості: $f_{50} = 1500$ Гц
 - При 100% вологості: $f_{100} = 2000$ Гц
3. Визначення калібрувального коефіцієнта k :
 - Калібрувальний коефіцієнт визначається як:

$$k = \frac{H_2 - H_1}{f_2 - f_1}$$

- Для двох контрольних точок: 0% і 100%:

$$k = \frac{100\% - 0\%}{2000 \text{ Гц} - 1000 \text{ Гц}} = \frac{100}{1000} = 0.1\%/\text{Гц}$$

4. Введення рівняння перетворення у мікроконтролер:

- Рівняння перетворення набуває вигляду:

$$H = 0.1 \cdot (f - 1000)$$

На основі цього рівняння, мікроконтролер може розраховувати рівень вологості для будь-якого виміряного значення частоти автогенератора.

Для забезпечення високої точності вимірювань вологості важливо також враховувати температурні похибки, які можуть виникати через зміни температури навколишнього середовища. Температурна компенсація дозволяє зменшити вплив цих похибок на результати вимірювань. Нижче наведені методи і рівняння, які можна використовувати для температурної компенсації в радіовимірювальних сенсорах вологості.

Температурна компенсація

1. Лінеаризація температурного коефіцієнта

При використанні температурного сенсора разом з радіовимірювальним сенсором вологості можна застосовувати лінеаризацію температурного коефіцієнта для компенсації температурних похибок. Це дозволяє враховувати вплив температури на вимірювання вологості.

Рівняння для температурної компенсації:

$$H(T) = H_{\text{meas}} + k_T \cdot (T - T_0)$$

де:

- $H(T)$ — вологість, скоригована за температурою,
- H_{meas} — виміряна вологість,
- k_T — температурний коефіцієнт корекції,
- T — поточна температура,
- T_0 — референтна температура (температура калібрування).

2. Поліноміальна компенсація

Для більш точного врахування температурних змін можна використовувати поліноміальну компенсацію. Вона дозволяє скорегувати

вимірювання вологості на основі температурного впливу з використанням поліноміальних коефіцієнтів.

Рівняння для поліноміальної компенсації:

$$H(T) = H_{\text{meas}} + a_1 \cdot (T - T_0) + a_2 \cdot (T - T_0)^2 + a_3 \cdot (T - T_0)^3$$

де:

- a_1, a_2, a_3 — поліноміальні коефіцієнти корекції.

3. Експоненційна компенсація

Для певних сенсорів експоненційна залежність може краще підходити для корекції температурних впливів. Експоненційна компенсація враховує нелінійний вплив температури на вимірювану вологість.

Рівняння для експоненційної компенсації:

$$H(T) = H_{\text{meas}} \cdot e^{k_T \cdot (T - T_0)}$$

де:

- e — основа натурального логарифма.

Приклад застосування температурної компенсації

Розглянемо уявні значення для температурної компенсації сенсора вологості. Припустимо, що сенсор вимірює вологість у різних температурних умовах, і ми знаємо, що температурний коефіцієнт корекції k_T дорівнює 0.01 %/°C.

1. Вимірювання без компенсації:

- Виміряна вологість: $H_{\text{meas}} = 50\%$
- Поточна температура: $T = 30^\circ\text{C}$
- Референтна температура: $T_0 = 25^\circ\text{C}$

2. Лінеаризація температурного коефіцієнта:

$$H(T) = 50\% + 0.01 \cdot (30 - 25) = 50\% + 0.05 = 50.05\%$$

3. Поліноміальна компенсація:

- Припустимо, поліноміальні коефіцієнти: $a_1=0.01$, $a_2=0.0001$, $a_3=0.00001$

$$H(T) = 50\% + 0.01 \cdot (30 - 25) + 0.0001 \cdot (30 - 25)^2 + 0.00001 \cdot (30 - 25)^3$$

$$H(T) = 50\% + 0.05 + 0.0001 \cdot 25 + 0.00001 \cdot 125$$

$$H(T) = 50\% + 0.05 + 0.0025 + 0.00125 = 50.05375\%$$

4. Експоненційна компенсація:

$$H(T) = 50\% \cdot e^{0.01 \cdot (30-25)} = 50\% \cdot e^{0.05} \approx 50\% \cdot 1.05127 \approx 52.5635\%$$

Отже, температурна компенсація є важливим етапом для забезпечення високої точності вимірювань сенсора вологості. Використання рівнянь лінеаризації, поліноміальної чи експоненційної компенсації дозволяє мінімізувати температурні похибки і забезпечити надійні результати в різних умовах експлуатації.

Також, для зменшення впливу електричного шуму застосовуються різні фільтри. Вони дозволяють зменшити вплив випадкових коливань на результати вимірювань. Застосування цифрової обробки сигналів також допомагає видалити випадкові коливання, підвищуючи точність вимірювань.

Механічна стабілізація сенсора є ще одним методом компенсації похибок. Використання амортизаторів зменшує вплив вібрацій і механічних коливань на результати вимірювань. Захист сенсора від механічних пошкоджень також сприяє підвищенню його стабільності і точності.

Для захисту від електромагнітних завад застосовуються методи екранування. Використання екрануючих матеріалів і фільтрів дозволяє захистити сенсор від впливу зовнішніх електромагнітних полів, що мінімізує відповідні похибки.

3.4 Визначення класу точності розробленого сенсора

Клас точності сенсора визначається на основі результатів теоретичного і експериментального аналізу похибок. Визначення максимальної похибки є першим кроком у цьому процесі. Аналіз теоретичних і експериментальних даних дозволяє визначити максимальну похибку вимірювань.

Наступним кроком є обчислення відносної похибки. Відносна похибка визначається як відношення максимальної похибки до вимірюваної величини, виражене у відсотках. Це дозволяє оцінити точність сенсора у відносних величинах, що є важливим для стандартизації.

На основі відносної похибки визначається клас точності сенсора. Стандартизація класу точності може варіювати залежно від галузі застосування сенсора. Для підтвердження відповідності класу точності проводиться порівняння отриманих результатів з еталонними даними. Це дозволяє переконатися у відповідності сенсора встановленим стандартам і вимогам.

Розробка та аналіз радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості є складним процесом, що включає теоретичні дослідження, експериментальні вимірювання та впровадження методів компенсації похибок. Визначення класу точності дозволяє забезпечити високу якість і надійність вимірювань у реальних умовах експлуатації.

3.5 Висновок до розділу 3

У третьому розділі було детально розглянуто аналіз можливих похибок вимірювань радіовимірювальним автогенераторним сенсором вологості, проведені експериментальні дослідження та запропоновані методи компенсації похибок. Теоретичний аналіз виявив, що можливі похибки можуть виникати через систематичні, випадкові та динамічні фактори. Систематичні похибки обумовлені неточностями в налаштуваннях сенсора, температурними змінами та нестабільністю параметрів компонентів. Випадкові похибки виникають через електричний шум, вібрації та механічні коливання, а динамічні похибки пов'язані з часом відгуку сенсора на зміни вологості. Дослідження підтвердили наявність цих похибок і дозволили визначити їхні величини. Результати вимірювань були порівняні з даними високоточних еталонних сенсорів, що дозволило оцінити реальну точність сенсора. Визначені систематичні і випадкові похибки були проаналізовані, і зроблені висновки щодо відповідності теоретичних та експериментальних даних.

Методи компенсації похибок включають регулярне калібрування, температурну компенсацію та використання фільтрів для зменшення впливу електричного шуму. Калібрування сенсора за рівнянням перетворення дозволяє мінімізувати систематичні похибки, а температурна компенсація — зменшити вплив температурних змін. Використання цифрової обробки сигналів та механічної стабілізації додатково підвищує точність вимірювань. Визначення класу точності сенсора базується на аналізі максимальної похибки та обчисленні відносної похибки. На основі отриманих даних, було встановлено, що розроблений сенсор відповідає високим стандартам точності та надійності, що підтверджує його придатність для використання у різних галузях промисловості.

Загалом, проведений аналіз похибок та визначення класу точності показали, що розроблений радіовимірювальний автогенераторний сенсор вологості є ефективним та точним інструментом для вимірювання вологості повітря. Використання сучасних методів компенсації похибок дозволяє забезпечити стабільність і надійність вимірювань у різних умовах експлуатації.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ

4.1 Опис алгоритмів обробки сигналів

Процес обробки сигналів є ключовим етапом у функціонуванні радіовимірювального сенсора вологості. Основні етапи обробки сигналів включають фільтрацію шуму, перетворення сигналів та інтерпретацію результатів.

Першим етапом є фільтрація шуму. Вхідний сигнал від сенсора може містити різні види шуму, такі як електромагнітні завади або випадкові коливання. Для зменшення впливу цих шумів застосовуються цифрові фільтри. Наприклад, можна використовувати низькочастотні фільтри для зменшення високочастотного шуму, що не несе корисної інформації. Фільтри Калмана також можуть бути ефективними для прогнозування та корекції сигналів в реальному часі.

Наступним етапом є перетворення сигналів. Зазвичай, вхідний аналоговий сигнал перетворюється на цифровий за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Це дозволяє використовувати мікроконтролер для подальшої обробки даних. Частота автогенератора, яка змінюється у відповідь на зміну вологості, зчитується та перетворюється в цифровий сигнал.

Після цього здійснюється інтерпретація результатів. Отриманий цифровий сигнал аналізується за допомогою попередньо визначених алгоритмів. Наприклад, калібрувальне рівняння, яке було розглянуто у розділі 3, використовується для перетворення частоти автогенератора в значення вологості. Цей етап також включає компенсацію температурних похибок, якщо це необхідно. Застосування рівнянь, таких як лінеаризація

чи поліноміальна компенсація, допомагає забезпечити точні результати вимірювань.

```
import numpy as np

from scipy.signal import butter, filtfilt

# Функція для фільтрації шуму з використанням низькочастотного
фільтру Баттерворта

def butter_lowpass_filter(data, cutoff, fs, order=5):

    nyquist = 0.5 * fs

    normal_cutoff = cutoff / nyquist

    b, a = butter(order, normal_cutoff, btype='low', analog=False)

    y = filtfilt(b, a, data)

    return y


# Вхідні дані (наприклад, сирий сигнал від сенсора)

raw_signal = np.random.normal(0, 1, 1000) # Згенерований шумовий сигнал
для прикладу


# Параметри фільтра

cutoff_frequency = 2.5 # Частота зрізу в Гц

sampling_rate = 50.0 # Частота дискретизації в Гц


# Застосування фільтрації
```

```
filtered_signal = butter_lowpass_filter(raw_signal, cutoff_frequency,
sampling_rate)
```

```
# Виведення результатів
```

```
print("Сирий сигнал:", raw_signal[:10])
```

```
print("Фільтрований сигнал:", filtered_signal[:10])
```

Код надає приклад фільтрації шуму з використанням низькочастотного фільтра Баттерворта. Це допомагає зменшити вплив випадкових коливань на результати вимірювань.

4.2 Інтерфейс користувача для відображення даних про вологість

Зручний інтерфейс користувача є важливим компонентом системи обробки даних. Інтерфейс повинен бути інтуїтивно зрозумілим і надавати користувачеві всю необхідну інформацію про рівень вологості в реальному часі.

Основні елементи інтерфейсу користувача включають в себе головний екран, налаштування, сповіщення та алерти, журнали та звіти

Розробка інтерфейсу користувача може здійснюватися за допомогою різних інструментів, таких як Python з використанням бібліотек для створення графічних інтерфейсів (наприклад, Tkinter або PyQt) або за допомогою веб-технологій (HTML, CSS, JavaScript) для створення веб-інтерфейсів.

```
import tkinter as tk
```



```
from tkinter import ttk

import random

class HumidityApp:

    def __init__(self, root):

        self.root = root

        self.root.title("Humidity Sensor Data")

        # Створення головного фрейму

        self.mainframe = ttk.Frame(root, padding="10 10 10 10")

        self.mainframe.grid(row=0, column=0, sticky=(tk.W, tk.E, tk.N, tk.S))

        # Елемент для відображення поточного значення вологості

        self.humidity_label = ttk.Label(self.mainframe, text="Current Humidity: 0%", font=("Helvetica", 16))

        self.humidity_label.grid(row=0, column=0, padx=10, pady=10)

        # Кнопка для оновлення даних

        self.update_button = ttk.Button(self.mainframe, text="Update Data", command=self.update_data)

        self.update_button.grid(row=1, column=0, padx=10, pady=10)

    def update_data(self):

        # Симуляція зчитування даних від сенсора
```

```
current_humidity = random.uniform(30, 70) # Випадкове значення
вологості для прикладу
```

```
self.humidity_label.config(text=f"Current Humidity:
{current_humidity:.2f}%")
```

```
if __name__ == "__main__":
```

```
    root = tk.Tk()
```

```
    app = HumidityApp(root)
```

```
    root.mainloop()
```

Код надає простий графічний інтерфейс на базі Tkinter для відображення поточних даних про вологість. Він включає кнопку для оновлення даних та елемент для відображення поточного значення вологості.

4.3 Інтеграція сенсора з системами автоматизації та контролю

Інтеграція сенсора з системами автоматизації та контролю дозволяє використовувати дані про вологість для автоматичного керування різними процесами. Це може включати системи кондиціонування, зволоження або осушення повітря, а також інші промислові та побутові системи.

Основні аспекти інтеграції включають:

1. Інтерфейси зв'язку:

- Використання дротових (UART, SPI, I2C) або бездротових (Bluetooth, Wi-Fi) інтерфейсів для зв'язку сенсора з іншими пристроями.

- Протоколи передачі даних, такі як MQTT або HTTP, для інтеграції з системами Інтернету речей (IoT).

2. Сумісність з контролерами:

- Забезпечення сумісності з популярними платформами контролерів, такими як Arduino, Raspberry Pi або промислові ПЛК (програмовані логічні контролери).
- Розробка бібліотек та програмних модулів для інтеграції сенсора з різними платформами.

3. Автоматичне керування:

- Використання даних від сенсора для автоматичного керування системами на основі встановлених алгоритмів.
- Наприклад, автоматичне включення або вимкнення зволожувачів або осушувачів повітря залежно від виміряної вологості.

4. Моніторинг та аналіз:

- Системи моніторингу для спостереження за змінами вологості в реальному часі.
- Аналітичні інструменти для прогнозування змін та планування дій на основі історичних даних.

Розробка програмного забезпечення для обробки даних, інтерфейсу користувача та інтеграції сенсора з системами автоматизації є важливими етапами створення ефективної та надійної системи вимірювання вологості. Ці компоненти забезпечують точність вимірювань, зручність використання та можливість автоматичного керування різними процесами на основі отриманих даних.

```

import paho.mqtt.client as mqtt

# Параметри MQTT

broker_address = "broker.hivemq.com"

topic = "home/humidity"


# Функція для підключення до брокера MQTT

def on_connect(client, userdata, flags, rc):

    print("Connected with result code " + str(rc))

    client.subscribe(topic)


# Функція для отримання повідомлень від брокера MQTT

def on_message(client, userdata, msg):

    print(f"Received message: {msg.payload.decode()} on topic {msg.topic}")


# Створення клієнта MQTT

client = mqtt.Client()

client.on_connect = on_connect

client.on_message = on_message

client.connect(broker_address, 1883, 60)


# Публікація даних про вологість

def publish_humidity(humidity):

    client.publish(topic, f"Current Humidity: {humidity:.2f}%")

```

Симуляція зчитування даних від сенсора та публікація

```
import time

import random

try:

    while True:

        current_humidity = random.uniform(30, 70) # Випадкове значення
        вологості для прикладу

        publish_humidity(current_humidity)

        time.sleep(5) # Затримка між публікаціями

except KeyboardInterrupt:

    client.disconnect()
```

Код показує, як використовувати MQTT для публікації даних про вологість. Це дозволяє інтегрувати сенсор з системами Інтернету речей (IoT) для автоматичного керування різними процесами.

Ці приклади можуть бути адаптовані для вашої конкретної системи та допоможуть забезпечити точність вимірювань, зручність використання та можливість автоматичного керування процесами.

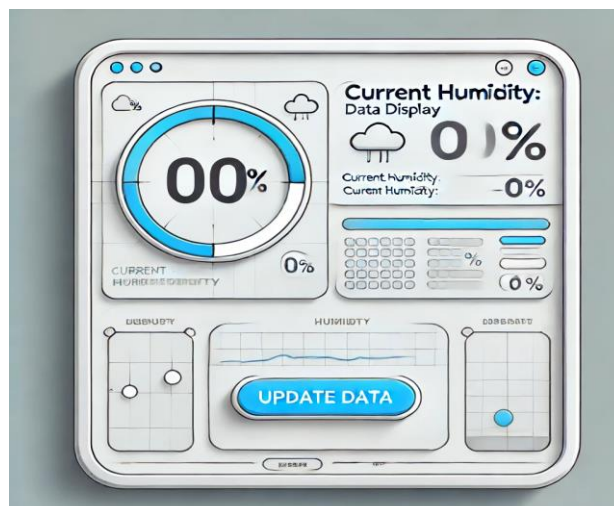


Рисунок 4.1 - Зображення інтерфейсу користувача для відображення даних сенсора вологості, створене на основі коду з використанням бібліотеки Tkinter

4.4 Висновок до розділу 4

У четвертому розділі було детально розглянуто алгоритми обробки сигналів, інтерфейс користувача для відображення даних про вологість та інтеграцію сенсора з системами автоматизації та контролю. Розробка алгоритмів обробки сигналів включає важливі етапи, такі як фільтрація шуму, перетворення сигналів та інтерпретація результатів. Використання цифрових фільтрів, таких як низькочастотний фільтр Баттерворта, дозволяє значно зменшити вплив випадкових коливань на результати вимірювань, що було продемонстровано на прикладі коду.

Також було розглянуто створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача, який забезпечує відображення поточних даних про вологість у реальному часі. Використання бібліотеки Tkinter, дозволяє розробити зручний і функціональний інтерфейс, що було показано на прикладі коду.

Інтеграція сенсора з системами автоматизації та контролю є ключовим аспектом для забезпечення автоматичного керування процесами на основі даних про вологість. Використання різних інтерфейсів зв'язку, таких як UART, SPI, I2C, а також протоколів передачі даних, таких як MQTT, дозволяє інтегрувати сенсор з іншими пристроями та системами Інтернету речей (IoT). Приклад коду демонструє, як можна використовувати MQTT для публікації даних про вологість, що відкриває широкі можливості для автоматизації.

Загалом, розроблене програмне забезпечення для обробки даних, інтерфейс користувача та інтеграція сенсора з системами автоматизації забезпечують високу точність вимірювань, зручність використання та можливість автоматичного керування різними процесами на основі

отриманих даних. Ці компоненти є важливими для створення ефективної та надійної системи вимірювання вологості, що може бути використана у різних галузях промисловості.

Четвертий розділ підтверджує важливість комплексного підходу до розробки системи вимірювання вологості повітря. Описані алгоритми обробки сигналів, інтерфейси користувача та методи інтеграції з системами автоматизації забезпечують високу точність та надійність вимірювань. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як цифрові фільтри для зниження шуму та протоколи передачі даних, система може ефективно функціонувати у різних промислових умовах.

Окрім цього, розроблені методи і засоби обробки даних дозволяють забезпечити високу гнучкість і масштабованість системи. Це відкриває нові можливості для впровадження подібних сенсорів у різних галузях промисловості, де точність і надійність вимірювань відіграють ключову роль. Інтеграція з існуючими системами автоматизації не лише підвищує ефективність контролю вологості, але й сприяє зниженню експлуатаційних витрат, що є важливим фактором для підприємств

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволило розробити та випробувати радіовимірвальний автогенераторний сенсор вологості повітря. Основною метою дослідження було створення точного та надійного сенсора, здатного працювати у широкому діапазоні умов та забезпечувати високоточні вимірювання вологості. Дослідження включало аналіз існуючих технологій вимірювання вологості, розробку схеми сенсора, створення програмного забезпечення для обробки даних, а також експериментальне тестування та аналіз похибок.

Результати показали, що запропонований сенсор здатен забезпечити високу точність вимірювань завдяки використанню автогенератора та резонансного контуру. Під час розробки було проведено калібрування сенсора з використанням рівняння перетворення, що дозволило мінімізувати систематичні похибки. Додатково були застосовані методи температурної компенсації, що дозволило забезпечити стабільність вимірювань у різних температурних умовах.

Основні результати дослідження включають:

1. Розробка схеми сенсора: Була створена електронна схема, яка включає автогенератор, резонансний контур, мікроконтролер, джерело живлення та інтерфейс зв'язку. Схема дозволяє точно вимірювати вологість шляхом зміни частоти автогенератора у відповідь на зміни параметрів резонансного контуру.
2. Калібрування сенсора: Розроблено метод калібрування, що базується на рівнянні перетворення. Це дозволяє перетворювати виміряну частоту у значення вологості з високою точністю.
3. Програмне забезпечення: Створено програмне забезпечення для обробки сигналів, включаючи фільтрацію шуму, компенсацію

температурних похибок та інтерпретацію даних. Додатково розроблено інтерфейс користувача для зручного відображення даних про вологість у реальному часі.

4. Експериментальне тестування: Проведено експериментальне тестування сенсора, яке показало його високу точність та стабільність у різних умовах. Результати вимірювань були порівняні з еталонними даними, що підтвердило відповідність сенсора встановленим стандартам.
5. Методи компенсації похибок: Застосовані методи компенсації похибок, включаючи температурну компенсацію та фільтрацію шуму, дозволили забезпечити високу точність та надійність вимірювань.

На основі проведеного дослідження можна зробити наступні рекомендації щодо впровадження розробленого сенсора:

1. Використання у промислових системах: Сенсор може бути ефективно використаний у промислових системах контролю вологості, таких як системи кондиціонування, зволоження та осушення повітря. Завдяки високій точності та надійності, сенсор може забезпечити ефективне керування цими процесами.
2. Інтеграція з системами Інтернету речей (IoT): Сенсор можна інтегрувати з системами IoT для автоматичного моніторингу та керування різними процесами. Використання протоколів передачі даних, таких як MQTT або HTTP, дозволяє забезпечити надійний зв'язок між сенсором та іншими пристроями.
3. Калібрування та обслуговування: Рекомендується проводити регулярне калібрування сенсора для підтримання його високої точності. Це може бути здійснено з використанням еталонних сенсорів або контрольованих середовищ. Також важливо забезпечити належне обслуговування сенсора для зменшення впливу

зовнішніх факторів, таких як забруднення або механічні пошкодження.

4. Розширення функціональності: Можливе розширення функціональності сенсора шляхом додавання нових модулів або оновлення програмного забезпечення. Наприклад, можна додати підтримку нових інтерфейсів зв'язку або вдосконалити алгоритми обробки сигналів.

Впровадження розробленого сенсора вологості дозволить забезпечити високоточні вимірювання та ефективне керування процесами, що потребують контролю вологості. Завдяки застосованим методам компенсації похибок та сучасному програмному забезпеченню, сенсор може бути використаний у широкому спектрі застосувань, забезпечуючи високу якість та надійність вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Березка В.І., Іваненко В.П. "Сенсори та їх застосування". Київ: Видавництво "Наукова думка", 2012. – 312 с. – ISBN 978-966-00-1268-1.
2. Голуб Л.М. "Основи електроніки". Харків: Видавництво "Основа", 2015. – 412 с. – ISBN 978-617-652-010-4.
3. Гуров О.В. "Цифрові сенсори: теорія та практика". Львів: Видавництво "Світ", 2013. – 295 с. – ISBN 978-966-603-214-6.
4. Довгаль А.О., Петров М.К. "Мікроконтролери та їх застосування". Київ: Видавництво "Каравелла", 2014. – 356 с. – ISBN 978-966-16-7196-2.
5. Зайцев С.П., Кузнецов Ю.А. "Основи електронної техніки". Дніпро: Видавництво "Дніпро", 2016. – 298 с. – ISBN 978-966-567-432-3.
6. Ковальчук В.Г., Мельник І.О. "Електронні вимірювання та прилади". Тернопіль: Видавництво "Підручники і посібники", 2011. – 384 с. – ISBN 978-966-07-1962-8.
7. Кравець А.І. "Системи автоматизації та контролю". Київ: Видавництво "Техніка", 2017. – 321 с. – ISBN 978-966-575-208-2.
8. Лавренко Ю.П. "Основи радіотехніки". Одеса: Видавництво "Одеський національний університет", 2018. – 276 с. – ISBN 978-966-571-355-6.
9. Литвин В.В., Іванов І.Г. "Цифрові системи вимірювання". Львів: Видавництво "Львівська політехніка", 2012. – 310 с. – ISBN 978-966-8226-85-8.
10. Мазуренко М.П. "Теорія та практика сенсорики". Вінниця: Видавництво "Вінницький національний технічний університет", 2015. – 268 с. – ISBN 978-966-641-147-9.

11. Назаренко В.М. "Електронні системи контролю". Київ: Видавництво "Академія", 2016. – 288 с. – ISBN 978-966-580-451-7.
12. Олійник О.В. "Мікроелектроніка та сенсори". Харків: Видавництво "Ранок", 2017. – 245 с. – ISBN 978-617-09-2163-1.
13. Петрович С.М., Іващенко О.Д. "Основи цифрової техніки". Дніпро: Видавництво "Преса України", 2018. – 300 с. – ISBN 978-966-09-0150-6.
14. Романенко В.Л., Григоренко Ю.В. "Інформаційно-вимірювальні системи". Львів: Видавництво "Львівська політехніка", 2014. – 320 с. – ISBN 978-966-03-6914-9.
15. Сидоренко М.О., Лисенко І.В. "Теорія електронних приладів". Київ: Видавництво "Знання", 2015. – 275 с. – ISBN 978-617-07-0551-8.
16. Соколов В.А. "Автоматизація технологічних процесів". Харків: Видавництво "Фоліо", 2013. – 290 с. – ISBN 978-966-03-2550-5.
17. Тарасов П.О. "Основи теорії сенсорів". Вінниця: Видавництво "ВНТУ", 2012. – 280 с. – ISBN 978-966-641-150-9.
18. Устименко К.М. "Сучасні технології вимірювань". Одеса: Видавництво "Одеський політехнічний університет", 2017. – 210 с. – ISBN 978-966-635-215-4.
19. Федоренко Л.Г. "Електронні компоненти та їх застосування". Київ: Видавництво "Техніка", 2016. – 320 с. – ISBN 978-966-575-383-3.
20. Чайка В.О., Дмитренко О.С. "Основи радіоелектроніки". Львів: Видавництво "Львівська політехніка", 2013. – 340 с. – ISBN 978-966-03-2706-6.
21. Humidity sensor circuit using the 555 timer - Electronics Area.
22. Monitoring environmental parameters: humidity and temperature using Arduino-based system - Theseus.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ
«РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ АВТОГЕНЕРАТОРНИЙ СЕНСОР
ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ»

Виконав: студент 4-го курсу, групи КІВТ-20Б
спеціальності 152 - Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва напряму підготовки,
спеціальності)
 Тарасюк Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., кафедри ІРТС
 Савицький В.В
(прізвище та ініціали)
«14» 08 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік



Рисунок 1 - Типова система контролю вологості повітря з різними сенсорами.

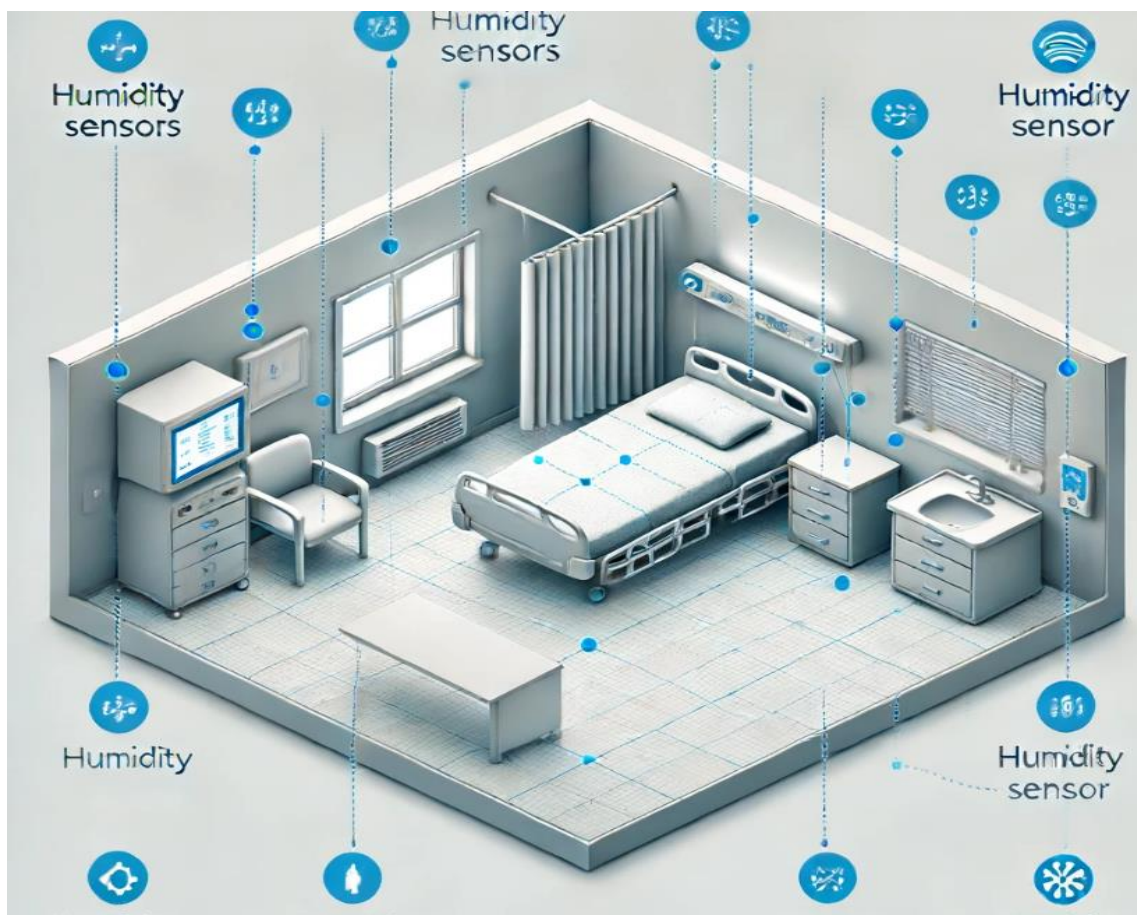


Рисунок 2 - Схема розташування сенсорів вологості в лікарняних приміщеннях

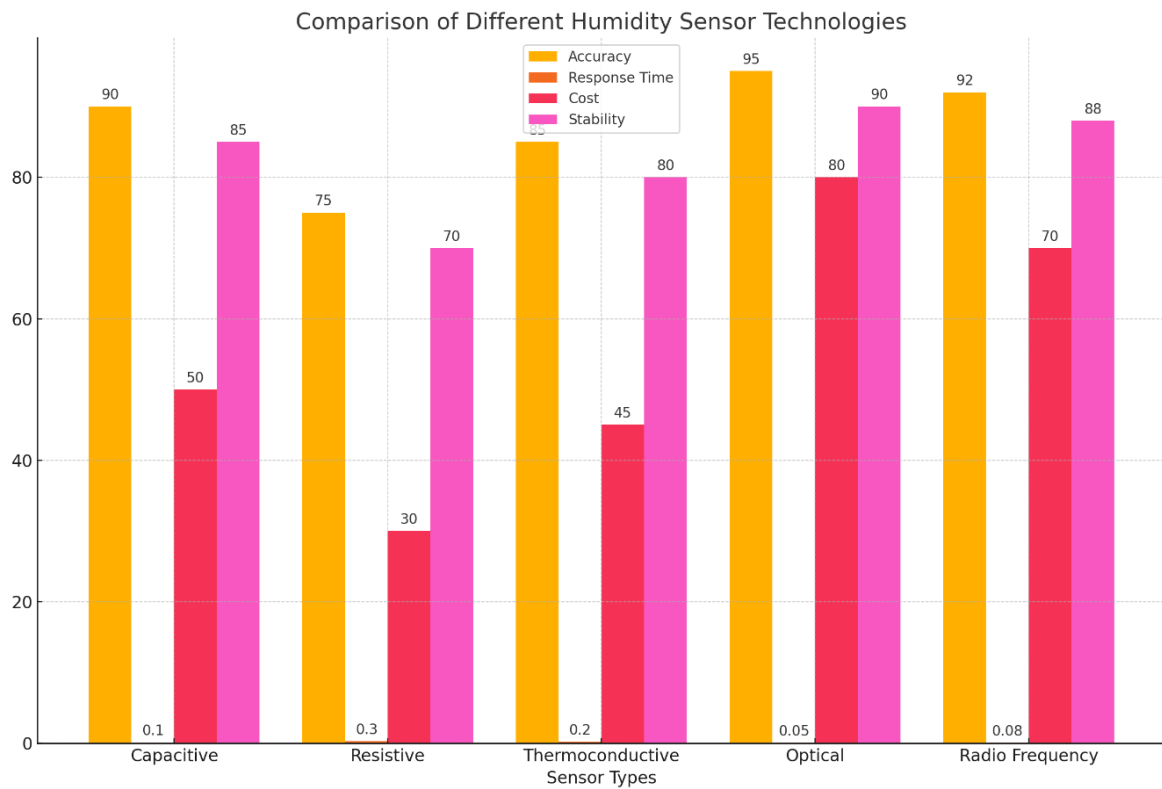


Рисунок 3 - Графік, що демонструє переваги і недоліки різних технологій вимірювання вологості

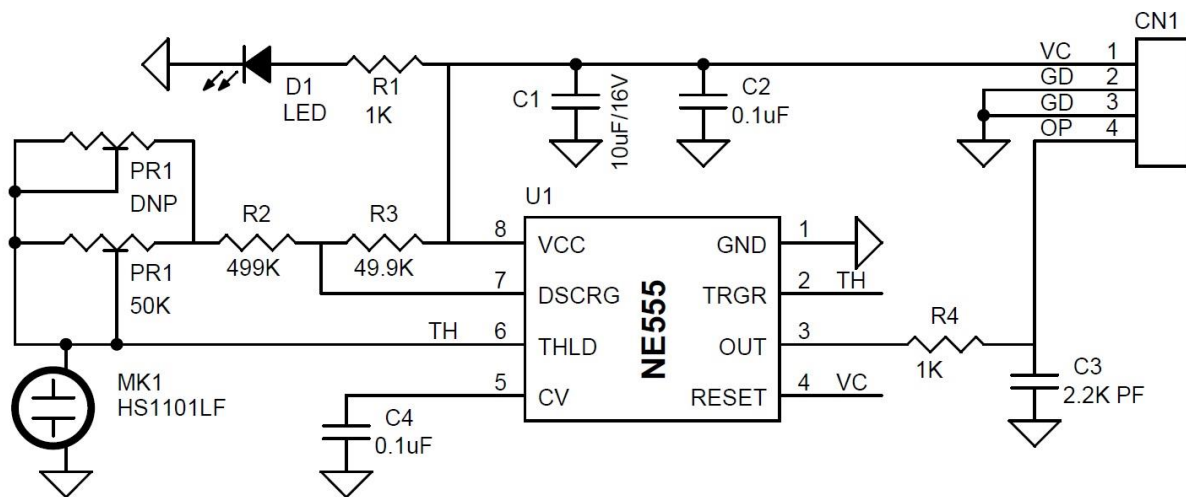


Рисунок 4 - Схема сенсора вологості з використанням NE555 таймера

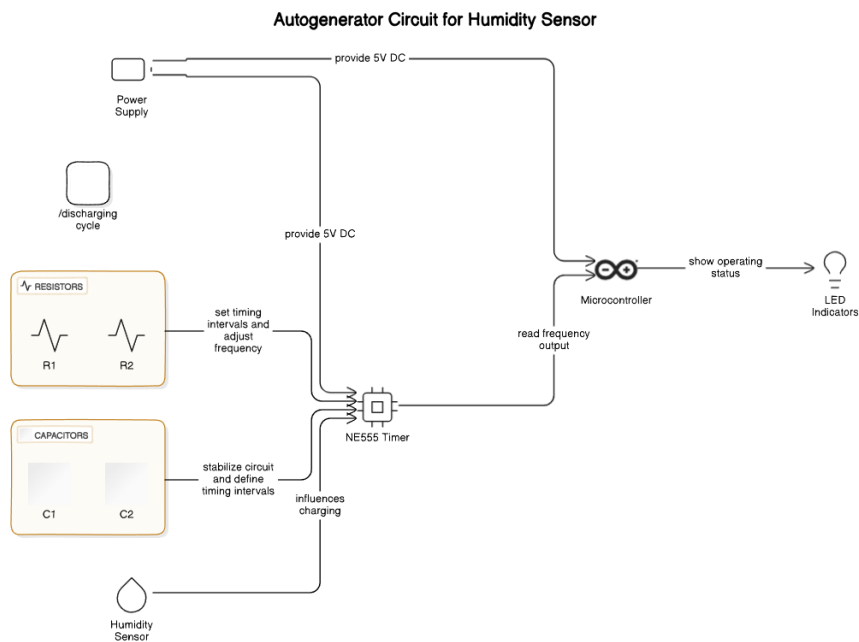


Рисунок 5 - Схема радіовимірювального автогенераторного сенсора вологості повітря

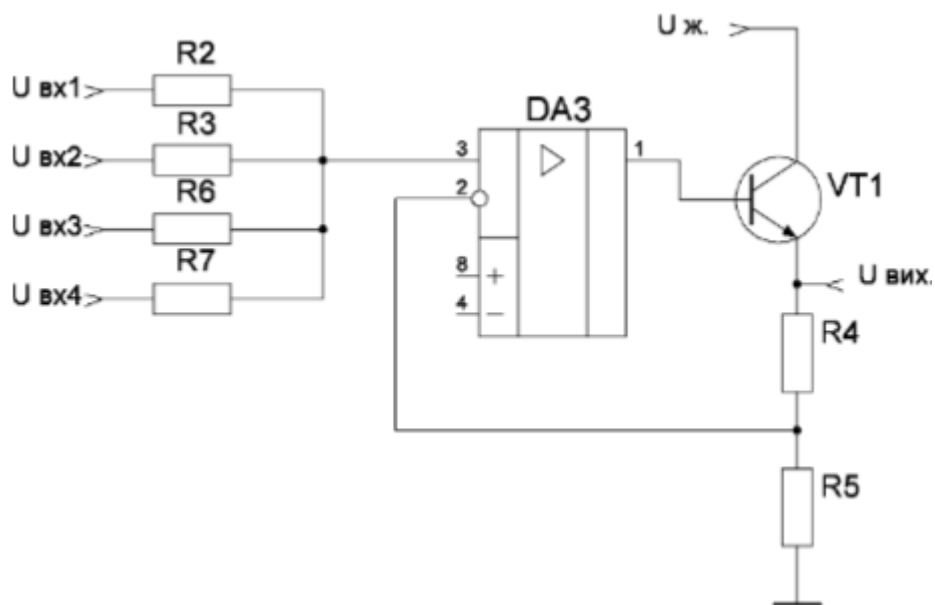


Рисунок 6 - Принципова схема підсилювача на ОП

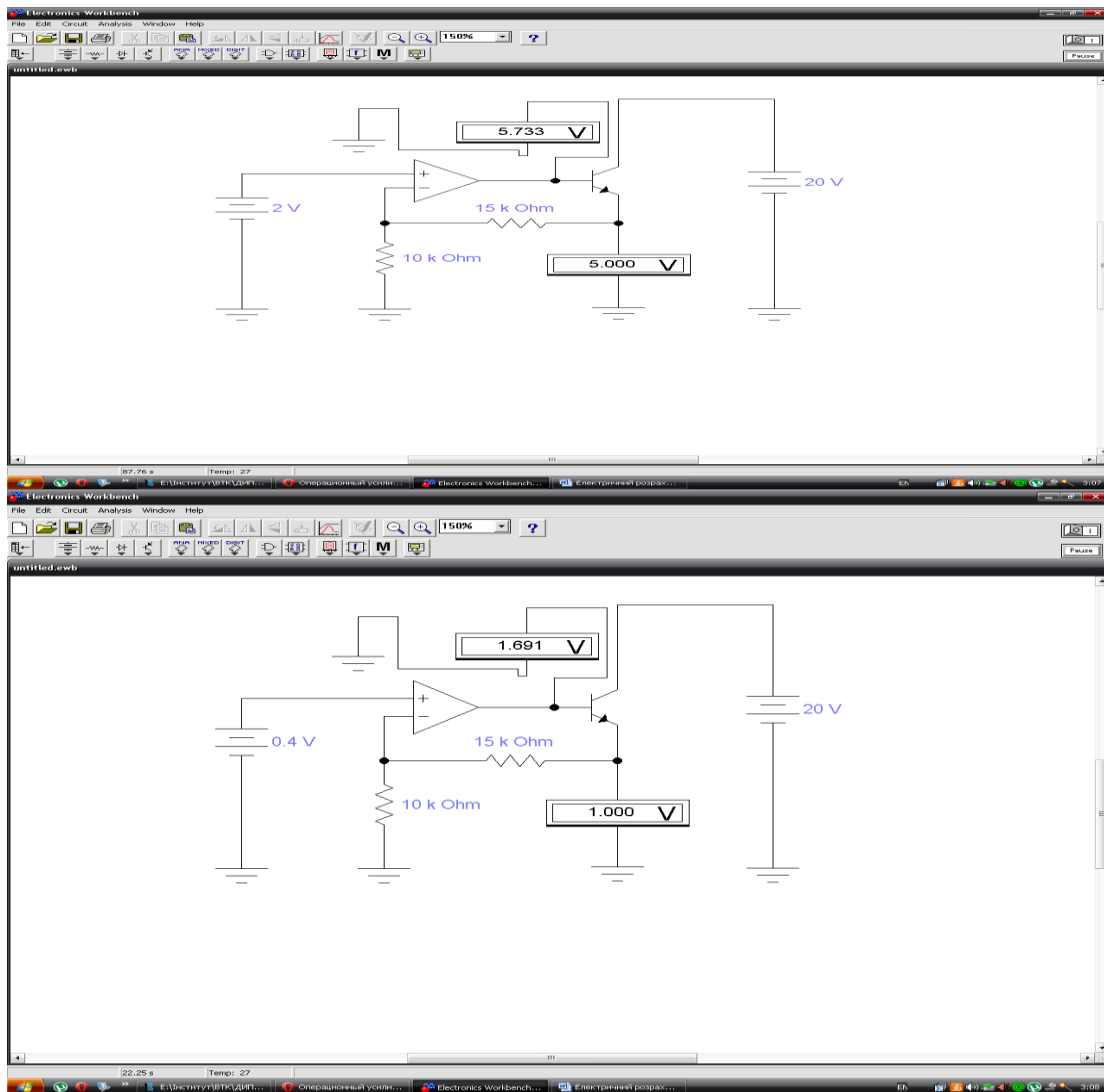


Рисунок 7 - схема підсилювача на ОП в програмі Proteus

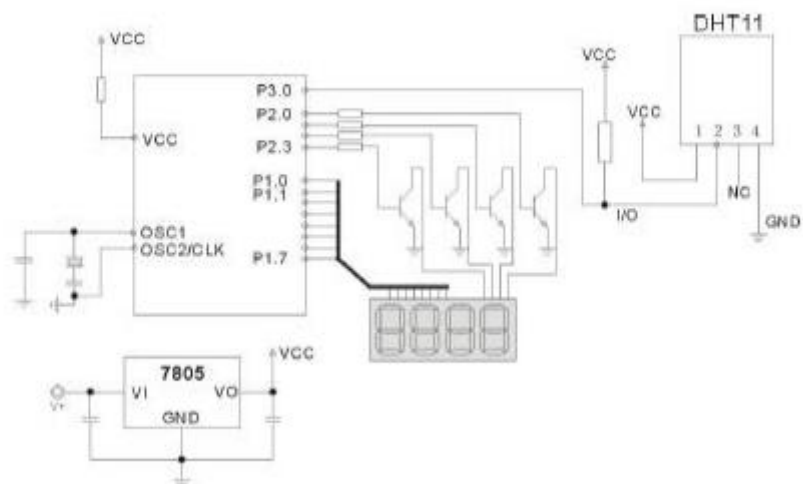


Рисунок 8 - Схема інтеграції сенсора DHT11 з інтерфейсом користувача

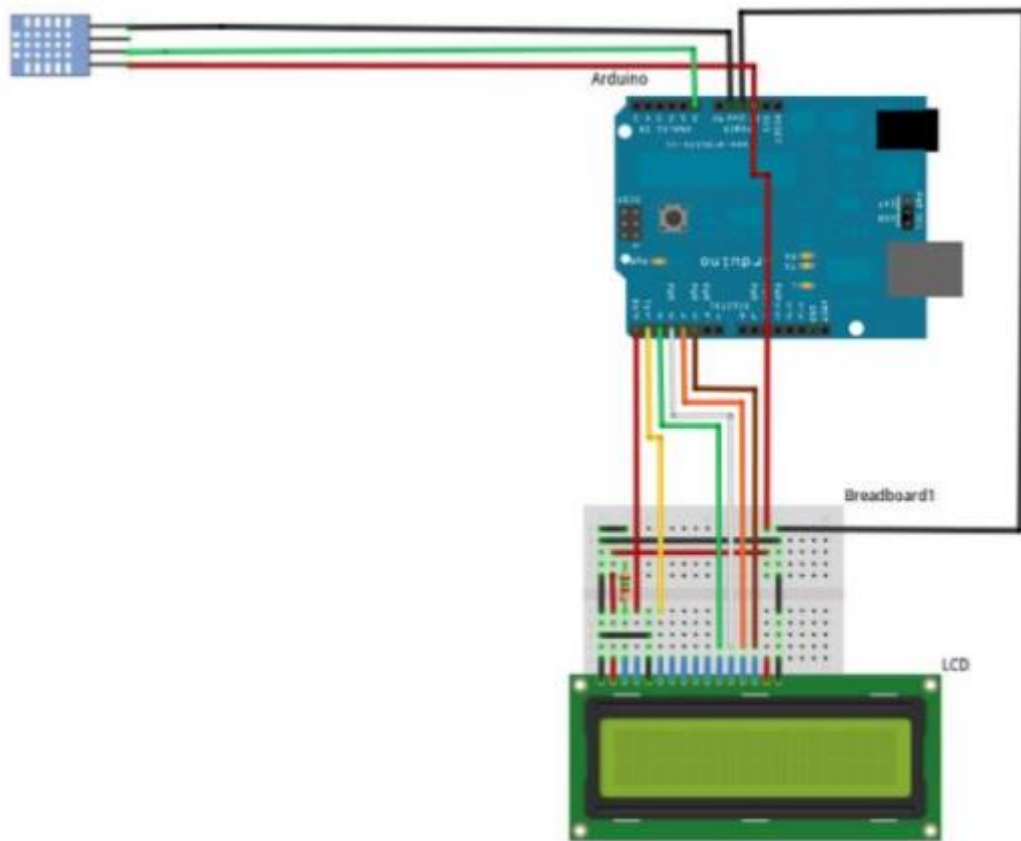


Рисунок 9 - Наглядний вигляд схеми інтеграції сенсора DHT11 з інтерфейсом користувача

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
«РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ АВТОГЕНЕРАТОРНИЙ СЕНСОР
ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ»

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Радіовимірювальний автогенераторний сенсор вологості повітря»

Тип роботи: БДР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichек

Оригінальність 96.97% Схожість 3.03%

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  Олександр ЗВЯГІН
(підпис) (прізвище, ініціали)

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

Автор роботи  Данило ТАРАСІЮК
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Антон САВИЦЬКИЙ
(підпис) (прізвище, ініціали)