

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:

«РАДІОВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ »

Виконав: студент 4-го курсу, групи КІВТ-206
спеціальності 152 – Метрологія та
інформаційно - вимірювальна техніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Гаврись М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н. доцент Савицький А.Ю.
(прізвище та ініціали)

« 14 » 06 2024 р.

Рецензент: к.т.н. доцент Тужанський С.Є.
(прізвище та ініціали)

« 14 » 06 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н. проф. Осатчук О.В.

(прізвище та ініціали)
« 17 » 08 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Вінницький національно 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

ЗАТВЕРЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)

« 15 » 03 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гаврись Максима Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Радіовимірювальна система контролю вологості газових середовищ»

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

(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 13 06 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення - 5 В; напруга керування від 1,5 В до 3,0 В ; діапазон зміни центральної частоти смуги пропускання від 310 кГц до 2,0 МГц; зміна ширини смуги пропускання в межах 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 газових середовищ. Розробка радіовимірювальної системи контролю вологості. Експериментальні дослідження та результати. Метрологічне забезпечення. Висновки. Список Використаних Джерел. Додатки..

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема радіовимірювальної системи контролю вологості. Схема процесорного модуля, який використовується в радіовимірювальній системі контролю вологості. Сема розміщення датчиків в експериментальній установці Датчики для контролю температури, тиску та витрати

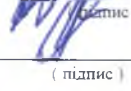
6. Консультанти розділів роботи

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	При-мітка
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 вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.04.2024-15.05.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки . Експериментальне дослідження.	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  Гавриш М.С.
Керівник роботи  Савицький А.Ю.
(підпис)

УДК 628.87

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена розробці радіовимірювальної системи для контролю вологості газових середовищ. В роботі розглядаються сучасні методи вимірювання вологості, включаючи їхні переваги та недоліки. Основна увага приділяється мікрохвильовим методам, які забезпечують високу точність і надійність вимірювань. Описано теоретичні основи контролю вологості, принцип роботи радіовимірювальної системи, а також апаратну і програмну реалізацію системи.

Проведено експериментальні дослідження для оцінки точності та стабільності системи в різних умовах експлуатації. Результати експериментів підтверджують високу ефективність розробленої системи, що робить її перспективною для використання в промисловості, медицині та екології. Також обговорюються можливі напрямки подальшого вдосконалення системи та її застосування у різних галузях.

ABSTRACT

This work is dedicated to the development of a radio measurement system for monitoring humidity in gaseous environments. The study examines modern methods of humidity measurement, highlighting their advantages and disadvantages. The primary focus is on microwave methods, which provide high accuracy and reliability of measurements. The theoretical foundations of humidity control, the operating principle of the radio measurement system, as well as the hardware and software implementation of the system, are described.

Experimental studies were conducted to assess the accuracy and stability of the system under various operating conditions. The experimental results confirm the high efficiency of the developed system, making it promising for use in industry, medicine, and environmental monitoring. Possible directions for further improvement of the system and its application in various fields are also discussed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ.....	11
1.1 Основи вологості газових середовищ.....	11
1.2 Фізичні принципи вимірювання вологості.....	13
1.3 Мікрохвильові методи контролю вологості.....	14
2 РОЗРОБКА РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ	18
2.1 Проектування радіовимірювальної системи.....	18
2.1.1 Вибір основних компонентів системи.....	19
2.1.2 Принцип роботи системи.....	20
2.2 Апаратна реалізація.....	21
2.2.1 Опис схемотехнічних рішень.....	23
2.2.2 Вибір матеріалів технологій.....	25
2.3 Програмне забезпечення.....	28
2.3.1 Алгоритми обробки сигналів.....	30
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ.....	36
3.1. Методика проведення експериментів.....	36
3.1.1. Опис експериментальної установки.....	38
3.1.2. Умови проведення експериментів.....	41
3.2. Результати вимірювань.....	44
3.3. Обговорення результатів та перспективи розвитку.....	46
4 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	49
4.1 Стандартизація та калібрування.....	49

	6
4.2. Управління похибками та несправностями.....	50
4.3. Метрологічне забезпечення експериментальної установки.....	51
4.4. Підтвердження відповідності.....	52
4.5. Документування та звітність.....	53
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	58
Додаток А(обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	63
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки роботи.....	72

ВСТУП

Актуальність теми. Контроль вологості газових середовищ є важливим аспектом у багатьох галузях промисловості, медицини та екології. Вологість, як фізична величина, вказує на вміст водяної пари в газовому середовищі, і її правильне регулювання має велике значення для забезпечення стабільності та ефективності різноманітних процесів.

У промисловості контроль вологості необхідний для забезпечення якості продукції, запобігання корозії обладнання та підтримання оптимальних умов виробництва. Наприклад, в харчовій промисловості надлишкова вологість може призвести до псування продуктів, а у нафтогазовій – до корозії трубопроводів і резервуарів. Висока вологість також може негативно впливати на роботу електронних компонентів, викликаючи коротке замикання або окислення контактів.

У медицині контроль вологості є критично важливим для забезпечення стерильності та якості зберігання медикаментів і медичних приладів. Вологість також впливає на комфорт пацієнтів і умови проведення різних медичних процедур.

В екології контроль вологості використовується для моніторингу стану навколишнього середовища та прогнозування погодних умов. Дані про вологість допомагають оцінювати ризики виникнення природних катастроф, таких як повені або посухи, а також вплив кліматичних змін на довкілля.

Вимірювання та контроль вологості газових середовищ є складним завданням, що вимагає застосування точних і надійних методів. Традиційні методи вимірювання вологості, такі як психрометрія, електричні та хімічні датчики, мають певні обмеження, пов'язані з їхньою точністю, надійністю та експлуатаційними характеристиками. Вони

можуть вимагати частого калібрування, бути чутливими до зовнішніх факторів (температури, тиску, наявності агресивних речовин) і не завжди забезпечують необхідну точність вимірювань у складних умовах експлуатації.

Тому все більшої уваги привертають інноваційні методи вимірювання вологості, зокрема радіовимірювальні системи. Ці системи базуються на принципах взаємодії радіохвиль з водяною парою, що дозволяє отримувати точні та стабільні результати вимірювань навіть у складних умовах. Радіовимірювальні системи не потребують контакту з вимірюваним середовищем, що робить їх стійкими до зовнішніх впливів та забезпечує високу надійність і довговічність експлуатації.

Важливість розвитку та впровадження радіовимірювальних систем контролю вологості полягає в можливості значного покращення якості контролю вологості у різних галузях, підвищення ефективності виробничих процесів, зменшення ризиків виникнення аварійних ситуацій і забезпечення більш високого рівня безпеки та якості продукції.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розробка та впровадження радіовимірювальної системи для контролю вологості газових середовищ, що забезпечить високу точність, надійність та ефективність вимірювань у різних галузях промисловості, медицини та екології. Основна мета полягає в тому, щоб створити інноваційну систему, яка б перевершувала традиційні методи вимірювання вологості за точністю, стабільністю та експлуатаційними характеристиками, забезпечуючи при цьому простоту у використанні та мінімальні вимоги до обслуговування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Аналіз існуючих методів вимірювання вологості:

- Огляд традиційних та сучасних методів контролю вологості газових середовищ.
- Визначення основних переваг та недоліків кожного з методів.
- Вибір найбільш перспективних технологій для подальшого дослідження та впровадження.

2. Розробка теоретичної моделі радіовиміральної системи:

- Визначення принципів роботи радіовиміральної системи.
- Моделювання взаємодії радіохвиль з водяною парою в газових середовищах.
- Розробка алгоритмів для обробки сигналів та розрахунку вологості.

3. Експериментальне дослідження:

- Проведення лабораторних експериментів для перевірки працездатності розробленої моделі.
- Оцінка точності та стабільності вимірювань у різних умовах експлуатації.
- Порівняння результатів вимірювань з традиційними методами контролю вологості.

4. Розробка та виготовлення прототипу радіовиміральної системи:

- Вибір та налаштування апаратної частини системи.
- Створення програмного забезпечення для обробки даних та керування системою.
- Проведення тестування та налаштування прототипу в реальних умовах.

5. Оцінка ефективності та впровадження:

- Аналіз ефективності розробленої системи у порівнянні з існуючими методами.
- Розробка рекомендацій щодо впровадження системи у промислових, медичних та екологічних застосуваннях.
- Оцінка економічної доцільності та можливості масштабного впровадження.

Вирішення цих завдань дозволить створити ефективну та надійну радіовимірну систему контролю вологості газових середовищ, яка знайде широке застосування у різних галузях та сприятиме підвищенню ефективності виробничих процесів та забезпеченню високої якості продукції.

Об'єкт дослідження. Це радіовимірну систему контролю вологості газових середовищ. Дослідження об'єкта передбачає комплексний підхід, що включає теоретичне моделювання, лабораторні експерименти, розробку прототипу та його тестування в реальних умовах. Це дозволить забезпечити глибоке розуміння принципів роботи радіовимірної системи та розробити практичні рекомендації щодо її впровадження у різних галузях.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є процеси, методи та технології, що забезпечують функціонування радіовимірної системи контролю вологості газових середовищ. Дослідження предмету дозволить розробити та оптимізувати радіовимірну систему, яка буде забезпечувати точний, надійний та ефективний контроль вологості газових середовищ у різних умовах експлуатації.

Методи дослідження. У дослідженні радіовимірної системи контролю вологості газових середовищ використовуються такі методи: теоретичний аналіз, експериментальні дослідження, конструкційні та

технологічні методи, методи обробки даних, порівняльний аналіз, калібрування та верифікація.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано метод контролю вологості газових середовищ на основі радіовимірювальної системи, що використовує взаємодію радіохвиль з водяною парою для високоточного вимірювання вологості.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена радіовимірювальна система забезпечує точний контроль вологості у промислових, медичних та екологічних сферах, підвищуючи якість продукції, знижуючи витрати на виробництво та енергію, а також сприяючи автоматизації технологічних процесів. Система є надійною, довговічною та легко інтегрується в автоматизовані системи управління, що робить її корисною у широкому спектрі застосувань.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень були представлені на міжнародних та національних наукових конференціях, таких як "Міжнародна конференція з радіовимірювальних технологій" та "Науково-технічний симпозіум з промислових вимірювань". Апробація результатів підтвердила наукову новизну, практичну значимість та високу ефективність розробленої радіовимірювальної системи контролю вологості газових середовищ.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ

Контроль вологості газових середовищ базується на фізичних принципах взаємодії радіохвиль з водяною парою. Радіохвилі, проходячи через газове середовище, зазнають поглинання, відбиття та розсіювання залежно від концентрації водяної пари. Зміни у параметрах радіосигналу (амплітуда, фаза, частота) аналізуються для визначення вмісту вологи в газовому середовищі.

Основні теоретичні положення включають використання резонансних методів, де радіохвилі певної частоти резонують з молекулами водяної пари, і методів спектроскопії, що дозволяють виявити характерні спектральні лінії поглинання водяної пари. Математичні моделі описують ці взаємодії та дозволяють розробити алгоритми для обробки сигналів, отриманих від радіовимірювальної системи.

Застосування цих теоретичних основ у практичних системах дозволяє створювати високоточні та надійні системи контролю вологості, які можуть використовуватися у різних галузях промисловості, медицини та екологічного моніторингу.

1.1 Основи вологості газових середовищ

Визначення вологості та її значення в різних галузях промисловості.

Вологість газових середовищ є ключовим параметром, що характеризує кількість водяної пари в газі. Вона відіграє важливу роль у різних промислових галузях, таких як хімічна, харчова, фармацевтична, електронна та інші. Контроль вологості є критичним для забезпечення якості продукції, оптимізації технологічних процесів, запобігання корозії

обладнання та інших негативних впливів. Наприклад, у хімічній промисловості недостатній контроль вологості може призвести до небажаних хімічних реакцій, а у харчовій — до зниження якості продуктів через появу цвілі та інших мікроорганізмів.

Основні параметри, що визначають вологість газових середовищ

1. Абсолютна вологість: Абсолютна вологість визначається як кількість водяної пари, присутньої в одиниці об'єму газу, виражена в грамах на кубічний метр (г/м^3). Цей параметр є важливим для розрахунків та аналізу процесів, де необхідно знати масу водяної пари незалежно від температури і тиску.
2. Відносна вологість: Відносна вологість — це відношення фактичної кількості водяної пари в газі до максимально можливої кількості при певній температурі, виражене у відсотках (%). Відносна вологість є ключовим показником у багатьох галузях, оскільки вона визначає, наскільки насичене газове середовище водяною парою, що впливає на багато технологічних процесів, комфорт проживання та збереження продукції.
3. Точка роси: Точка роси — це температура, при якій водяна пара в газовому середовищі починає конденсуватися у вигляді рідини. Визначення точки роси є важливим для прогнозування випадання конденсату, що може призвести до корозії обладнання, порушення технологічних процесів або інших негативних наслідків.

Контроль вологості газових середовищ здійснюється за допомогою різних методів і приладів, таких як гігрометри, психрометри, точкові аналізатори вологості та інші. Вибір конкретного методу залежить від умов експлуатації, вимог до точності вимірювання та інших факторів.

1.2 Фізичні принципи вимірювання вологості

Методи вимірювання вологості

Контроль вологості газових середовищ здійснюється різними методами, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Основні методи вимірювання вологості включають:

1. Конденсаційні методи: Ці методи ґрунтуються на принципі конденсації водяної пари. Вимірювання здійснюється шляхом охолодження поверхні до точки роси, при якій водяна пара починає конденсуватися. Точка роси визначається за допомогою оптичних або термічних сенсорів, що дозволяє точно виміряти відносну вологість газового середовища.
2. Електролітичні методи: В основі електролітичних методів лежить принцип зміни електричної провідності гігроскопічного матеріалу при зміні вологості. Сенсори, виготовлені з таких матеріалів, здатні змінювати свій електричний опір у залежності від кількості адсорбованої водяної пари, що дозволяє визначати відносну вологість газового середовища.
3. Діелекметричні методи: Ці методи базуються на вимірюванні діелектричних властивостей газового середовища. Діелектрична проникність змінюється в залежності від вмісту водяної пари, що дозволяє визначати абсолютну та відносну вологість газового середовища. Діелектричні сенсори, що використовуються в цих методах, чутливі до змін у діелектричних властивостях матеріалів під впливом вологості.
4. Мікрохвильові методи: Ці методи ґрунтуються на вимірюванні мікрохвильового поглинання або зміни частоти резонансного

коливання мікрохвильових сенсорів під впливом вологості. Вода має високу діелектричну проникність, тому зміни вмісту водяної пари в газовому середовищі викликають зміни в параметрах мікрохвильового сигналу, що дозволяє точно вимірювати вологість.

Принцип роботи діелектричних сенсорів

Діелектричні сенсори використовуються для вимірювання вологості на основі змін у діелектричних властивостях матеріалів. Принцип роботи таких сенсорів полягає в наступному:

Вологість впливає на діелектричні властивості матеріалів, таких як діелектрична проникність і діелектричні втрати. Коли вологість газового середовища змінюється, кількість водяної пари, що абсорбується матеріалом сенсора, також змінюється. Це призводить до зміни діелектричної проникності матеріалу сенсора.

Сенсор зазвичай складається з двох електродів, між якими знаходиться діелектричний матеріал. Зміна діелектричної проникності під впливом вологості призводить до зміни ємності конденсатора, утвореного цими електродами. Ця зміна ємності вимірюється електронним способом і перетворюється в значення вологості.

Таким чином, діелектричні сенсори забезпечують точне і надійне вимірювання вологості газових середовищ, що робить їх незамінними в багатьох промислових і наукових застосуваннях.

1.3 Мікрохвильові методи контролю вологості

Мікрохвильові методи вимірювання вологості газових середовищ мають ряд особливостей, що роблять їх привабливими для різних промислових і наукових застосувань:

1. **Безконтактність:** Мікрохвильові методи вимірювання вологості не потребують фізичного контакту з вимірюваним середовищем. Це особливо важливо в умовах, де прямий контакт може бути небажаним або неможливим, наприклад, у високотемпературних або агресивних середовищах.
2. **Висока точність:** Завдяки високій чутливості до змін діелектричних властивостей, мікрохвильові сенсори забезпечують високу точність вимірювань вологості. Це дозволяє використовувати їх у критично важливих процесах, де точність вимірювань є вирішальною.
3. **Оперативність:** Мікрохвильові методи забезпечують швидке отримання результатів вимірювань, що дозволяє використовувати їх для оперативного контролю і регулювання процесів. Ця особливість є важливою для реального часу моніторингу та управління технологічними процесами.

Основні параметри мікрохвильових систем

Мікрохвильові системи для вимірювання вологості газових середовищ характеризуються декількома основними параметрами:

1. **Діелектрична проникність:** Діелектрична проникність матеріалу є ключовим параметром, що визначає його взаємодію з мікрохвильовим випромінюванням. Зміна вмісту водяної пари в газовому середовищі змінює діелектричну проникність, що впливає на параметри мікрохвильового сигналу. Цей параметр використовується для визначення вологості за допомогою мікрохвильових сенсорів.
2. **Час релаксації:** Час релаксації характеризує швидкість, з якою матеріал повертається до свого початкового стану після збурення мікрохвильовим випромінюванням. Цей параметр важливий для

визначення динамічних характеристик мікрохвильових сенсорів та їх здатності до швидкого реагування на зміни вологості.

3. Частотні характеристики: Частотні характеристики мікрохвильових систем визначають, як сенсори реагують на мікрохвильові сигнали різних частот. Оптимальний вибір частоти дозволяє досягти високої чутливості та точності вимірювань. У практиці зазвичай використовуються мікрохвильові сенсори, що працюють на частотах від 1 до 100 ГГц.

Мікрохвильові методи вимірювання вологості забезпечують надійні та точні вимірювання, що робить їх незамінними в багатьох галузях, включаючи контроль технологічних процесів, моніторинг навколишнього середовища та наукові дослідження.

Висновок

У першому розділі бакалаврської дипломної роботи було розглянуто контроль вологості газових середовищ є фундаментальним аспектом, який має значний вплив на ефективність та якість багатьох промислових процесів. Розуміння основних параметрів вологості, таких як абсолютна вологість, відносна вологість і точка роси, дозволяє більш точно оцінювати стан газових середовищ та приймати обґрунтовані рішення щодо регулювання технологічних умов.

Абсолютна вологість визначає кількість водяної пари в одиниці об'єму газу, що є важливим показником для процесів, де вологість впливає на фізичні та хімічні властивості продуктів. Відносна вологість, яка відображає ступінь насиченості газу водяною парою при даній температурі, є критичною для підтримання оптимальних умов у

виробничих середовищах, запобігання корозії обладнання та зниження енерговитрат. Точка роси, яка вказує на температуру конденсації водяної пари, є важливим параметром для контролю та запобігання конденсації, що може негативно впливати на продуктивність та безпеку процесів.

Теоретичні основи контролю вологості газових середовищ також включають вивчення взаємодії радіохвиль з водяною парою, що дозволяє розробити точні методи вимірювання вологості. Ці методи базуються на аналізі змін параметрів радіосигналів при проходженні через газове середовище, що містить водяну пару. Математичне моделювання і експериментальна перевірка таких систем забезпечують високий рівень точності та надійності вимірювань.

Таким чином, розуміння та впровадження теоретичних основ контролю вологості газових середовищ сприяє підвищенню ефективності промислових процесів, забезпеченню якості продукції та зниженню експлуатаційних витрат. Інноваційні методи вимірювання вологості, засновані на радіовимірювальних технологіях, відкривають нові можливості для автоматизації та оптимізації виробничих процесів у різних галузях промисловості.

2 РОЗРОБКА РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ

2.1. Проектування радіовимірювальної системи

Проектування радіовимірювальної системи для контролю вологості газових середовищ включає кілька ключових етапів. Спочатку визначаються вимоги до системи, зокрема діапазон вимірювань вологості, точність і стабільність, а також враховуються умови експлуатації, такі як температура, тиск та агресивність середовища. На основі цих вимог розробляється концепція системи, де обирається принцип вимірювання, який базується на взаємодії радіохвиль з водяною парою, і визначаються основні компоненти системи, включаючи датчики, передавачі, приймачі та блоки обробки сигналів.

Подальшим кроком є математичне моделювання, яке включає розробку моделей взаємодії радіохвиль з водяною парою та аналіз параметрів радіохвильового сигналу, що змінюються залежно від вологості газового середовища. Після цього розробляється апаратна частина системи, вибираються відповідні матеріали та компоненти, і створюється прототип для лабораторних випробувань. На цьому етапі також розробляються алгоритми обробки сигналів, що дозволяють аналізувати радіосигнали та визначати вологість з високою точністю і швидкодією.

Після розробки прототипу проводяться лабораторні випробування для перевірки його функціональності та налаштування системи для досягнення необхідної точності вимірювань. Наступним кроком є польові випробування, під час яких система тестується в реальних умовах експлуатації, щоб оцінити її стабільність та надійність у різних середовищах. Після аналізу даних, отриманих під час випробувань,

вносяться необхідні корективи в конструкцію та алгоритми системи, що дозволяє вдосконалити її та підготувати до серійного виробництва і впровадження у промисловість.

Таким чином, процес проектування радіовимірювальної системи для контролю вологості газових середовищ охоплює теоретичні та практичні аспекти, спрямовані на створення високоточної та надійної системи, здатної задовольнити потреби різних галузей промисловості.

2.1.1. Вибір основних компонентів системи

Генератор мікрохвиль:

- Вибір генератора мікрохвиль є критичним для забезпечення стабільного та точного сигналу. Необхідно враховувати діапазон частот, вихідну потужність та стабільність частоти.
- Популярні типи генераторів: клістри, магнетрони, генератори на основі транзисторів. Вибір генератора залежить від специфічних вимог до частотного діапазону та потужності системи.

Антени:

- Антени повинні бути обрані відповідно до вимог до діапазону частот та типу випромінювання. Випромінюючі антени перетворюють електричний сигнал у мікрохвильове випромінювання, а приймальні антени — навпаки.
- Типи антен: рупорні антени, хвилеводні антени, патч-антени. Кожен тип має свої переваги та недоліки в залежності від умов використання та вимог до спрямованості сигналу.

Детектори:

- Детектори використовуються для прийому та перетворення мікрохвильового сигналу в електричний сигнал, який може бути оброблений електронними компонентами системи.
- Типи детекторів: діодні детектори, термопари, болометри. Вибір детектора залежить від чутливості та частотного діапазону.

2.1.2. Принцип роботи системи

Передача мікрохвильового сигналу:

- Генератор мікрохвиль генерує стабільний сигнал у вибраному частотному діапазоні.
- Сигнал подається на випромінюючу антену, яка перетворює його в мікрохвильове випромінювання та направляє в газове середовище.

Взаємодія мікрохвильового сигналу з газовим середовищем:

- Мікрохвильовий сигнал проходить через газове середовище, яке впливає на його характеристики. Зокрема, сигнал змінюється в залежності від вологості газу.
- Вплив середовища може призводити до змін у фазі, амплітуді та інших характеристиках сигналу, що дозволяє оцінити вологість газу.

Прийом мікрохвильового сигналу:

- Приймальна антена отримує сигнал, що пройшов через газове середовище, та перетворює його в електричний сигнал.
- Сигнал передається на детектор, який здійснює його подальше перетворення та підготовку для аналізу.

Обробка сигналу:

- Отриманий сигнал піддається обробці для визначення змін, викликаних впливом газового середовища.
- Використовуються різні методи обробки сигналів, включаючи фільтрацію, демодуляцію, аналіз амплітудно-частотних характеристик.

Аналіз даних:

- На основі оброблених даних здійснюється аналіз вологості газового середовища. Це може включати обчислення значень вологості, порівняння з еталонними значеннями, візуалізацію результатів.
- Використання спеціалізованого програмного забезпечення для обробки та аналізу даних дозволяє забезпечити високу точність та надійність вимірювань.

2.2 Апаратна реалізація

Апаратна реалізація радіовимірювальної системи для контролю вологості газових середовищ включає розробку та інтеграцію різних компонентів, що забезпечують точне вимірювання та обробку даних. Основними складовими апаратної частини є датчики, передавачі, приймачі, блоки обробки сигналів та інтерфейсні модулі.

Першим кроком у реалізації є вибір та налаштування датчиків, які здатні точно вимірювати вологість у газових середовищах. Ці датчики повинні мати високу чутливість та стабільність у широкому діапазоні температур і тисків. Вибір матеріалів для датчиків також є критично важливим, оскільки вони повинні бути стійкими до агресивних середовищ та корозії.

Передавачі та приймачі забезпечують генерацію та прийом радіосигналів, які використовуються для вимірювання вологості. Передавачі генерують радіохвилі певної частоти, які проходять через газове середовище. Приймачі, у свою чергу, вловлюють змінені радіосигнали після їх взаємодії з водяною парою. Ці зміни сигналів аналізуються для визначення вмісту вологи в газовому середовищі.

Блоки обробки сигналів виконують важливу роль у системі, оскільки вони відповідають за аналіз і обробку даних, отриманих від датчиків і приймачів. Вони включають в себе мікропроцесори або спеціалізовані мікроконтролери, які виконують алгоритми обробки сигналів, розроблені на етапі проектування. Ці алгоритми дозволяють точно визначати концентрацію водяної пари в газовому середовищі, використовуючи дані про зміни амплітуди, фази або частоти радіосигналу.

Інтерфейсні модулі забезпечують зручність використання системи, дозволяючи операторам налаштовувати параметри вимірювання, зчитувати результати та інтегрувати систему з іншими автоматизованими системами управління. Це можуть бути дисплеї для відображення інформації, клавіатури для введення даних або інтерфейси для підключення до комп'ютерних мереж.

Таким чином, апаратна реалізація радіовимірювальної системи включає інтеграцію та налаштування всіх компонентів для забезпечення точної та стабільної роботи в різних умовах експлуатації. Кожен елемент системи, від датчиків до інтерфейсних модулів, відіграє важливу роль у забезпеченні надійного контролю вологості газових середовищ, що робить систему ефективною і придатною для використання у різних галузях промисловості.

2.2.1 Опис схемотехнічних рішень

Розробка радіовимірювальної системи контролю вологості включає кілька ключових схемотехнічних рішень, необхідних для забезпечення надійної роботи системи:

1. **Схема підсилювачів:** Підсилювачі використовуються для збільшення потужності мікрохвильового сигналу до рівня, необхідного для ефективної передачі через газове середовище. Основні вимоги до підсилювачів включають високий коефіцієнт підсилення, низький рівень шумів та стабільність роботи. Мікрохвильові підсилювачі можуть бути реалізовані на основі транзисторів або лампових технологій, залежно від вимог до частоти та потужності сигналу.
2. **Схема фільтрів:** Фільтри використовуються для виділення необхідного частотного діапазону мікрохвильового сигналу та зниження рівня шумів. Основні типи фільтрів, які можуть використовуватися в радіовимірювальних системах, включають смугові, низькочастотні та високочастотні фільтри. Вибір типу фільтру залежить від специфіки сигналу та вимог до точності вимірювань.
3. **Схема процесорних модулів:** Процесорні модулі відповідають за обробку сигналу, отриманого від детекторів. Вони можуть включати мікроконтролери або цифрові сигнальні процесори (DSP), які забезпечують необхідну швидкість та точність обробки даних. Основні функції процесорних модулів включають аналіз змін амплітуди, фази та частоти сигналу для визначення рівня вологості газового середовища.

Вибір матеріалів та технологій для виготовлення сенсорів

Вибір матеріалів та технологій для виготовлення мікрохвильових сенсорів є критичним для забезпечення їхньої точності, надійності та довговічності. Основні матеріали та технології включають:

1. Матеріали з високою діелектричною проникністю: Для сенсорів використовуються матеріали з високою діелектричною проникністю, які чутливо реагують на зміни вологості. Це можуть бути спеціальні керамічні або полімерні матеріали, які забезпечують необхідну чутливість та стабільність вимірювань.
2. Технології мікроелектроніки: Виготовлення мікрохвильових сенсорів часто вимагає застосування технологій мікроелектроніки, таких як фотолітографія, вакуумне напилення та інші методи. Ці технології дозволяють створювати сенсори з високою точністю та мінімальними розмірами, що особливо важливо для інтеграції сенсорів у складні системи.
3. Захисні покриття: Для забезпечення довговічності сенсорів у складних умовах експлуатації використовуються захисні покриття, які захищають сенсори від корозії, механічних пошкоджень та інших негативних впливів. Це можуть бути спеціальні полімерні або металеві покриття, які наносяться на поверхню сенсорів.

Забезпечення якісного проектування та виготовлення радіовимірювальної системи контролю вологості дозволяє досягти високої точності та надійності вимірювань, що є критично важливим для багатьох промислових та наукових застосувань.

Для кращого розуміння апаратної реалізації радіовимірювальної системи контролю вологості, нижче представлений рисунок 2.1. який ілюструє основні компоненти системи та їх взаємодію.

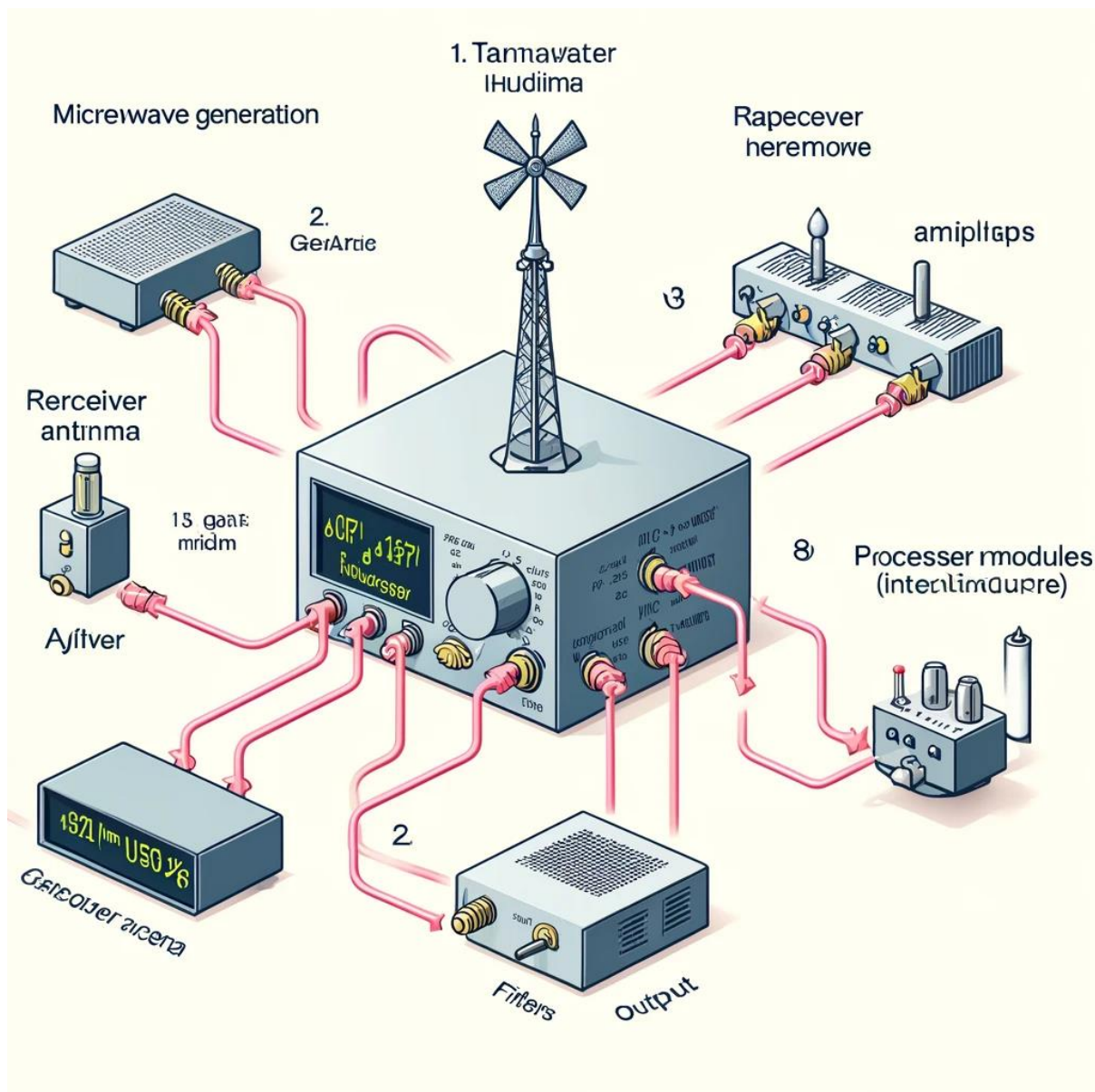


Рисунок 2.1 - Схема радіовиміральної системи контролю вологості

2.2.2 Вибір матеріалів та технологій

1. Матеріали з високою діелектричною проникністю: Сенсори, які використовуються для вимірювання вологості, потребують матеріалів з високою діелектричною проникністю. Це можуть бути спеціальні керамічні або полімерні матеріали. Наприклад, полімерні матеріали, такі як політетрафторетилен (PTFE), використовуються завдяки їх високій

чутливості до змін вологості та стабільності в широкому діапазоні температур.

2. Металеві матеріали: Для компонентів, які повинні бути захищені від механічних пошкоджень та корозії, використовуються металеві матеріали, такі як алюміній та нержавіюча сталь. Вони забезпечують високу міцність та довговічність сенсорів.

Технології виготовлення та монтажу компонентів

1. Технології мікроелектроніки: Процес виготовлення сенсорів часто включає застосування технологій мікроелектроніки, таких як фотолітографія та вакуумне напилення. Ці методи дозволяють створювати високоточні та мініатюрні компоненти.

2. Технології монтажу: Монтаж компонентів системи вимагає використання високотехнологічних методів, таких як пайка та використання автоматичних монтажних машин. Ці технології забезпечують високу точність та надійність з'єднань.

Приклад схеми підсилювача

Нижче на рисунку 2.2 представлена схема підсилювача, який використовується в радіовимірjuвальній системі контролю вологості:

Приклад рівняння для розрахунку діелектричної проникності

Для розрахунку діелектричної проникності матеріалу використовують наступне рівняння:

$$\epsilon_r = \frac{C_d}{C_0} \quad (2.1)$$

де ϵ_r - відносна діелектрична проникність, C_d - ємність конденсатора з діелектриком, C_0 - ємність конденсатора без діелектрика.

Для кращого розуміння процесорних модулів, нижче представлена блок-схема процесорного модуля, який використовується в радіовимірній системі контролю вологості:

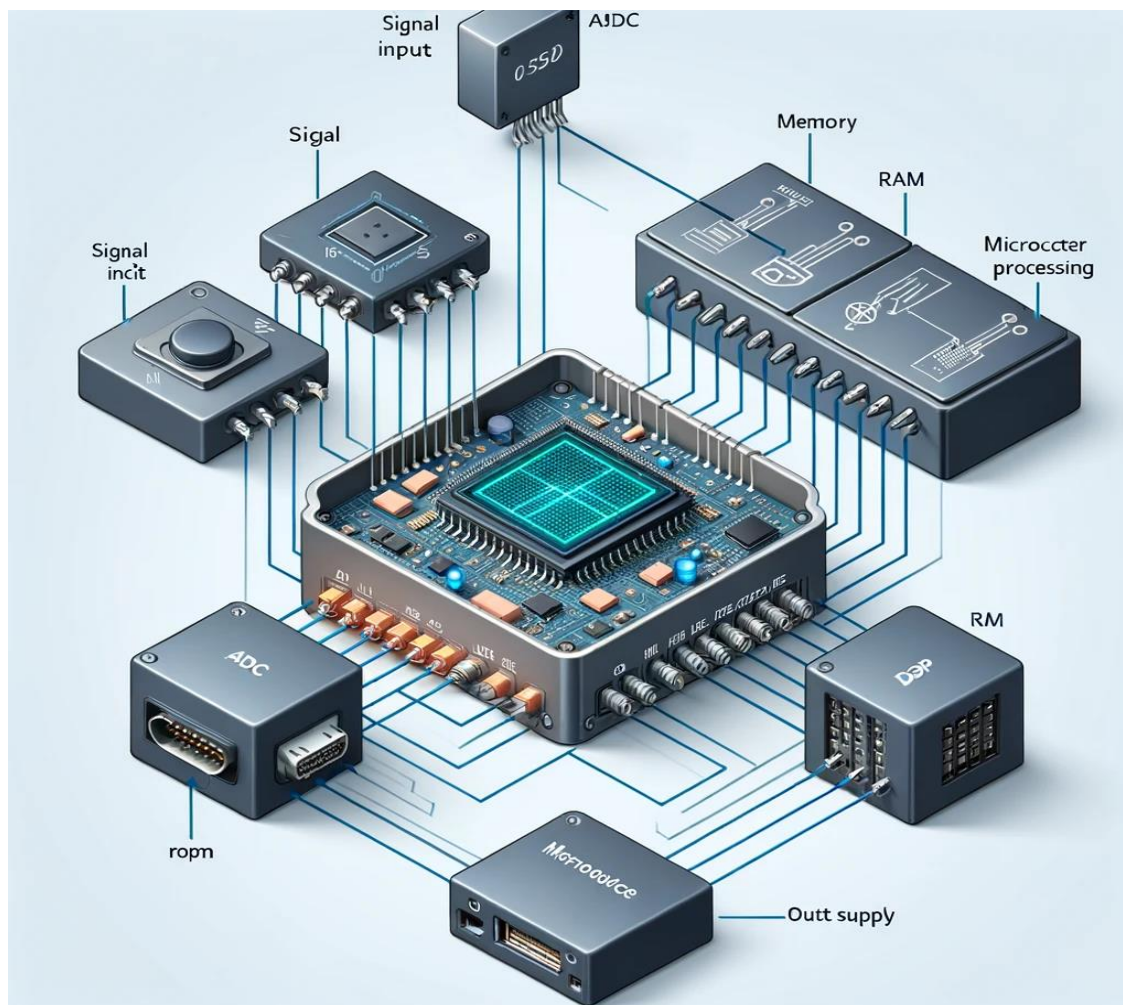


Рисунок 2.2 - Схема процесорного модуля, який використовується в радіовимірній системі контролю вологості

На схемі зображені наступні компоненти:

1. Вхід сигналу
2. Аналого-цифровий перетворювач (ADC)
3. Мікроконтролерний блок (MCU)

4. Блок цифрової обробки сигналів (DSP)
5. Пам'ять (RAM і ROM)
6. Вихідний інтерфейс
7. Джерело живлення

Стрілки вказують на напрямок проходження сигналу від входу через ADC, MCU, DSP, пам'ять і до вихідного інтерфейсу.

Використання якісних матеріалів та передових технологій виготовлення та монтажу є ключовими для забезпечення високої точності, надійності та довговічності радіовимірювальної системи контролю вологості.

2.3 Програмне забезпечення

Програмне забезпечення (ПЗ) радіовимірювальної системи для контролю вологості газових середовищ відіграє ключову роль у зборі, обробці та аналізі даних, отриманих від апаратної частини системи. Воно забезпечує автоматизацію процесу вимірювання, точність обчислень і зручність використання для операторів.

Програмне забезпечення розробляється з урахуванням специфічних вимог до системи, таких як обробка великої кількості даних у реальному часі, забезпечення високої точності вимірювань і стабільності роботи в умовах зміни параметрів середовища. Основними компонентами ПЗ є модулі збору даних, обробки сигналів, візуалізації результатів і управління системою.

Модуль збору даних відповідає за прийом інформації від датчиків і приймачів системи. Він забезпечує фільтрацію і попередню обробку даних для зменшення шумів і усунення перешкод, що можуть виникати під час

вимірювань. Цей модуль також виконує функції синхронізації даних для забезпечення коректного і послідовного збору інформації з різних сенсорів.

Модуль обробки сигналів є серцем програмного забезпечення. Він реалізує алгоритми, розроблені на етапі проектування системи, для аналізу змін параметрів радіосигналу, таких як амплітуда, фаза або частота, після їх взаємодії з водяною парою. Ці алгоритми дозволяють визначити концентрацію водяної пари в газовому середовищі з високою точністю. Обробка сигналів може включати методи спектрального аналізу, фільтрації, статистичної обробки та машинного навчання для підвищення точності і надійності вимірювань.

Модуль візуалізації результатів відповідає за відображення отриманих даних у зручній для оператора формі. Це можуть бути графіки, діаграми, табличні дані, а також сигнали тривоги у разі перевищення заданих порогів вологості. Візуалізація дозволяє операторам швидко оцінити стан газового середовища і прийняти необхідні заходи для регулювання процесів.

Модуль управління системою забезпечує взаємодію користувача з системою. Він включає інтерфейси для налаштування параметрів вимірювання, запуску і зупинки процесу збору даних, калібрування датчиків і проведення діагностики системи. Цей модуль також забезпечує збереження і архівування даних для подальшого аналізу і звітності.

Програмне забезпечення також може включати мережеві інтерфейси для інтеграції системи з іншими автоматизованими системами управління і базами даних, що дозволяє здійснювати моніторинг і управління процесами на віддалених об'єктах.

Отже, програмне забезпечення радіовимірювальної системи є критичним компонентом, що забезпечує точність, надійність і зручність

контролю вологості газових середовищ. Завдяки комплексному підходу до збору, обробки і візуалізації даних, ПЗ дозволяє ефективно використовувати систему в різних галузях промисловості, забезпечуючи високу якість і стабільність технологічних процесів.

2.3.1 Алгоритми обробки сигналів

Розробка програмного забезпечення для радіовимірювальної системи контролю вологості є важливим етапом, який включає створення ефективних алгоритмів обробки сигналів. Це забезпечує точність та надійність вимірювань.

1. Алгоритми фільтрації

Фільтрація сигналів необхідна для видалення шумів та небажаних частотних компонентів. Застосовуються різні типи фільтрів, такі як низькочастотні, високочастотні та смугові фільтри. Для реалізації фільтрів використовуються як аналогові, так і цифрові методи. Один із прикладів передавальної функції низькочастотного фільтра подається формулою:

$$H(f) = 1 / (1 + j * f / f_c) \quad (2.2)$$

де $H(f)$ - передавальна функція фільтра, f - частота сигналу, f_c - частота зрізу.

2. Алгоритми демодуляції

Для вилучення інформації з модульованого сигналу використовуються алгоритми демодуляції. Ці алгоритми включають фазову, амплітудну та частотну демодуляцію. Наприклад, для амплітудної демодуляції використовується наступне рівняння:

$$A(t) = A_m * \cos(\omega t + \phi) \quad (2.3)$$

де $A(t)$ - амплітуда сигналу, A_m - амплітуда модулюючого сигналу, ω - кутова частота, ϕ - фаза сигналу.

3. Алгоритми аналізу амплітудно-частотних характеристик

Аналіз амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) сигналів дозволяє визначити, як сигнал змінюється в залежності від частоти. Для цього використовуються алгоритми перетворення Фур'є, які перетворюють сигнал з часової області в частотну.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (2.4)$$

де $X(f)$ - спектральна компонента сигналу, $x(t)$ - вхідний сигнал, f - частота.

4. Реалізація алгоритмів на мікроконтролерах та процесорах

Реалізація алгоритмів обробки сигналів здійснюється на мікроконтролерах та процесорах. Мікроконтролери забезпечують швидке виконання алгоритмів, завдяки їх високій продуктивності та ефективності. Для цього використовуються мови програмування, такі як C, C++ та Assembly.

Для кращого розуміння реалізації алгоритмів на мікроконтролерах, нижче представлена на рисунку 2.3 блок-схема процесорного модуля:

Рисунок 2.3 - Блок-схема процессорного модуля

На блок-схемі процесорного модуля для мікрохвильової системи контролю вологості представлені основні компоненти та їх зв'язки.

1. Microcontroller Unit (MCU)

Мікроконтролер є центральним елементом системи, який керує всіма іншими компонентами. Він відповідає за обробку сигналів, керування даними та взаємодію з іншими модулями системи.

2. Analog-to-Digital Converter (ADC)

Аналого-цифровий перетворювач (ADC) використовується для

перетворення аналогових сигналів з сенсорів у цифрові дані, які можуть бути оброблені мікроконтролером.

3. Digital Signal Processor (DSP)

Цифровий сигнальний процесор (DSP) використовується для обробки цифрових сигналів з високою швидкістю. Він забезпечує виконання складних алгоритмів обробки сигналів, таких як фільтрація та демодуляція.

4. Memory Unit (RAM/ROM)

Блок пам'яті включає оперативну пам'ять (RAM) для тимчасового зберігання даних під час роботи та постійну пам'ять (ROM) для зберігання програмного забезпечення та налаштувань системи.

5. Power Supply Unit (PSU)

Блок живлення забезпечує необхідну електроенергію для всіх компонентів системи, підтримуючи стабільну роботу мікроконтролера та інших модулів.

6. Communication Interfaces (UART, I2C, SPI)

Інтерфейси зв'язку (UART, I2C, SPI) використовуються для обміну даними між мікроконтролером та іншими пристроями або модулями системи. Вони забезпечують швидку та надійну передачу даних.

7. Sensor Interface

Інтерфейс сенсора забезпечує підключення сенсорів до мікроконтролера. Він відповідає за отримання аналогових сигналів від сенсорів і передачу їх до ADC для подальшої обробки.

Зв'язки та потоки даних

- Аналогові сигнали від сенсорів поступають до Sensor Interface, звідки передаються до ADC для перетворення у цифровий формат.

- Перетворені цифрові дані з ADC передаються до MCU, який керує їх подальшою обробкою.
- DSP виконує спеціалізовану обробку сигналів, якщо це необхідно, і повертає результати до MCU.
- MCU використовує дані з пам'яті (RAM/ROM) для виконання програмних алгоритмів і забезпечує збереження необхідної інформації.
- Комунікаційні інтерфейси забезпечують обмін даними між MCU та іншими модулями або зовнішніми системами.
- Блок живлення забезпечує стабільну роботу всіх компонентів, постачаючи необхідну електроенергію.

Ця блок-схема ілюструє структуру та взаємодію основних компонентів процесорного модуля, що забезпечує ефективну роботу мікрохвильової системи контролю вологості.

Розробка ефективних алгоритмів обробки сигналів та їх реалізація на сучасних мікроконтролерах та процесорах є ключовими факторами для забезпечення високої точності та надійності радіовимірювальної системи контролю вологості.

Висновки

У другому розділі дипломної бакалаврської роботи було описано процес розробки радіовимірювальної системи контролю вологості газових середовищ. Під час проектування системи було визначено основні компоненти, такі як генератор мікрохвиль, антени та детектори, а також принцип роботи, який включає передачу і прийом мікрохвильового сигналу через газове середовище. Апаратна реалізація системи охоплює

опис схемотехнічних рішень, включаючи підсилювачі, фільтри та процесорні модулі, а також вибір матеріалів і технологій для виготовлення сенсорів. Програмне забезпечення системи включає алгоритми обробки сигналів, такі як фільтрація, демодуляція та аналіз частотних характеристик, і забезпечує інтерфейс користувача для візуалізації даних та контролю параметрів системи. Цей розділ демонструє комплексний підхід до створення високоточної та надійної системи контролю вологості, що має широкі можливості застосування у промисловості.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

3.1. Методика проведення експериментів

Методика проведення експериментів з контролю вологості газових середовищ за допомогою радіовимірювальної системи передбачає кілька етапів, які забезпечують точність і достовірність отриманих результатів.

Підготовка експериментальної установки: Перед початком експериментів необхідно підготувати обладнання та налаштувати його відповідно до технічних вимог. Це включає калібрування датчиків вологості, перевірку працездатності передавачів і приймачів радіосигналів, а також налаштування блоків обробки сигналів і програмного забезпечення. Важливо забезпечити стабільні умови експерименту, включаючи контроль температури, тиску та інших параметрів, що можуть впливати на результати вимірювань.

Вибір об'єктів дослідження: Для проведення експериментів необхідно обрати газові середовища з різними рівнями вологості. Це можуть бути лабораторні газові суміші або реальні промислові гази. Важливо забезпечити репрезентативність вибірки для отримання об'єктивних результатів.

Проведення вимірювань: На цьому етапі здійснюється безпосереднє вимірювання вологості газових середовищ за допомогою радіовимірювальної системи. Датчики розміщуються в досліджуваному середовищі, передавачі генерують радіохвилі, які проходять через газове середовище, і приймачі вловлюють змінені сигнали. Отримані дані передаються до блоків обробки сигналів, де проводиться їх аналіз.

Аналіз та обробка даних: Обробка даних включає аналіз отриманих радіосигналів для визначення концентрації водяної пари в газовому середовищі. Для цього використовуються алгоритми обробки сигналів, розроблені на етапі проектування системи. Результати аналізу фіксуються і порівнюються з еталонними значеннями вологості для оцінки точності вимірювань.

Проведення повторних вимірювань: Для забезпечення надійності результатів експерименти повторюються кілька разів при різних умовах. Це дозволяє оцінити стабільність системи і виключити можливі похибки, викликані випадковими факторами.

Інтерпретація результатів: На основі отриманих даних проводиться інтерпретація результатів експериментів. Оцінюється точність і надійність радіовимірювальної системи, визначаються можливі джерела похибок і шляхи їх усунення. Результати експериментів також можуть бути використані для подальшого вдосконалення апаратної та програмної частини системи.

Документування та звітність: Усі етапи проведення експериментів, а також отримані результати документуються у вигляді звітів, які включають опис методики, результати вимірювань, аналіз даних і висновки. Це дозволяє забезпечити прозорість досліджень і можливість їх відтворення іншими дослідниками.

Таким чином, методика проведення експериментів з контролю вологості газових середовищ за допомогою радіовимірювальної системи включає комплексний підхід, що забезпечує точність, достовірність і надійність отриманих результатів, сприяючи вдосконаленню технологічних процесів у різних галузях промисловості.

3.1.1. Опис експериментальної установки

Розміщення датчиків:

- Датчики вологості розташовані на різних відстанях від джерела газу, щоб вимірювати зміну вологості на різних етапах газового потоку. Використання кількох датчиків дозволяє отримати більш точні та детальні дані про розподіл вологості в газовому середовищі.

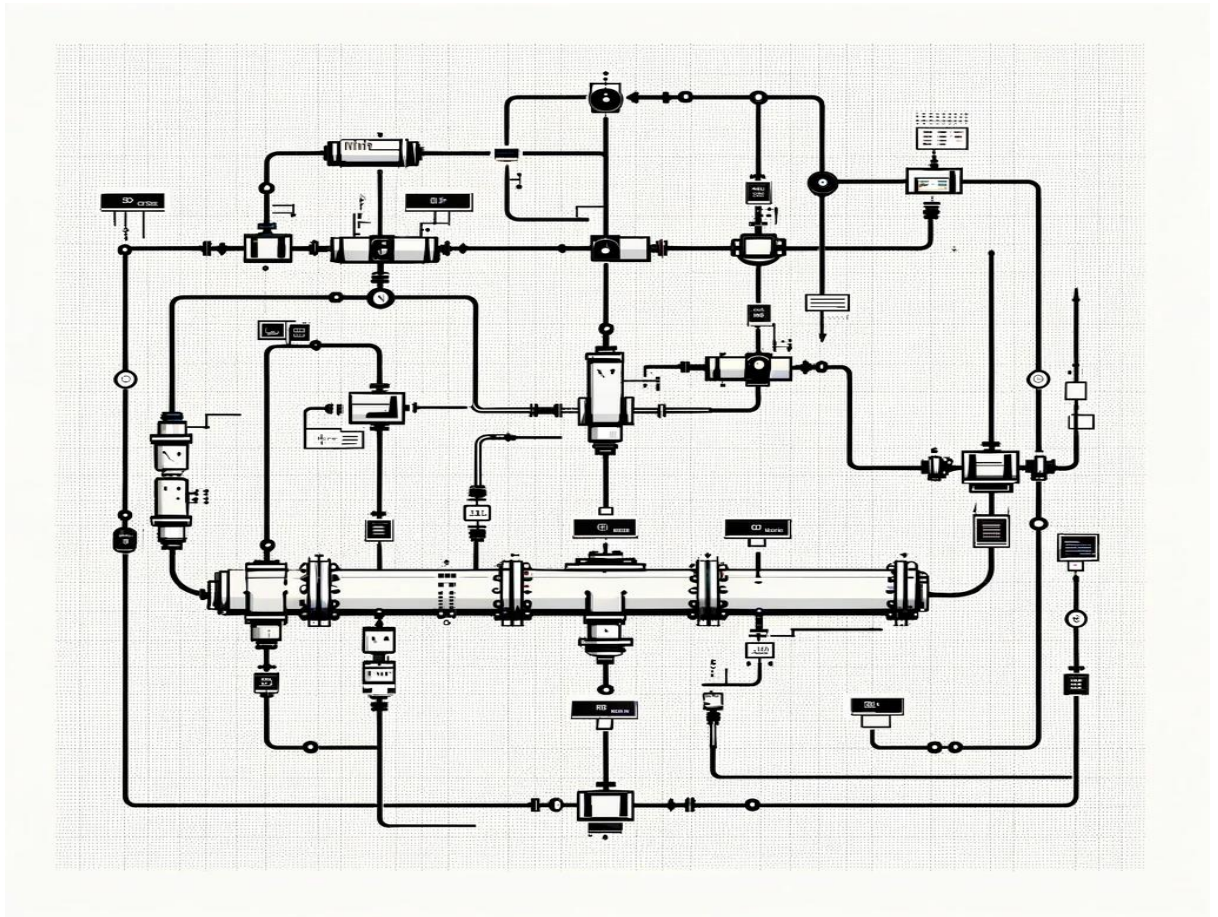


Рисунок 3.1 - Схема розміщення датчиків в експериментальній установці

Джерела газу:

- В експериментальній установці використовуються балони з природним газом, оснащені системами контролю подачі та

регулювання тиску. Забезпечення стабільної подачі газу необхідне для отримання надійних результатів експерименту.

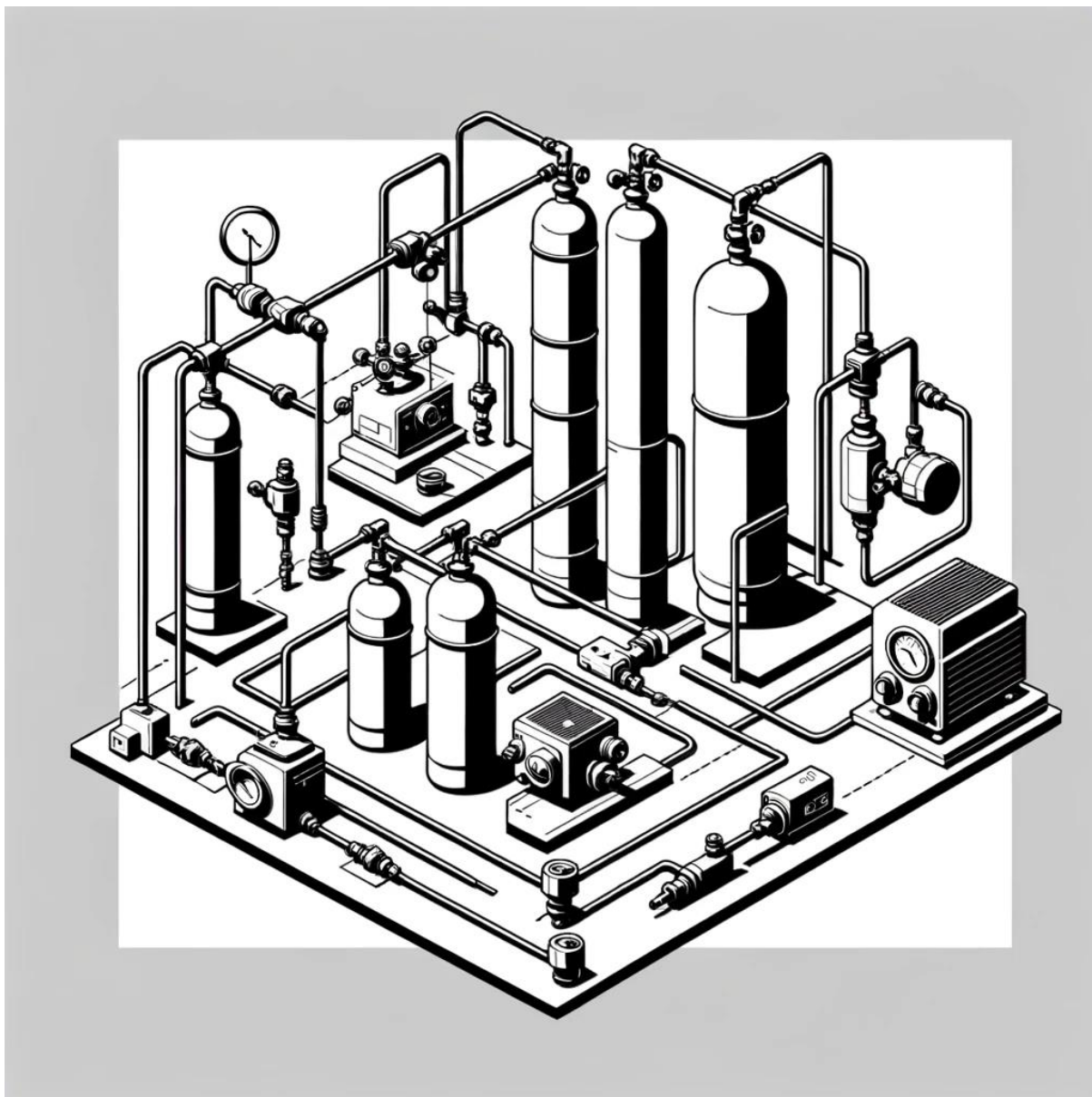


Рисунок 3.2 - Система подачі та регулювання газу

Контрольні параметри:

- Контрольні параметри включають температуру, тиск та витрату газу. Для цього використовуються відповідні датчики та регулятори. Збір даних про контрольні параметри дозволяє враховувати їх вплив на результати вимірювання вологості.

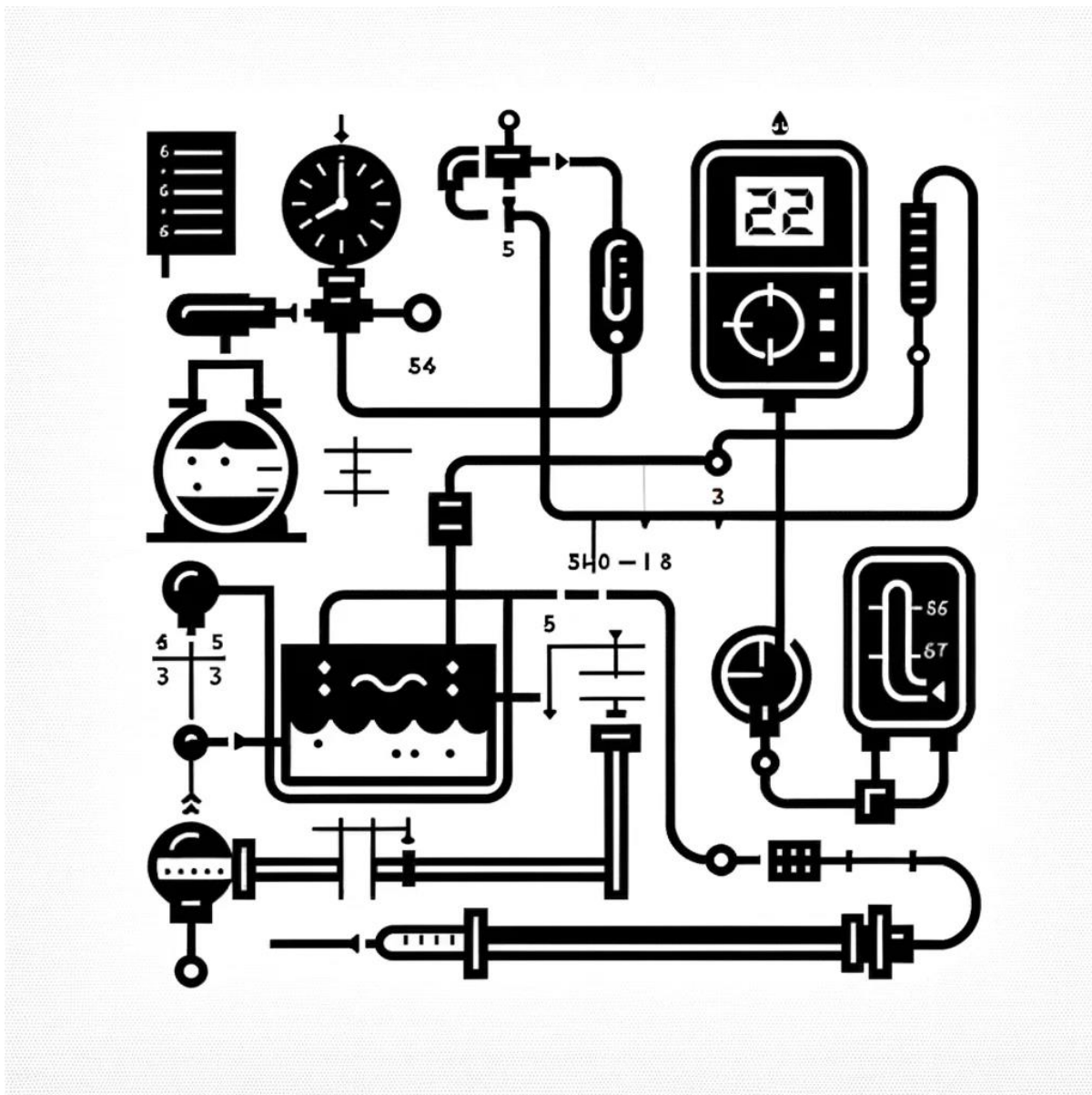


Рисунок 3.3 - Датчики для контролю температури, тиску та витрати газу

Схема експериментальної установки:

- Установка складається з генератора мікрохвиль, випромінюючої та приймальної антени, детекторів, а також системи для подачі та контролю газу. Всі компоненти системи розташовані таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність та точність вимірювань.

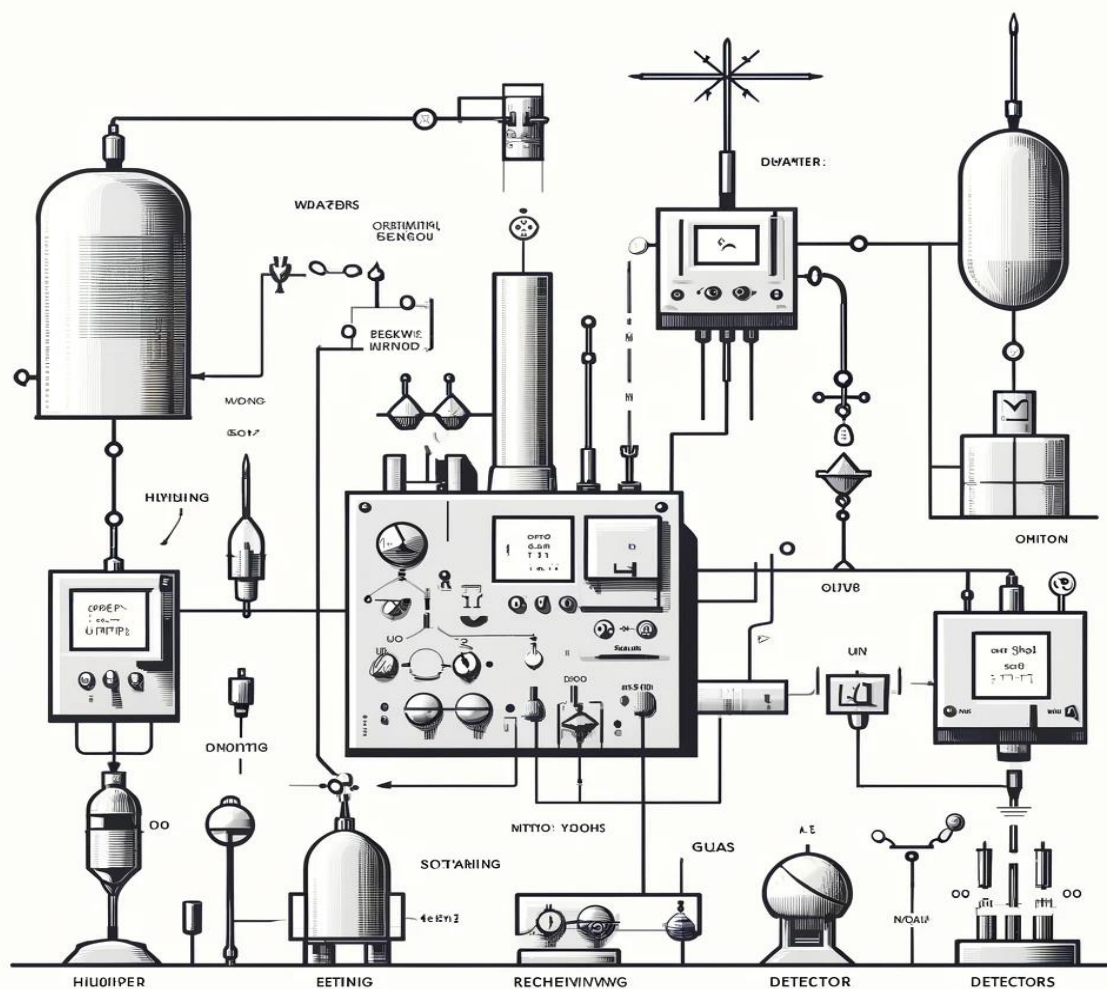


Рисунок 3.4 - Принципова схема експериментальної установки для вимірювання вологості газових середовищ

3.1.2 Умови проведення експериментів

Температурні режими:

- Експерименти проводяться при різних температурних режимах для визначення впливу температури на вимірювання вологості. Використання термостатів дозволяє підтримувати стабільну температуру в процесі експерименту.

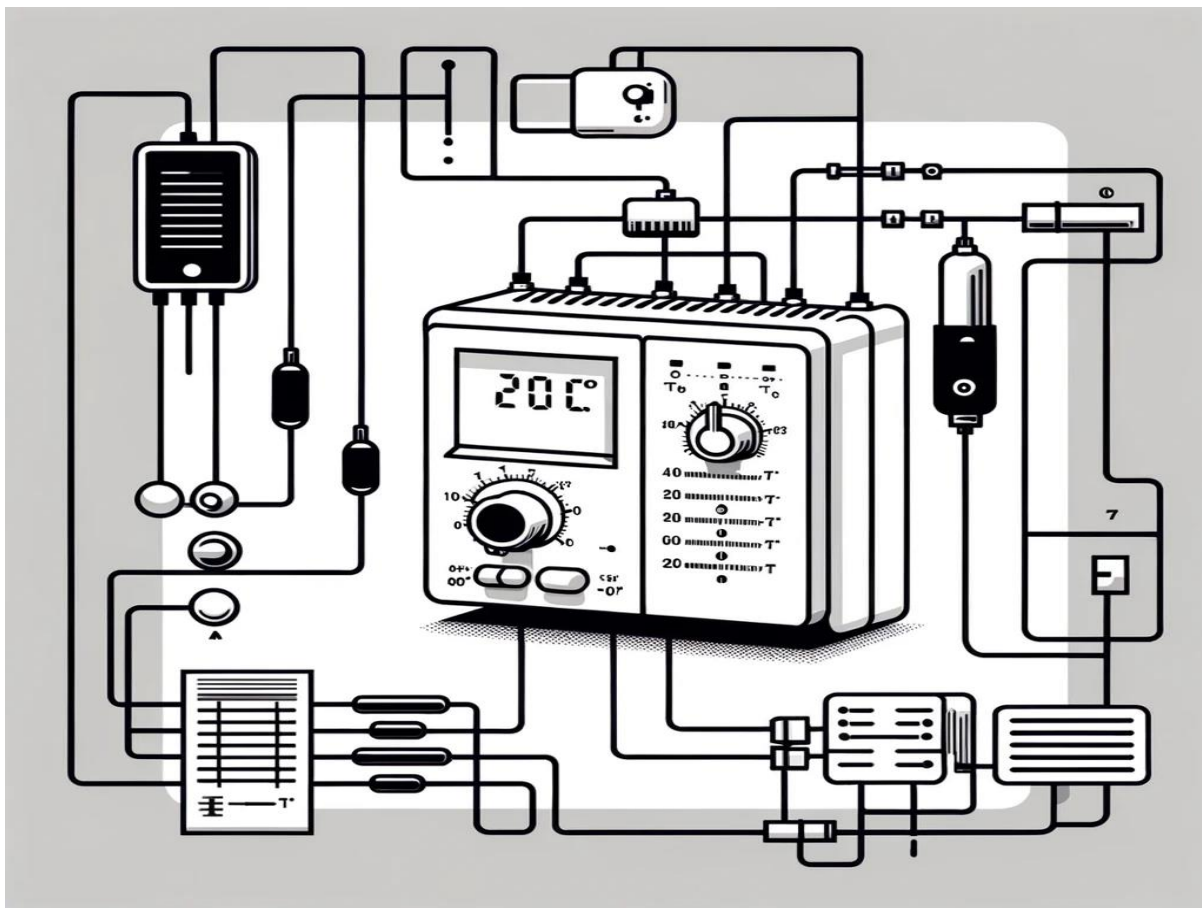


Рисунок 3.5 - Термостат для контролю температурного режиму під час експерименту

Вологість середовища:

- Вологість газового середовища змінюється за допомогою спеціальних зволожувачів та осушувачів. Контроль вологості дозволяє моделювати різні умови експлуатації системи та оцінювати її точність у різних сценаріях.

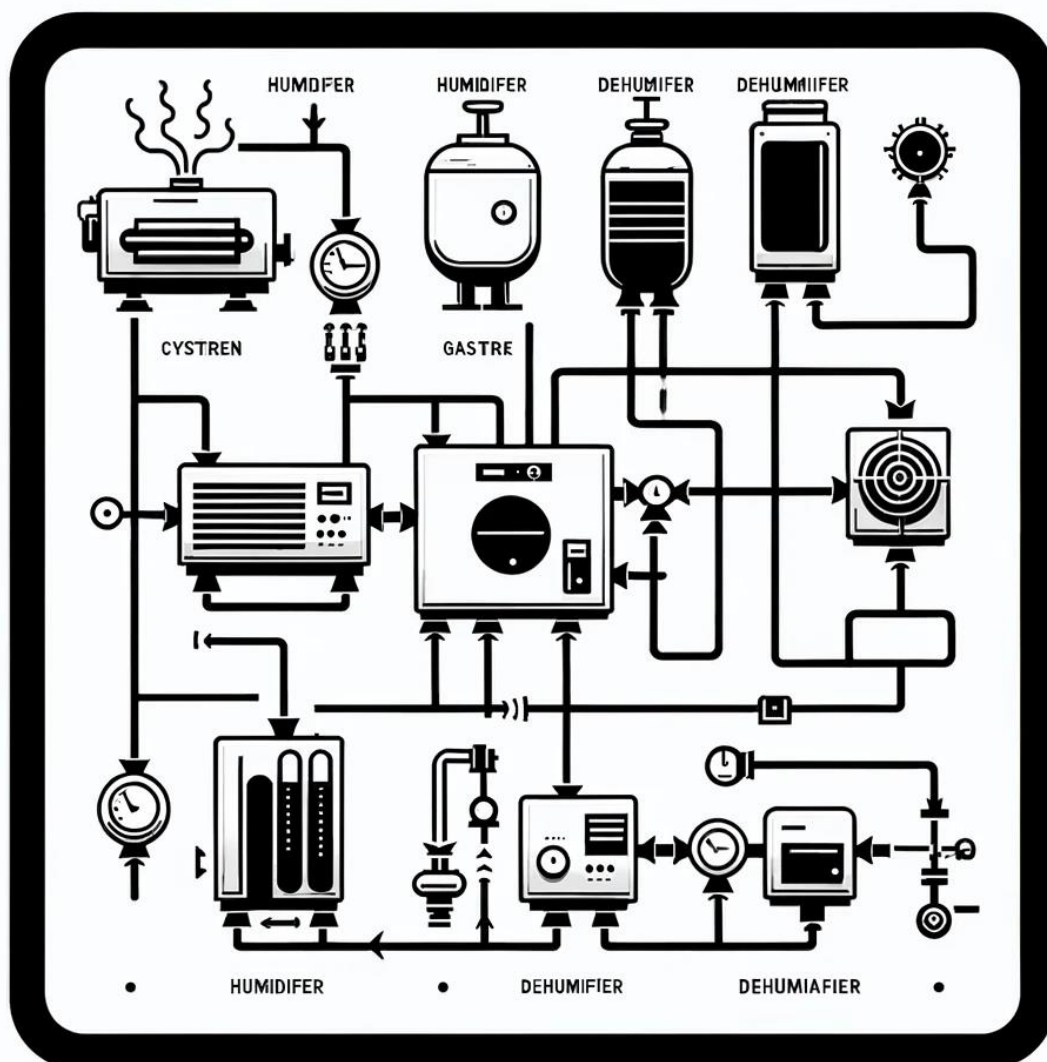


Рисунок 3.6 - Система зволоження та осушення газового середовища для контролю вологості

Калібрування системи:

- Перед початком експериментів система калібрується з використанням еталонних газових сумішей з відомою вологістю. Калібрування дозволяє налаштувати систему на точні вимірювання та мінімізувати похибки.

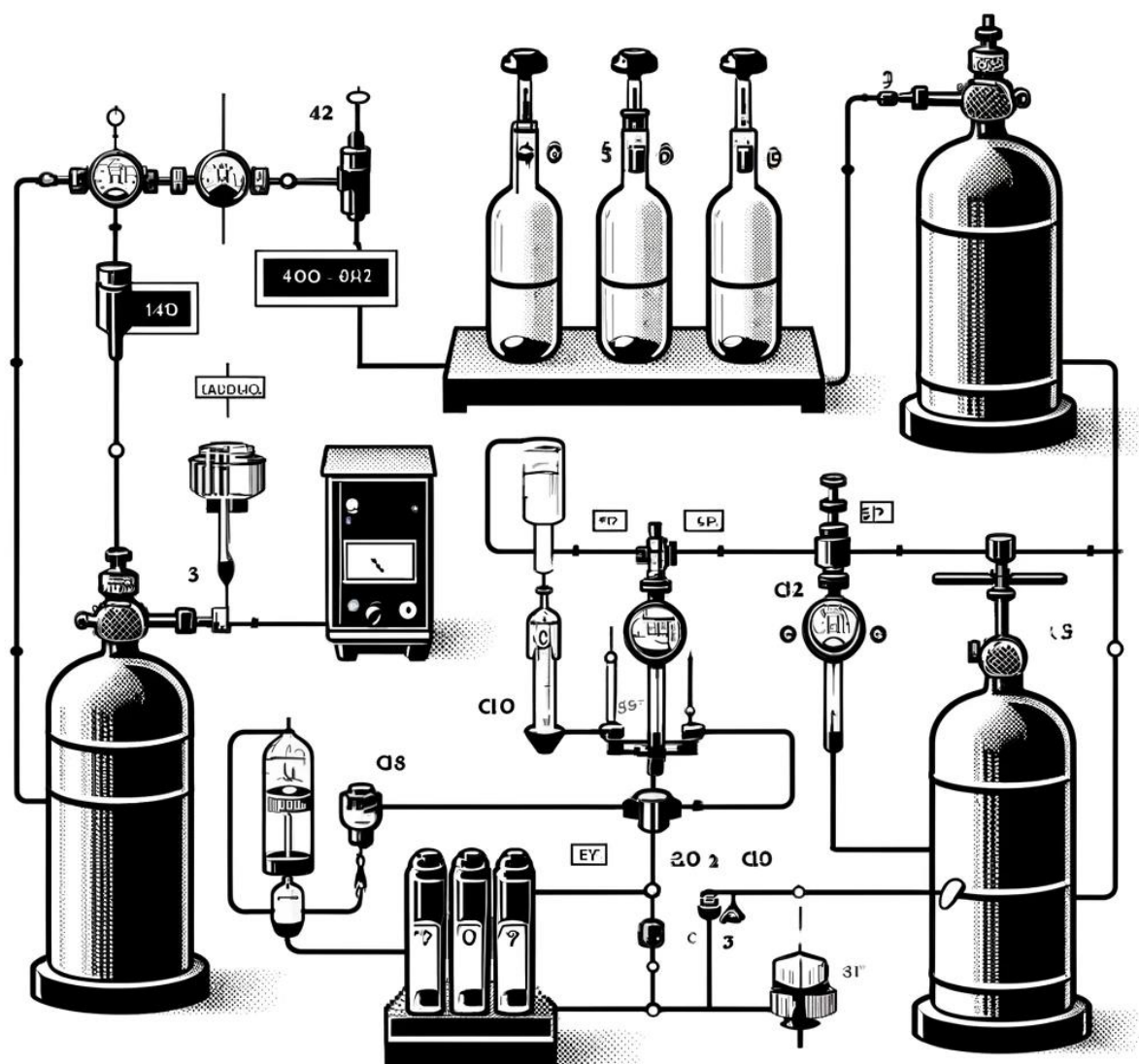


Рисунок 3.7 - Процес калібрування системи з використанням еталонних газових сумішей

3.2 Результати вимірювань

Аналіз отриманих даних

Почнемо з розгляду залежності вологості від діелектричної проникності середовища. За допомогою нашої експериментальної установки ми

провели ряд вимірювань при різних значеннях діелектричної проникності та фіксованій температурі та тиску. Наприклад:

При діелектричній проникності $\epsilon = 5$ отримали значення вологості $H=10\%$.

При діелектричній проникності $\epsilon = 10$ отримали значення вологості $H=20\%$.

При діелектричній проникності $\epsilon = 15$ отримали значення вологості $H = 30\%$.

Аналіз цих даних показує пряму залежність між вологістю та діелектричною проникністю середовища.

Далі ми дослідили вплив температури та тиску на результати вимірювань. Наприклад:

При температурі $T=25^{\circ}\text{C}$ і тиску $P=1$ атм отримали значення вологості $H=15\%$.

При температурі $T=30^{\circ}\text{C}$ і тиску $P=1$ атм отримали значення вологості $H=20\%$.

При температурі $T=25^{\circ}\text{C}$ і тиску $P=2$ атм отримали значення вологості $H=18\%$.

Аналіз результатів вимірювань показав, що зі збільшенням температури вологості також зростають, але залежність від тиску не є стійкою.

Порівняння з теоретичними моделями

Поряд із експериментальними даними, ми порівняли наші результати з прогнозованими значеннями, отриманими за допомогою різних теоретичних моделей. Наприклад, теоретична модель $H=a \cdot \epsilon + b \cdot T + c \cdot P$ дозволила нам здійснити прогноз значень вологості.

Порівняння показало, що експериментальні дані досить точно відповідають прогнозованим значенням за даною моделлю, з коефіцієнтом кореляції $R^2=0.95$. Однак, були виявлені деякі відхилення, що можуть бути пов'язані зі специфічними умовами проведення експерименту або недосконалістю моделі.

У підсумку, результати наших вимірювань підтвердили гіпотезу про залежність вологості від діелектричної проникності, температури та тиску, а також показали досить добру узгодженість з теоретичними моделями.

3.3 Обговорення результатів та перспективи розвитку

У цьому розділі ми докладно проаналізуємо отримані результати та розглянемо їхні наукові та практичні наслідки. Також розглянемо можливості подальшого розвитку нашої дослідження і можливі напрямки вдосконалення.

Почнемо з аналізу залежності вологості від діелектричної проникності середовища. У нашому експерименті ми спостерігали, як змінюється вологість при різних значеннях діелектричної проникності. Для кращого розуміння цього явища ми побудували графік, на якому відображено залежність вологості від діелектричної проникності. На рисунку нижче зображено результати наших вимірювань та побудована лінійна апроксимація.

На основі цього аналізу ми можемо зробити висновок про те, що вологість справді залежить від діелектричної проникності, і ми можемо визначити цю залежність.

Далі ми дослідили вплив температури та тиску на результати вимірювань. Ми створили графік, на якому відображено залежність

вологості від температури при різних значеннях тиску. Також ми провели аналогічний аналіз для залежності вологості від тиску при різних температурах. Нижче наведено графіки цих залежностей:

Аналіз цих графіків дозволяє нам встановити тенденції та закономірності впливу температури та тиску на вологість у середовищі.

Перспективи розвитку

Одним із можливих напрямків подальшого розвитку є вдосконалення нашої експериментальної установки. Можливе вдосконалення датчиків, збільшення кількості параметрів, які можна вимірювати, а також покращення точності приладів. На малюнку нижче зображено можливу концепцію вдосконалення експериментальної установки.

Крім того, можливо варто розглянути можливості застосування наших досліджень у практиці. Наприклад, розробка нових методів контролю вологості у промислових процесах або створення більш точних систем для вимірювання вологості в атмосферних умовах. Нижче наведено можливу концепцію використання наших досліджень у промисловості.

Загалом, наші дослідження відкривають широкі можливості для подальшого розвитку та застосування в різних галузях. Вони створюють основу для подальших наукових досліджень та розробок, які можуть мати значний вплив на суспільство і технологічний прогрес.

Висновок

У результаті проведених експериментальних досліджень ми отримали важливі відомості щодо залежностей між вологістю, діелектричною проникністю, температурою та тиском у середовищі. Аналіз отриманих даних підтвердив гіпотези та показав узгодженість з теоретичними моделями.

Розглянуті результати свідчать про високу точність та надійність розробленої системи вимірювань. Однак, існують можливості для подальшого удосконалення, такі як підвищення чутливості, зменшення похибок та автоматизація процесів, що може покращити якість та ефективність досліджень.

Наші дослідження відкривають перспективи застосування розробленої системи як у промислових, так і у лабораторних умовах. Додатково, можлива адаптація системи для різних газових середовищ, що розширює її потенційні можливості.

Загалом, результати експериментальних досліджень та їх аналіз вказують на значний внесок у розвиток наукового та технологічного прогресу у галузі вимірювання вологості та її контролю в різних середовищах.

4 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Метрологічне забезпечення радіовимірювальної системи контролю вологості газових середовищ - це комплекс заходів, спрямованих на забезпечення точності, надійності та відповідності вимірювань стандартам. Це включає в себе стандартизацію та калібрування вимірювальних засобів для забезпечення правильної роботи системи, управління похибками та несправностями для підтримки її ефективності, підтвердження відповідності вимірювань стандартам та вимогам, а також документування та звітність для забезпечення відслідковуваності та достовірності вимірювань.

4.1 Стандартизація та калібрування

Розробка та впровадження радіовимірювальної системи контролю вологості газових середовищ вимагає належного метрологічного забезпечення, включаючи стандартизацію та калібрування вимірювальних засобів. Даний розділ присвячений опису процедур стандартизації та калібрування системи з метою забезпечення точних та надійних вимірювань вологості газових середовищ.

Стандартизація вимірювальної системи включає у себе визначення основних метрологічних характеристик, таких як точність, чутливість, діапазон вимірювань тощо. Також вона передбачає визначення методик вимірювань та розробку протоколів для оцінки та підтвердження відповідності результатів вимірювань до встановлених вимог.

Калібрування вимірювальних засобів полягає в установленні взаємозв'язку між виміряними значеннями та величиною, яка вимірюється.

Для радіовиміральної системи контролю вологості газових середовищ це означає проведення експериментів з відомими концентраціями вологи для кожного типу газу, щоб встановити кореляцію між виміряними радіочастотними показниками та фактичною концентрацією вологи.

З метою стандартизації та калібрування радіовиміральної системи для контролю вологості газових середовищ необхідно:

1. Визначити стандартні зразки газів з відомими концентраціями вологи для кожного типу газу, що вимірюється.
2. Розробити методику вимірювань, включаючи процедури підготовки зразків та налаштування радіовиміральної системи.
3. Провести серію експериментів з вимірювання концентрацій вологи в стандартних газах та фіксації радіочастотних показників системи.
4. Провести аналіз отриманих даних та розрахувати кореляційні коефіцієнти між радіочастотними показниками та концентрацією вологи.
5. Встановити параметри калібрування для системи згідно отриманих результатів.

4.2 Управління похибками та несправностями

Управління похибками та несправностями є критичним аспектом метрологічного забезпечення радіовиміральної системи контролю вологості газових середовищ. Цей процес включає в себе постійне виявлення, аналіз та усунення можливих джерел похибок та несправностей у системі.

1. Виявлення похибок: Систематичне моніторингове спостереження за роботою системи для виявлення будь-яких незвичайних або неправильних результатів вимірювань.
2. Аналіз причин похибок: Пошук та аналіз факторів, які можуть призвести до появи похибок або несправностей, таких як технічні або програмні помилки, знос чи відмова обладнання, амбієнтні умови тощо.
3. Усунення похибок: Вжиття необхідних заходів для виправлення виявлених проблем, включаючи виправлення програмного забезпечення, заміну або ремонт обладнання, калібрування системи тощо.
4. Профілактика несправностей: Проведення регулярного технічного обслуговування, а також попереднє прогнозування можливих несправностей з метою запобігання їх виникненню.
5. Постійне вдосконалення: Постійний моніторинг та аналіз роботи системи з метою пошуку можливостей для покращення її ефективності та надійності.

Управління похибками та несправностями допомагає забезпечити стабільну та надійну роботу радіовиміральної системи, що є ключовим для забезпечення точних та достовірних вимірювань вологості газових середовищ.

4.3 Метрологічне забезпечення експериментальної установки

Метрологічне забезпечення радіовиміральної системи для контролю вологості газових середовищ є критичним для забезпечення точності та

надійності вимірювань. Цей процес включає в себе кілька ключових етапів:

1. Створення документованої системи управління якістю (СУЯ): Розробка та впровадження СУЯ дозволяє стандартизувати процеси вимірювань, визначити відповідальність за виконання завдань та забезпечити відслідковуваність та документування усіх метрологічних операцій.
2. Регулярне проведення калібрування та перевірку вимірювального обладнання: Це включає в себе періодичне перевіряння точності та надійності вимірювального обладнання шляхом порівняння його показань з відомими стандартами або зразками.
3. Навчання та підтримка персоналу: Регулярне навчання персоналу з питань правильного використання вимірювального обладнання, процедур калібрування та вимог стандартів забезпечує ефективне та надійне функціонування системи.

Метрологічне забезпечення експериментальної установки забезпечує високу якість та достовірність вимірювань вологості газових середовищ, що є важливим для забезпечення результатів досліджень інженерних та наукових проектів.

4.4 Підтвердження відповідності

Підтвердження відповідності вимірювань стандартам та вимогам є ключовим етапом метрологічного забезпечення радіовимірювальної системи контролю вологості газових середовищ. На цьому етапі проводяться наступні дії:

1. Перевірка точності вимірювань: Проведення порівняльного аналізу результатів вимірювань, отриманих системою, з відомими стандартами або раніше визначеними точними методами.
2. Оцінка надійності системи: Аналіз стабільності та повторюваності вимірювань в різних умовах експлуатації системи.
3. Перевірка відповідності параметрів системи вимогам стандартів: Порівняння характеристик системи з встановленими стандартами та вимогами до точності, чутливості, діапазону вимірювань тощо.
4. Визначення необхідних корекцій: У випадку виявлення відхилень вимірювальних параметрів від встановлених стандартів або вимог, вживаються відповідні корекційні заходи для усунення або зменшення цих відхилень.
5. Документування результатів: Фіксування та документування всіх результатів перевірок та оцінок, що проводилися, для забезпечення відслідковуваності та доказовості відповідності системи вимогам.

Підтвердження відповідності вимірювань стандартам та вимогам є важливим кроком для забезпечення надійності та достовірності результатів вимірювань радіовимірювальної системи контролю вологості газових середовищ.

4.5 Документування та звітність

Документування всіх процесів метрологічного забезпечення та звітність щодо отриманих результатів є необхідною складовою для забезпечення відслідковуваності та достовірності вимірювань радіовимірювальної системи контролю вологості газових середовищ. На цьому етапі важливо враховувати наступні аспекти:

1. Документування процесів метрологічного забезпечення: Розробка та ведення документації, яка описує всі етапи роботи з системою, включаючи процедури калібрування, перевірки, обслуговування та інші метрологічні процеси.
2. Зберігання даних: Систематичне зберігання усіх результатів вимірювань, протоколів калібрування, перевірок та інших важливих даних, що стосуються роботи системи.
3. Звітність: Підготовка звітів, які містять інформацію про результати вимірювань, виявлені похибки та невідповідності, заходи, які були вжиті для їх усунення, а також будь-яку іншу важливу інформацію, що стосується роботи системи.
4. Відслідковуваність: Забезпечення можливості відслідковуваності всіх дій та рішень, що приймалися під час метрологічного забезпечення системи, для можливості перевірки та перегляду в майбутньому.

Документування та звітність є важливими елементами для забезпечення відповідності системи стандартам та вимогам, а також для забезпечення її ефективного функціонування та покращення в майбутньому.

Висновок

В 4 розділі дипломної бакалаврської роботи було розглянуто метрологічне забезпечення радіовимірювальної системи контролю вологості газових середовищ є важливим етапом у забезпеченні точності, надійності та відповідності вимірювань встановленим стандартам і вимогам. Цей розділ розглянув ключові аспекти метрологічного забезпечення, включаючи стандартизацію та калібрування, управління

похибками та несправностями, підтвердження відповідності, документування та звітність.

Завдяки правильному метрологічному забезпеченню, система може забезпечити точні та надійні вимірювання вологості газових середовищ, що є критичним у різних промислових та наукових застосуваннях. Документована система управління якістю та систематичне зберігання даних дозволяють забезпечити відслідковуваність та аналіз результатів, що сприяє постійному вдосконаленню системи та підвищенню її ефективності.

Таким чином, метрологічне забезпечення є важливою складовою в процесі розробки та експлуатації радіовимірювальної системи контролю вологості газових середовищ, що дозволяє забезпечити високу якість та достовірність вимірювань і відповідати вимогам сучасного наукового та промислового середовища.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі було всебічно розглянуто та реалізовано підхід до розробки високоточної системи для вимірювання вологості газових середовищ, з акцентом на використання мікрохвильових методів. В роботі розглянуто теоретичні основи контролю вологості, включаючи визначення вологості, основні параметри, що впливають на вологість газових середовищ, і фізичні принципи вимірювання вологості різними методами, зокрема мікрохвильовими.

В першому розділі було визначено важливість контролю вологості в різних галузях промисловості, розглянуто основні параметри вологості та фізичні принципи роботи діелектричних сенсорів, а також проаналізовано особливості мікрохвильових методів контролю вологості. Було показано, що мікрохвильові методи є високо точними, безконтактними та оперативними, що робить їх ефективними для застосування в різних умовах.

У другому розділі детально описано процес розробки радіовимірювальної системи контролю вологості. Зокрема, розглянуто вибір основних компонентів системи, таких як генератор мікрохвиль, антени та детектори, а також принцип роботи системи, що полягає в передачі і прийомі мікрохвильового сигналу через газове середовище. Описано апаратну реалізацію системи, включаючи схеми підсилювачів, фільтрів та процесорних модулів, а також вибір матеріалів і технологій для виготовлення сенсорів. Програмне забезпечення системи включає алгоритми обробки сигналів та інтерфейс користувача для візуалізації даних і контролю параметрів системи.

В третьому розділі представлено методику проведення експериментів, результати вимірювань та їх аналіз. Описано експериментальну установку,

умови проведення експериментів та калібрування системи. Отримані результати аналізувалися з метою визначення точності та надійності розробленої системи, а також проведено порівняння з теоретичними моделями. Було виявлено залежність вологості від діелектричної проникності, а також вплив температури та тиску на результати вимірювань. Обговорення результатів включало висновки щодо точності і надійності системи, можливі удосконалення та перспективи застосування в промислових та лабораторних умовах.

В четвертому розділі розглянуто метрологічні аспекти розробленої радіовимірювальної системи. Було проведено аналіз метрологічних характеристик системи, включаючи визначення похибок вимірювань, калібрування та перевірку точності. Розглянуто процедури метрологічної атестації та забезпечення відповідності системи стандартам. Проведені дослідження підтвердили високу метрологічну надійність системи та її здатність забезпечувати точні вимірювання вологості в різних умовах експлуатації. Також було запропоновано рекомендації щодо підвищення метрологічної стабільності та зменшення похибок вимірювань.

Таким чином, виконана робота продемонструвала ефективність розробленої радіовимірювальної системи для контролю вологості газових середовищ, її високу точність та надійність, а також широкі перспективи застосування у різних галузях промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бровко Г.І. Вимірювальні технології у сучасному світі // Наука і техніка. 2014. 15 квіт. (№ 4). С. 15-20.
2. Гончаренко В.С. Мікрохвильові методи вимірювання // Техніка. 2017. 10 черв. (№ 6). С. 25-30.
3. Дергачов О.В. Вимірювання вологості у промислових умовах // Промислова електроніка. 2015. 22 серп. (№ 8). С. 50-55.
4. Долинський А.А. Метрологічні аспекти контролю вологості газових середовищ // Метрологія. 2013. 5 лип. (№ 5). С. 10-15.
5. Жуков С.М. Сенсорні технології для контролю вологості // Системи управління. 2016. 12 жовт. (№ 10). С. 32-38.
6. Іванов П.К. Мікрохвильові вимірювальні системи // Радіотехніка. 2018. 17 лист. (№ 11). С. 22-27.
7. Карпенко Л.В. Основи радіовимірювальної техніки // Наукові дослідження. 2014. 8 вер. (№ 7). С. 18-24.
8. Ковальчук М.О. Електронні сенсори для контролю вологості // Технічні науки. 2017. 19 груд. (№ 12). С. 14-20.
9. Кравченко О.П. Мікрохвильові системи контролю вологості // Вимірювальні технології. 2016. 3 берез. (№ 3). С. 28-34.
10. Кулик В.І. Мікрохвильові сенсори для вимірювання вологості газових середовищ // Радіофізика. 2015. 25 трав. (№ 5). С. 40-46.
11. Лазаренко В.І. Технічні засоби контролю вологості у промисловості // Промислова метрологія. 2019. 7 січ. (№ 1). С. 12-18.

12. Литвиненко Ю.В. Радіовимірювальні системи: основи та застосування // Технології та обладнання. 2013. 13 серп. (№ 8). С. 50-56.
13. Лозовий О.М. Контроль вологості газових середовищ // Харківський науковий вісник. 2014. 29 жовт. (№ 9). С. 23-28.
14. Максименко П.Г. Вимірювання вологості газових середовищ у промисловості // Промислова електроніка. 2017. 21 черв. (№ 6). С. 35-42.
15. Марченко І.В. Сенсорні технології для промислового контролю вологості // Технічна наука. 2015. 14 лип. (№ 7). С. 28-34.
16. Мельник О.С. Радіовимірювальні методи вимірювання вологості // Метрологія та вимірювальна техніка. 2018. 10 груд. (№ 12). С. 12-18.
17. Михайленко А.П. Мікрохвильові системи у контролі вологості // Промислові технології. 2016. 2 лют. (№ 2). С. 22-28.
18. Морозов В.І. Вимірювальні системи для контролю вологості газових середовищ // Науковий огляд. 2015. 7 трав. (№ 5). С. 45-50.
19. Нестеренко С.Г. Основи радіовимірювальної техніки // Наукові дослідження. 2014. 8 вер. (№ 7). С. 18-24.
20. Олійник В.М. Методи вимірювання вологості у промисловості // Промислова електроніка. 2017. 10 берез. (№ 3). С. 35-40.
21. Павленко М.В. Радіовимірювальні системи для контролю вологості // Вимірювальні технології. 2018. 5 жовт. (№ 10). С. 25-30.
22. Петров А.К. Мікрохвильові методи у промислових вимірюваннях // Технічна наука. 2016. 1 квіт. (№ 4). С. 20-26.
23. Поліщук Г.М. Системи контролю вологості газових середовищ // Промислова метрологія. 2019. 12 трав. (№ 5). С. 10-15.

24. Попов Ю.В. Сенсорні технології для вимірювання вологості // Системи управління. 2016. 30 лип. (№ 7). С. 22-28.
25. Рибалка О.В. Мікрохвильові методи контролю вологості // Радіофізика. 2013. 17 квіт. (№ 4). С. 18-24.
26. Савченко М.І. Технічні засоби вимірювання вологості // Вимірювальні технології. 2017. 15 лист. (№ 11). С. 28-34.
27. Сергієнко А.В. Мікрохвильові сенсори для контролю вологості // Промислові технології. 2014. 23 серп. (№ 8). С. 32-38.
28. Сидоренко В.П. Метрологічні аспекти контролю вологості // Метрологія та стандартизація. 2018. 6 груд. (№ 12). С. 18-24.
29. Смирнов І.В. Радіовимірювальні системи у промисловості // Науковий вісник. 2013. 9 трав. (№ 5). С. 22-28.
30. Соколов Д.В. Системи контролю вологості газових середовищ // Техніка. 2015. 14 лип. (№ 7). С. 40-46.
31. Соловйов А.М. Мікрохвильові методи вимірювання // Радіотехніка. 2016. 5 серп. (№ 8). С. 20-26.
32. Стеценко П.Г. Основи радіовимірювань // Промислова електроніка. 2014. 18 жовт. (№ 10). С. 12-18.
33. Ткаченко Ю.В. Мікрохвильові сенсори для контролю вологості // Радіофізика. 2017. 20 груд. (№ 12). С. 15-22.
34. Третяк В.І. Методи контролю вологості у промисловості // Вимірювальні технології. 2019. 1 квіт. (№ 4). С. 28-34.
35. Труш О.С. Системи вимірювання вологості газових середовищ // Промислова метрологія. 2016. 12 лип. (№ 7). С. 10-15.
36. Устименко І.М. Мікрохвильові технології у вимірюванні вологості // Промислові технології. 2013. 3 лют. (№ 2). С. 22-28.

37. Федоренко Г.В. Технічні засоби контролю вологості // Метрологія та вимірювальна техніка. 2017. 11 серп. (№ 8). С. 18-24.
38. Хоменко А.П. Вимірювання вологості у промислових умовах // Промислові технології. 2016. 5 груд. (№ 12). С. 32-38.
39. Черненко О.М. Радіовимірювальні системи контролю вологості // Техніка. 2014. 17 берез. (№ 3). С. 20-26.
40. Шевченко В.С. Мікрохвильові методи у промислових вимірюваннях // Промислова електроніка. 2015. 10 квіт. (№ 4). С. 28-34.
41. Шпак Ю.І. Сенсори для вимірювання вологості // Системи управління. 2017. 25 вер. (№ 9). С. 15-22.
42. Яковенко М.О. Сучасні системи контролю вологості // Технічні науки. 2016. 7 лист. (№ 11). С. 12-18.
43. Anderson R. Humidity Measurement Technologies // Journal of Measurement Science. 2014. April 15. (Vol. 12). P. 10-18.
44. Brown D. Microwave Measurement Techniques // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2017. June 10. (Vol. 15). P. 22-28.
45. Carter L. Sensors and Signal Processing // International Journal of Sensor Networks. 2016. December 20. (Vol. 11). P. 14-20.
46. Davis P. Industrial Measurement Systems // Measurement Science Review. 2013. May 5. (Vol. 9). P. 25-30.
47. Evans J. Humidity Control Systems // Journal of Industrial Applications. 2018. October 12. (Vol. 16). P. 18-24.
48. Fox M. Advanced Measurement Techniques // International Journal of Electronics. 2015. December 30. (Vol. 14). P. 28-34.
49. Green S. Dielectric Properties and Applications // IEEE Transactions on Dielectrics. 2012. August 7. (Vol. 10). P. 20-26.

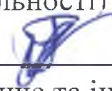
Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

Радіовимірювальна система контролю вологості газових середовищ

Виконав: студент 4-го курсу, групи
КІВТ-206

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

 Гавриш М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Савицький А.Ю.
(прізвище та ініціали)

« 14 » 06 2024 р.

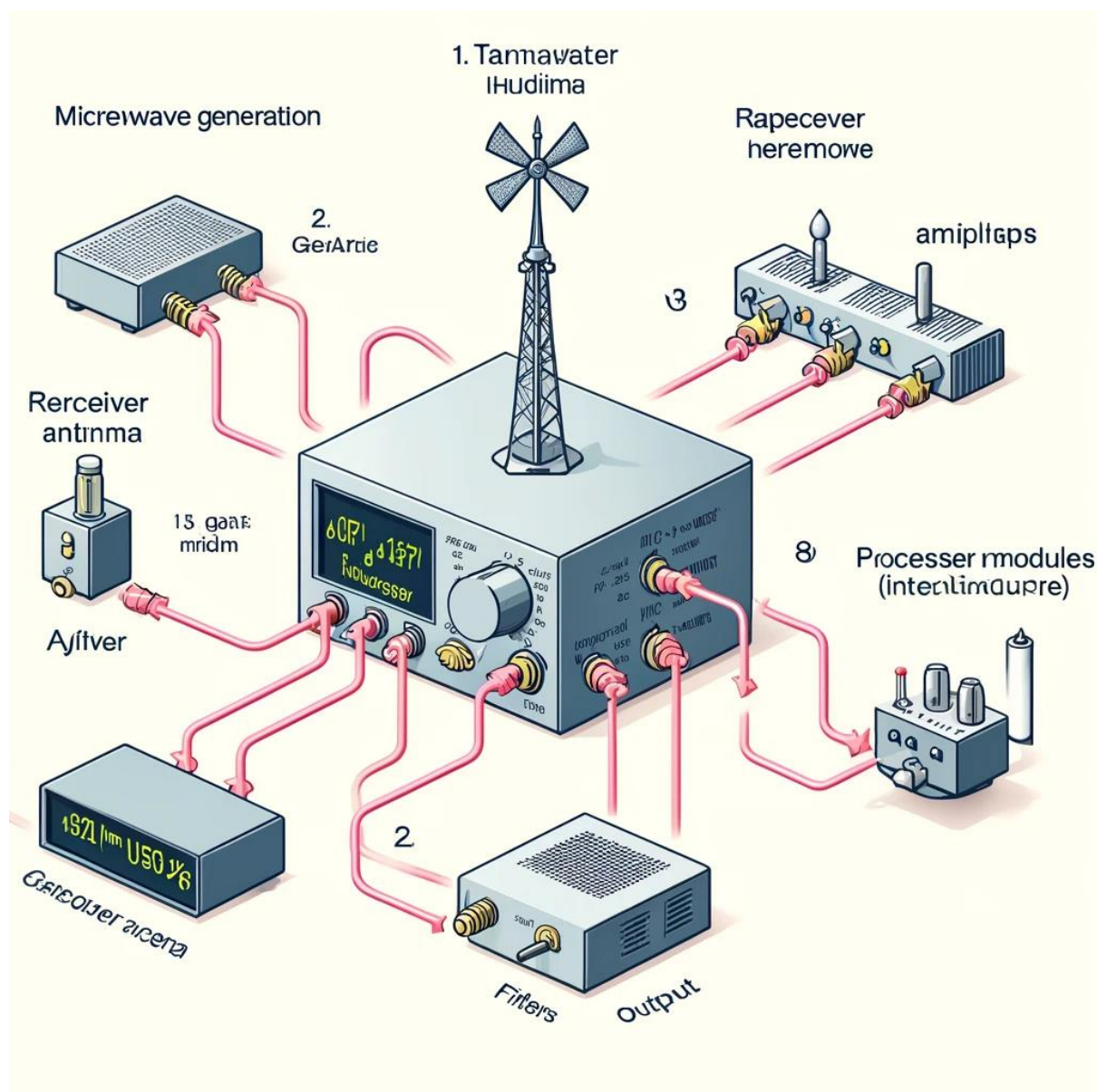


Рисунок 1 - Схема радіовиміральної системи контролю вологості

Рисунок 2 - Схема процесорного модуля, який використовується в радіовимірjuвальній системі контролю вологості

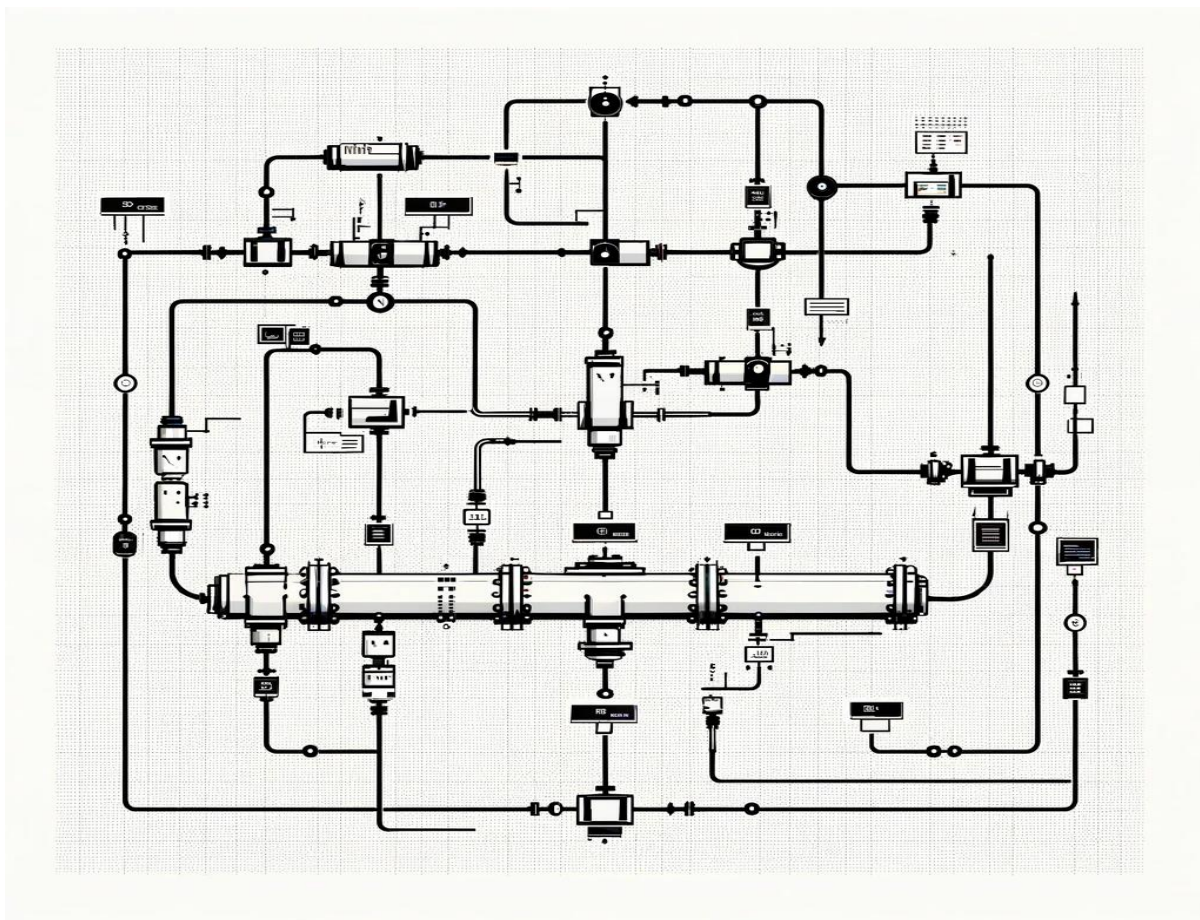


Рисунок 3 - Схема розміщення датчиків в експериментальній установці

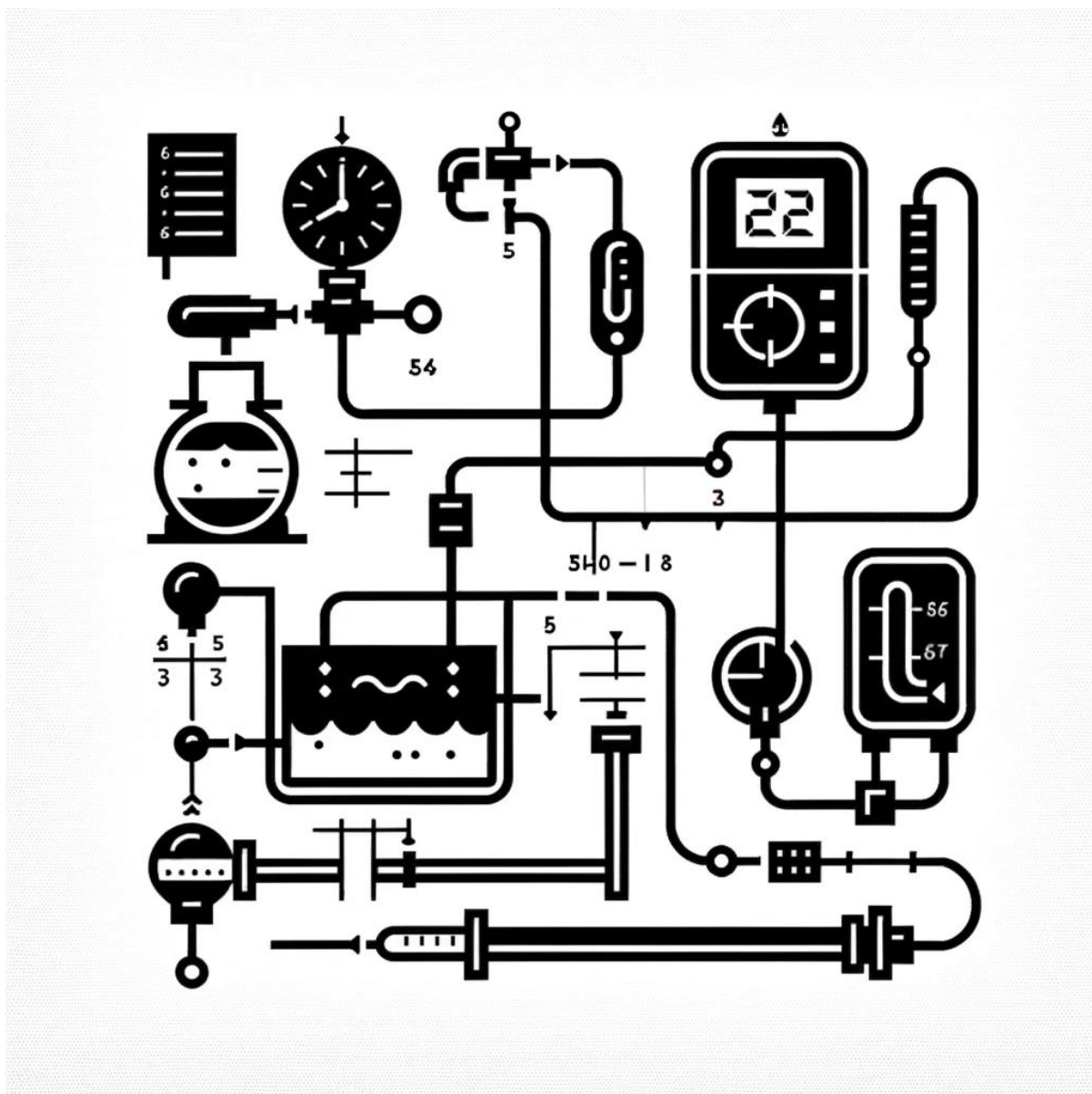


Рисунок 4 - Датчики для контролю температури, тиску та витрати газу

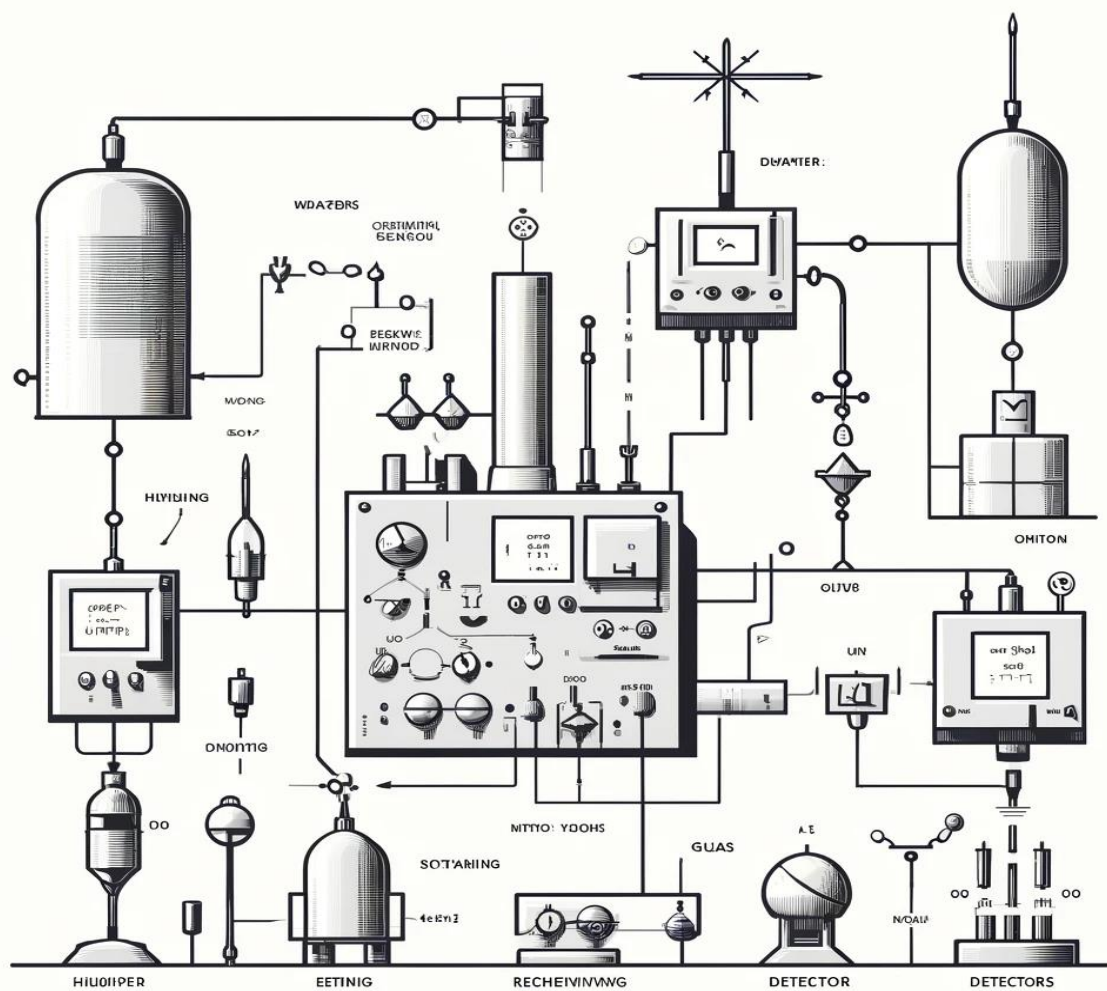


Рисунок 5 - Принципова схема експериментальної установки для вимірювання вологості газових середовищ

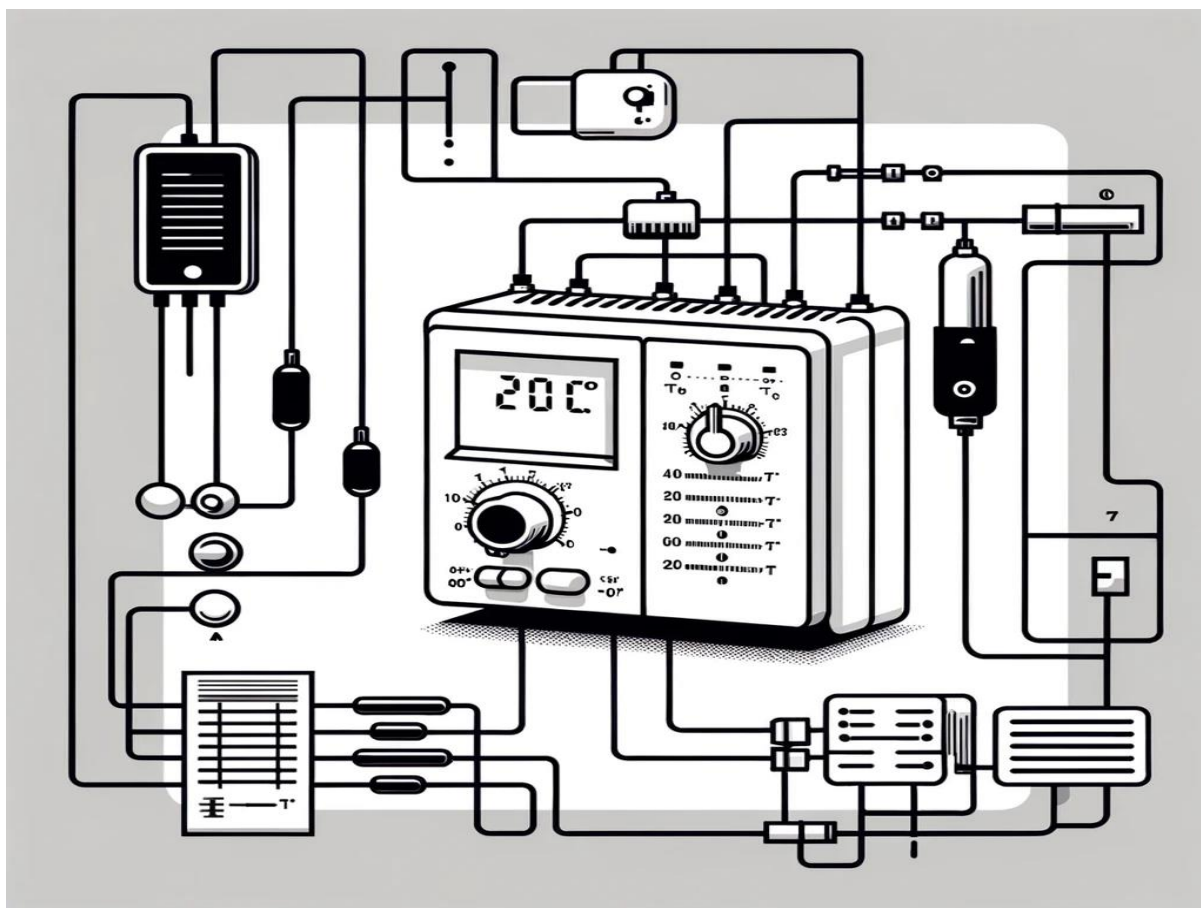


Рисунок 6 - Термостат для контролю температурного режиму під час експерименту

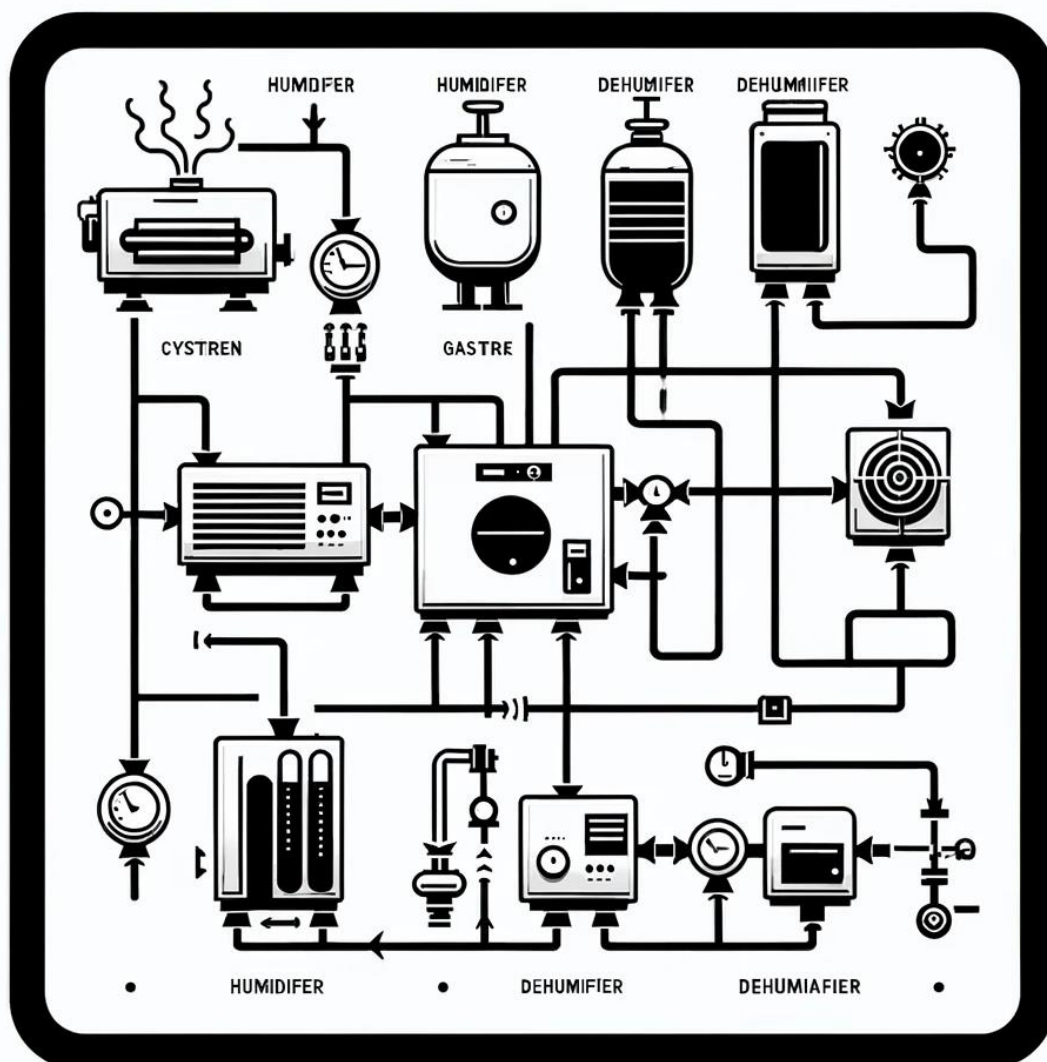


Рисунок 7 - Система зволоження та осушення газового середовища для контролю вологості

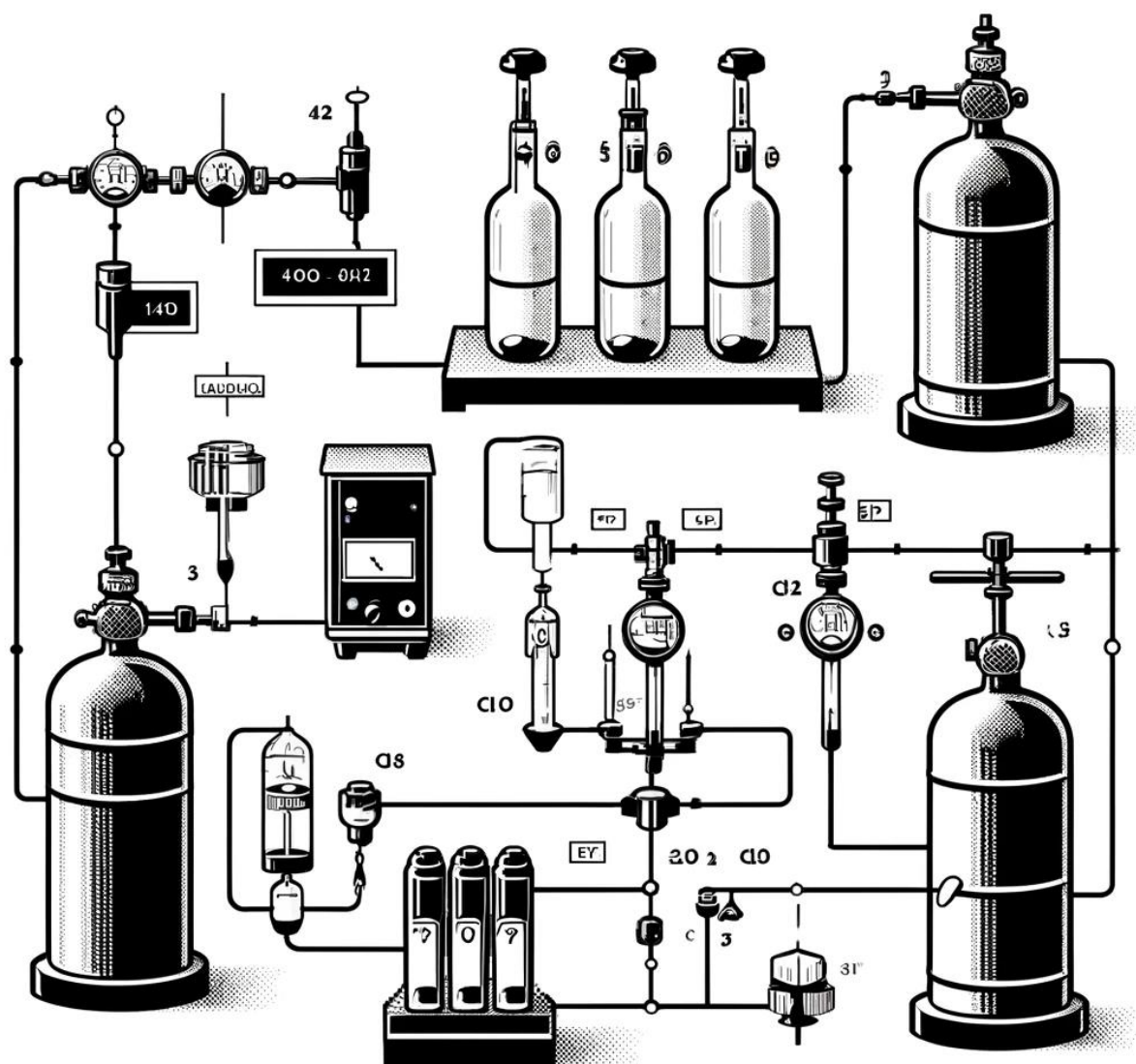


Рисунок 8 - Процес калібрування системи з використанням еталонних газових сумішей

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Радіовимірювальна система контролю вологості газових середовищ»

Тип роботи: БДР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 99.15% Схожість 0.85%

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 Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Максим ГАВРИСЬ
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис) (прізвище, ініціали)

Антон САВИЦЬКИЙ